



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

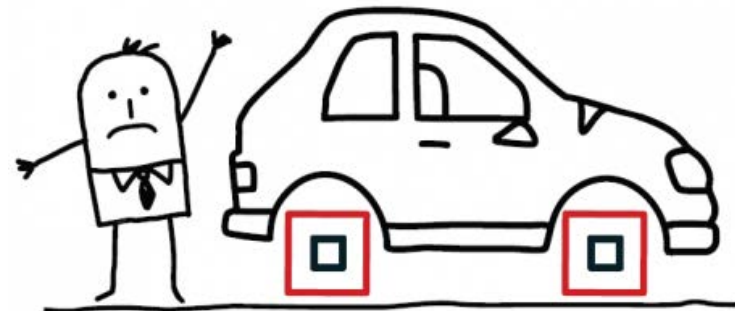
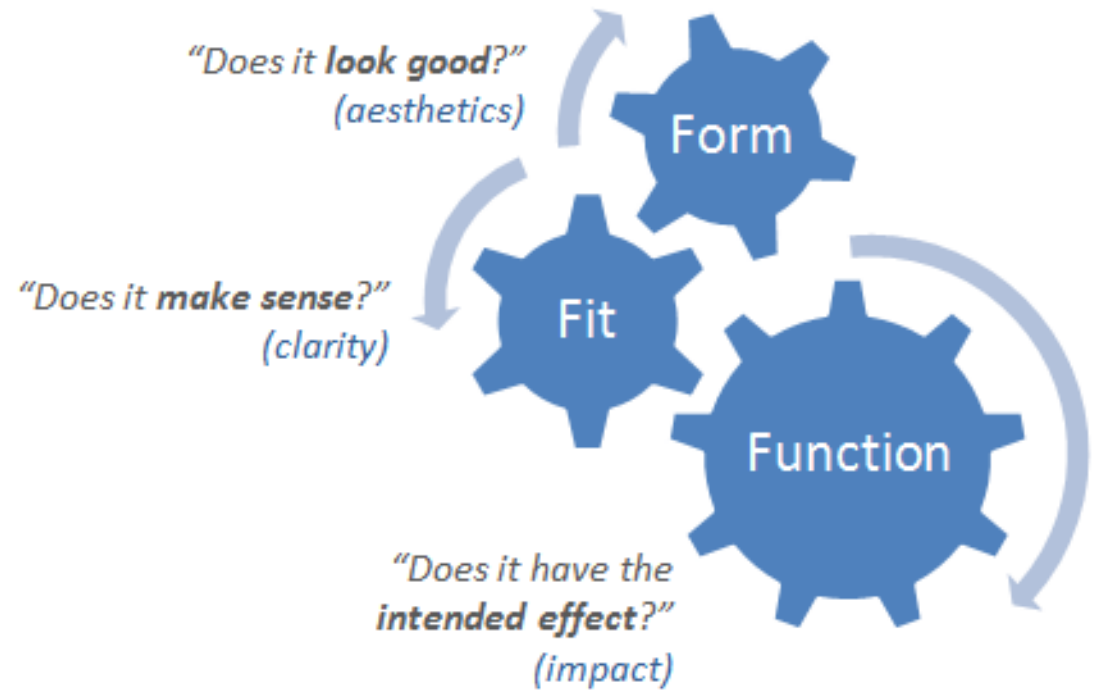
Διαχείριση Αστικού Νερού:

Βασικές ιδέες και τεχνολογίες για τις 3 ροές

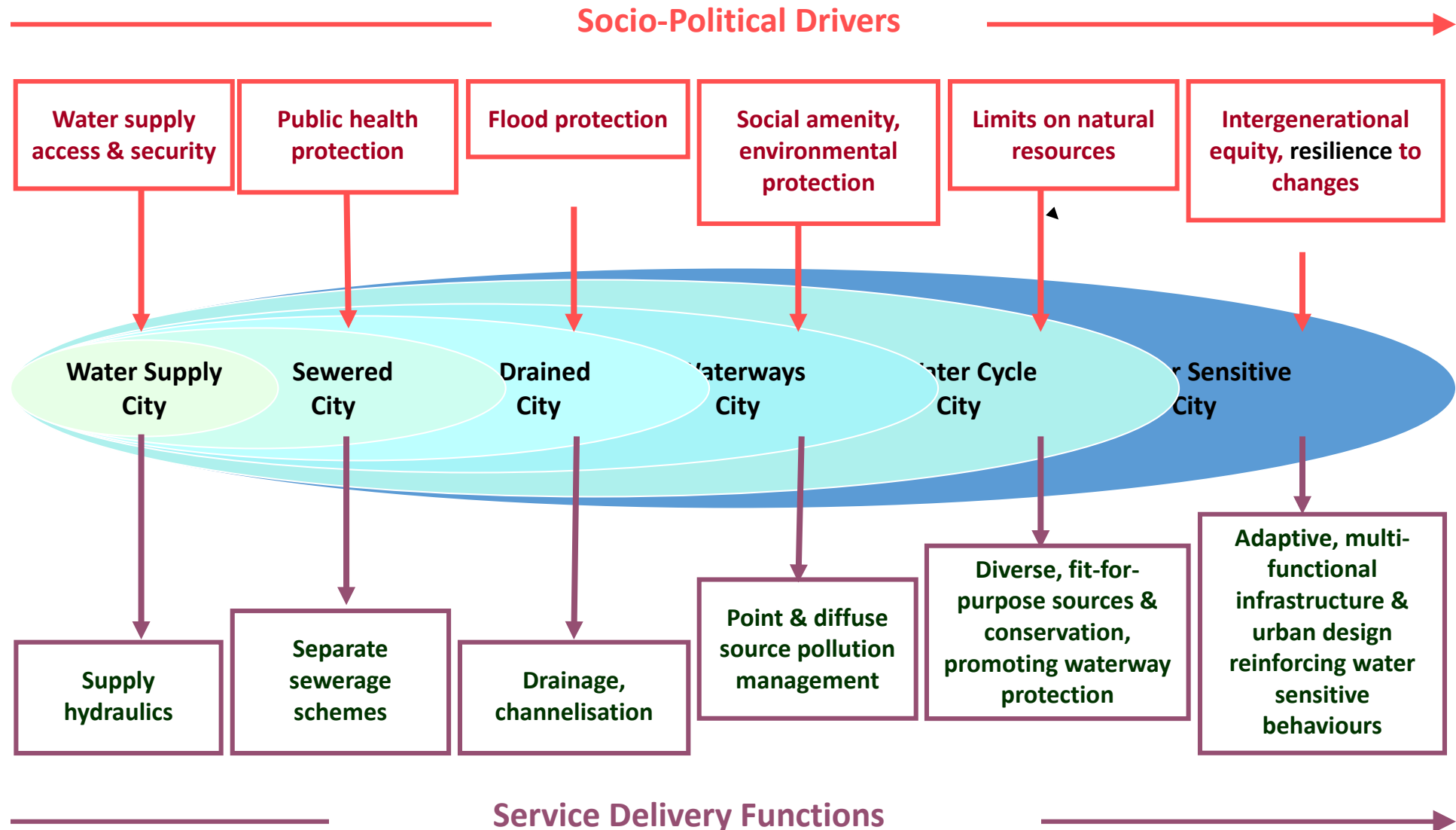
Χρήστος Μακρόπουλος
cmakro@mail.ntua.gr

Νερό και πόλη

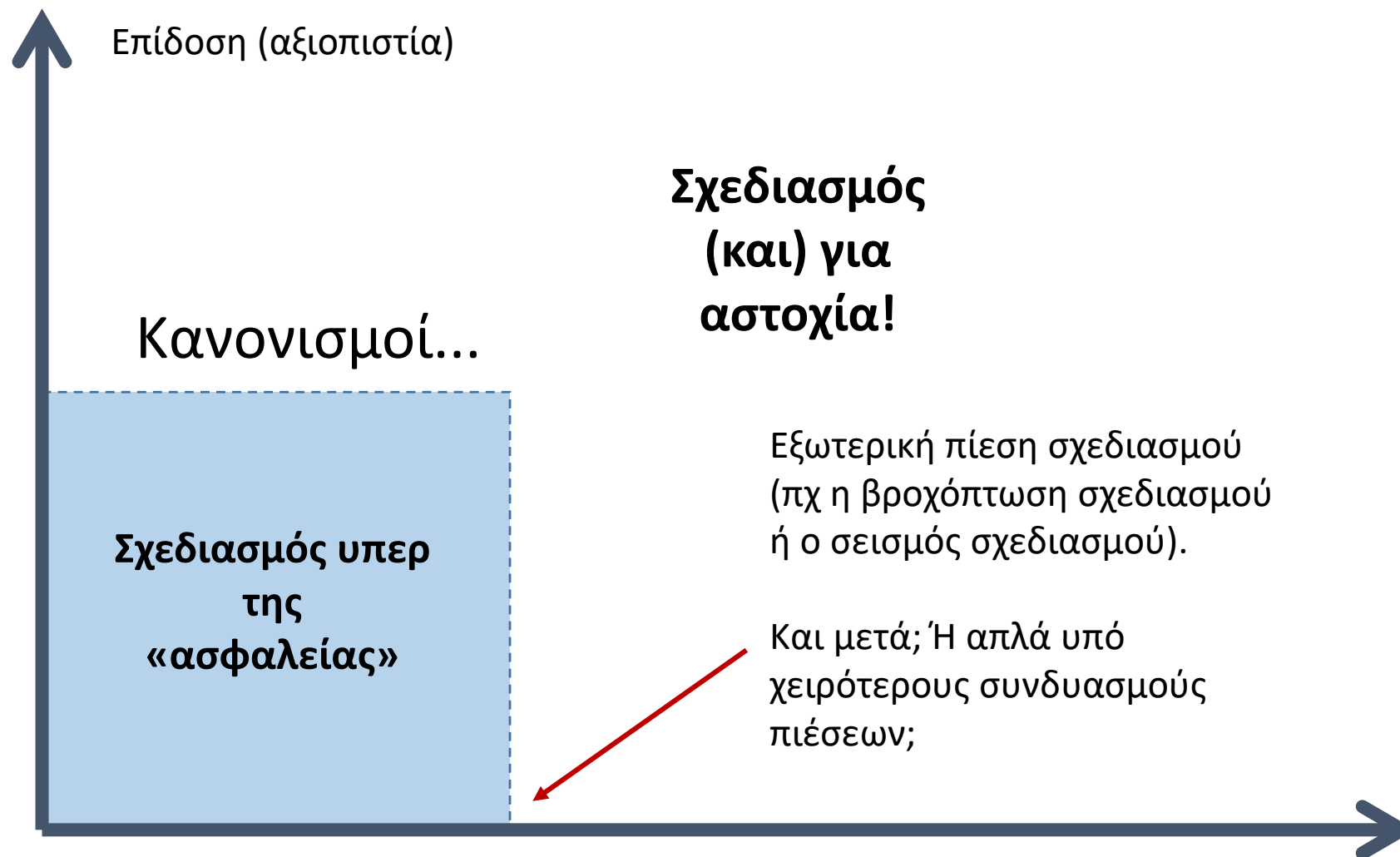
- Ο τρόπος με τον οποίο **επιλέγουμε** να διαχειριζόμαστε τις ροές νερού (ύδρευση, αποχέτευση και απορροή ομβρίων) σε μια πόλη, επηρεάζει άμεσα τη **μορφή** και τη **λειτουργία** της.
- Σε αντίθεση με αυτό που λέμε στη ΣΠΜ η λειτουργία δεν συνεπάγεται **μια (μόνο)** μορφή
- Η μορφή των υποδομών νερού (και η λειτουργία που πάει μαζί της) **διαμόρφωσαν το προφίλ** των πόλεων μας: πχ η ανατροπή της ανθρωπογεωγραφίας του Παρισιού του 1850-1900 από τη δυνατότητα να ανεβάζουμε νερό στους πάνω ορόφους!



Αστικό νερό και 'υδρο-κοινωνικό' συμβόλαιο



Ανθεκτικότητα – να βγούμε λίγο από τη ιδέα της πλήρους ‘ασφαλείας’;



Τι κάνει ένα σύστημα πιο «ανθεκτικό»;

Δύο ερωτήσεις (που πρέπει πάντα να κάνετε στους εαυτούς σας!)

Ερώτηση #1: είναι ανάγκη ή ζήτηση;

Ερώτηση #2: είναι πρόβλημα ή πόρος;

Ύδρευση:

- Μείωση απωλειών
- Διαχείριση ζήτησης

Αποχέτευση:

- Επαναχρησιμοποίηση νερού
- Εξόρυξη ουσιών

Όμβρια:

- Μείωση απορροής (και εισροής νερού στα δίκτυα)
- Επαναχρησιμοποίηση νερού βροχής

Μέρος 1: Ύδρευση και Αποχέτευση

Ύδρευση:

- Μείωση απωλειών
- Διαχείριση ζήτησης

Αποχέτευση:

- Επαναχρησιμοποίηση νερού
- Εξόρυξη ουσιών

Όμβρια:

- Μείωση απορροής (και εισροής νερού στα δίκτυα)
- Επαναχρησιμοποίηση νερού βροχής

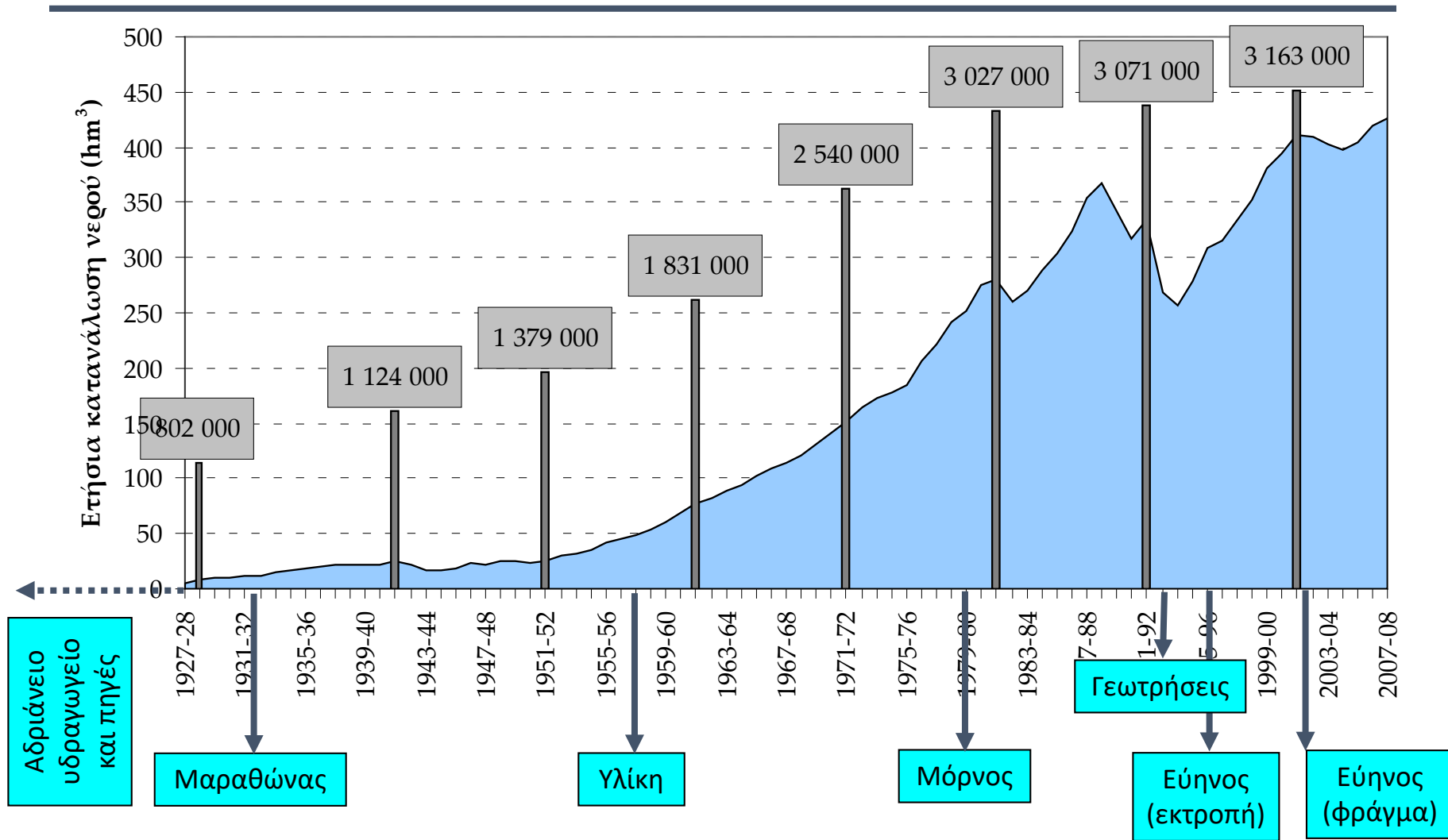
Τι είναι η αστική ζήτηση;



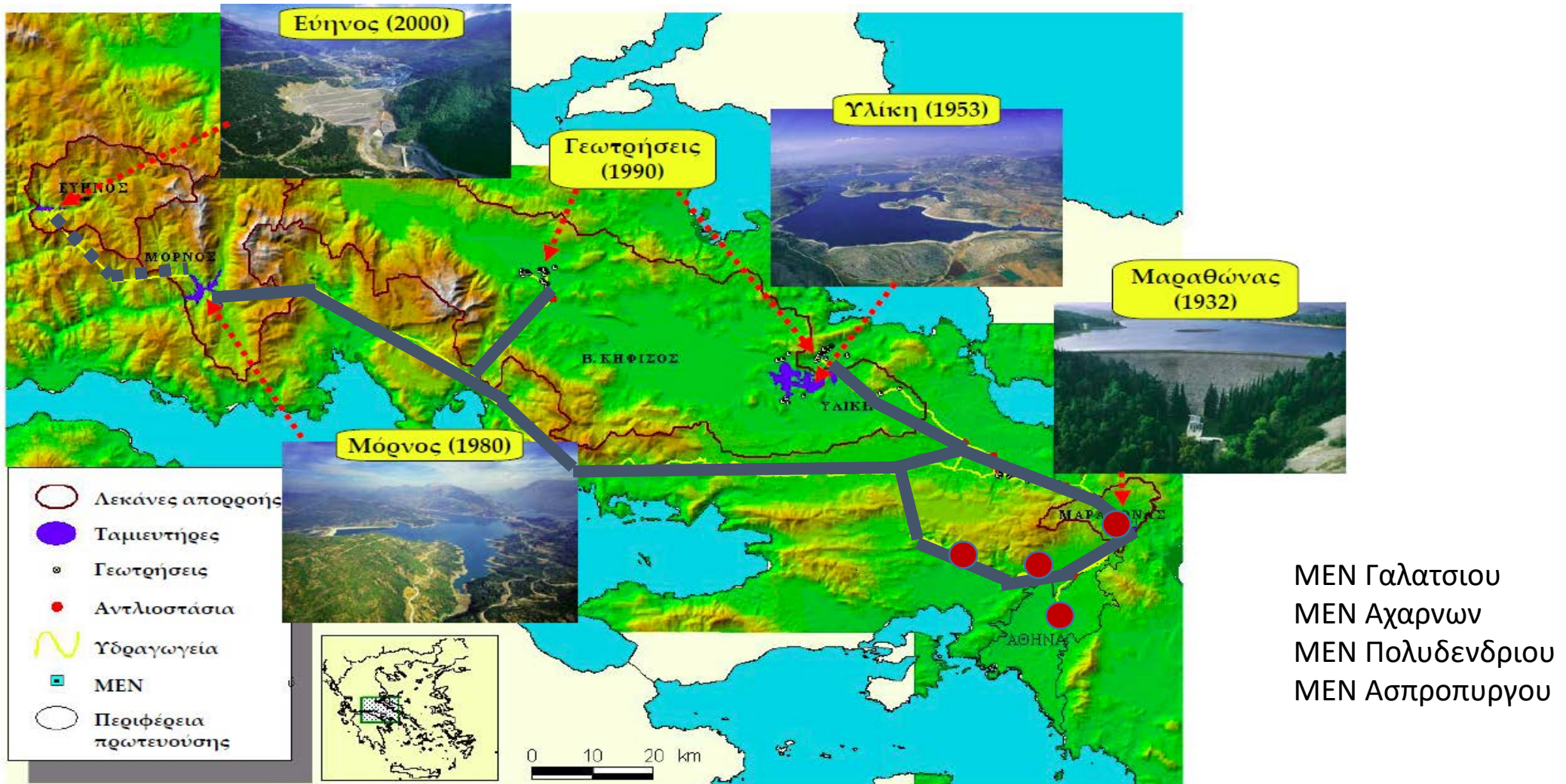
Τι κάνατε από την ώρα που
ξυπνήσατε (και τι γινόταν
γύρω σας);

Ζήτηση της Αθήνας:

Εξέλιξη κατανάλωσης, πληθυσμού και έργων

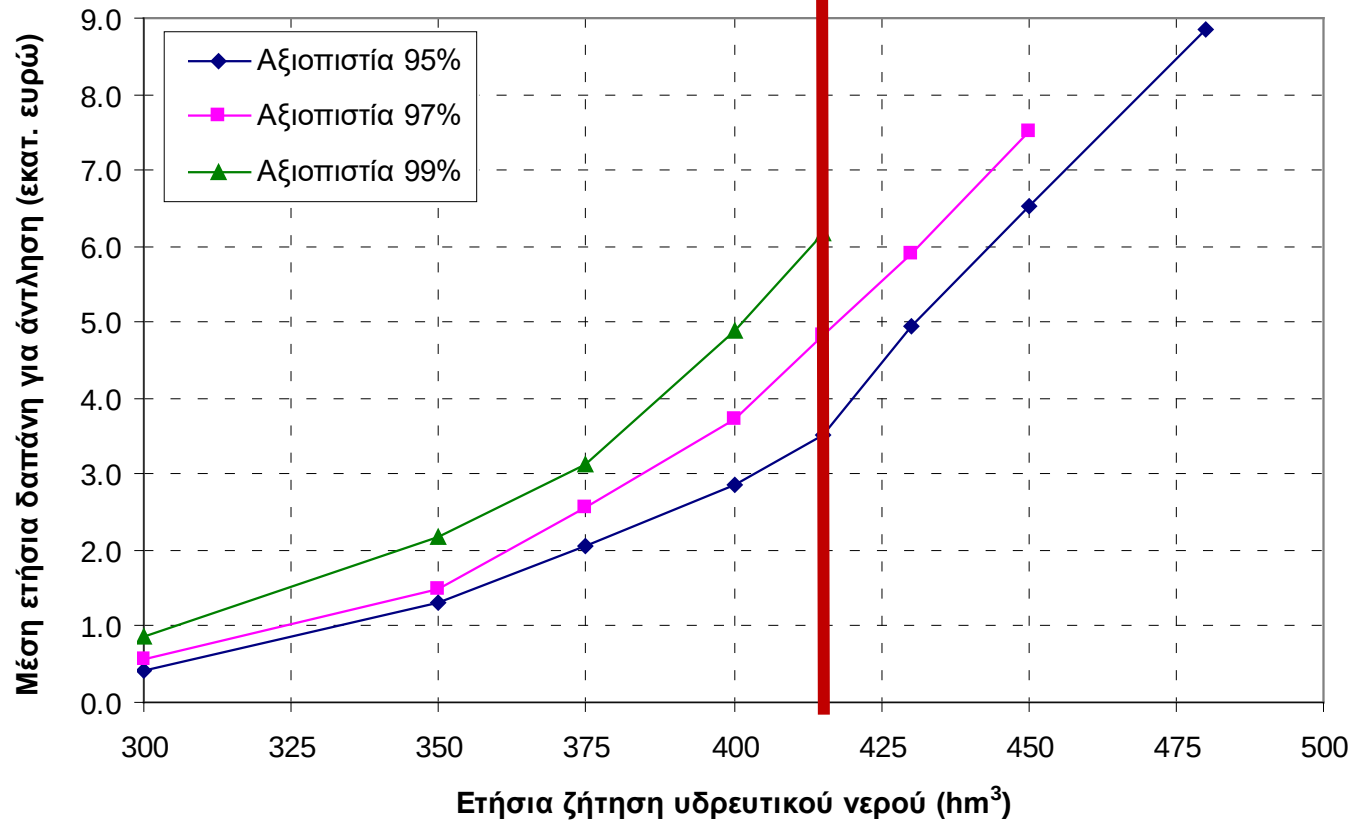


Πού βρίσκουμε όλο αυτό το νερό;



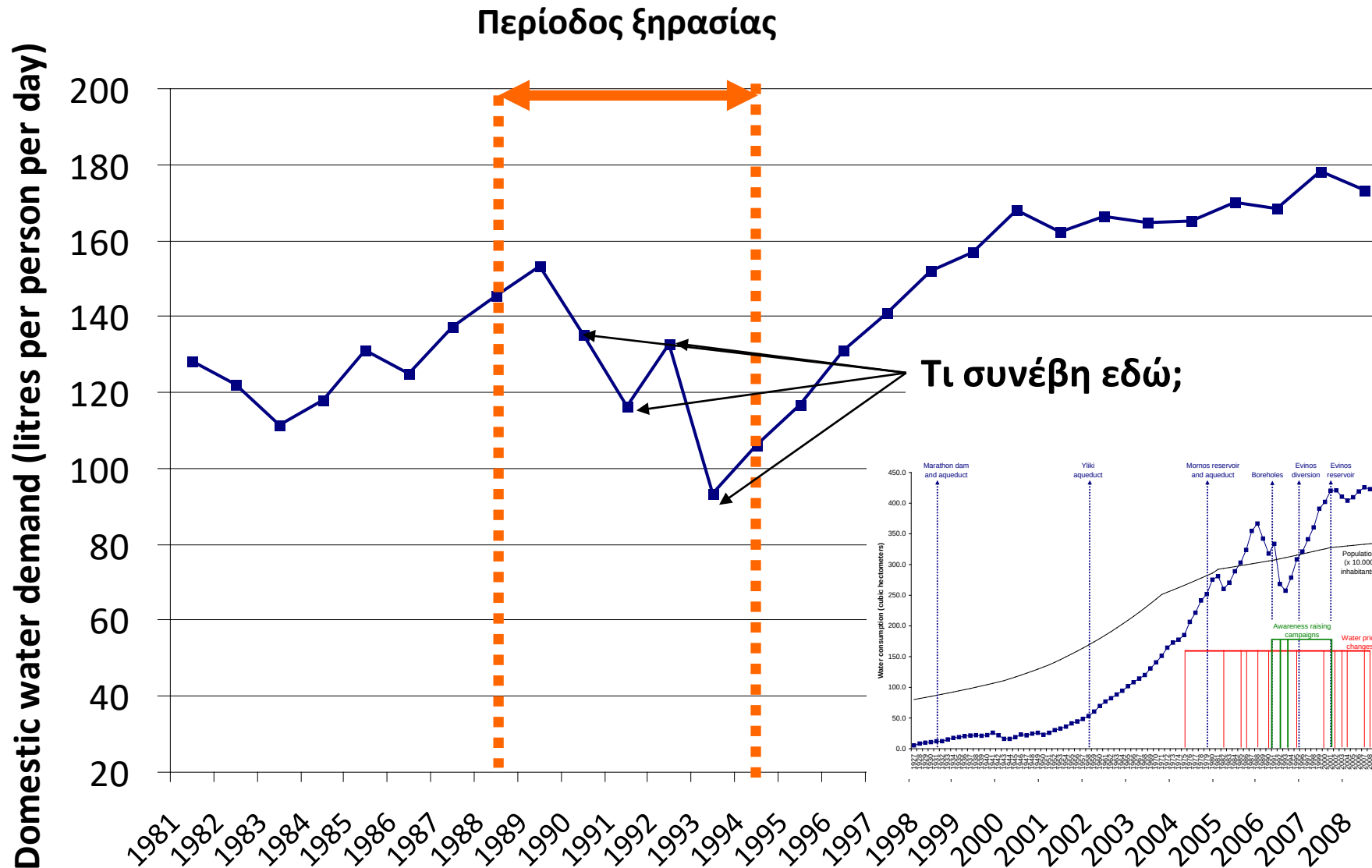
Μπορούμε να παρέχουμε (για) πάντα όσο νερό ζητάει η Αθήνα;

Σημερινή ζήτηση: $\approx 420 \text{ hm}^3$



Και αν όχι, τι μπορούμε να κάνουμε για αυτό;

Μια κοντινότερη ματιά στο διάγραμμα ζήτησης



Πίσω από τις ΜΕΝ: Από τι αποτελείται αυτή η ζήτηση;

System Input Volume	Authorised Consumption (Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση)	Billed Authorised Consumption (Τιμολογούμενη)	Billed Metered Consumption	Revenue Water (Ανταποδοτικό νερό)
			Billed Unmetered Consumption	
		Unbilled Authorised Consumption (Μη τιμολογούμενη)	Unbilled Metered Consumption Δήμοι	
			Unbilled Unmetered Consumption	
	Water Losses (Απώλειες)	Apparent Water Losses (Φαινομενικές)	Κλοπή Unauthorised Consumption	Non Revenue Water (Μη ανταποδοτικό νερό)
			Μετρητές Customer Meter Inaccuracies	
		Real Losses (Πραγματικές) = διαρροές + υπερχειλίσσεις	Leakage on Transmission and Distribution Mains	
			Leakage and Overflows at Reservoirs	
			Leakage on Service Connections up to Metering Point	

Απώλειες Αθήνας:

- Εσωτερικό δίκτυο?
- Εκ του οποίου μετρητές?

Αρά:

Ζήτηση

≠

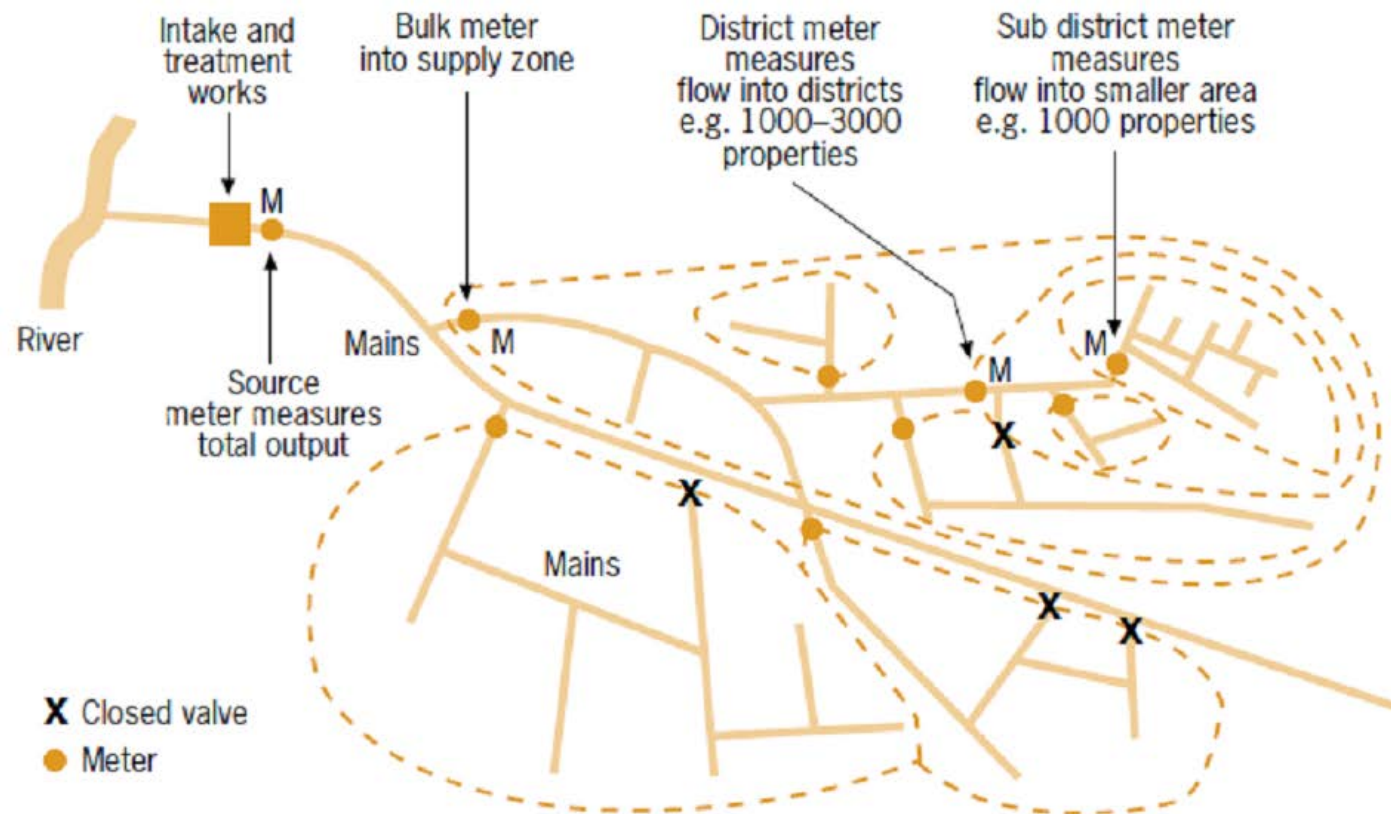
Κατανάλωση

Διαφορετική στρατηγική για κάθε κατηγορία: πχ. πραγματικές απώλειες

1. Ζωνοποίηση και δημιουργία των **DMA**s (υδραυλικά απομονωμένων περιοχών)
2. Εντοπισμός διαρροών (μετρήσεις πεδίου και μέτρηση νυχτερινής ροής)
3. Μειωμένος χρόνος απόκρισης επισκευής διαρροών.
4. Διαχείριση της πίεσης.
5. Διαρροές στην ιδιοκτησία του καταναλωτή.

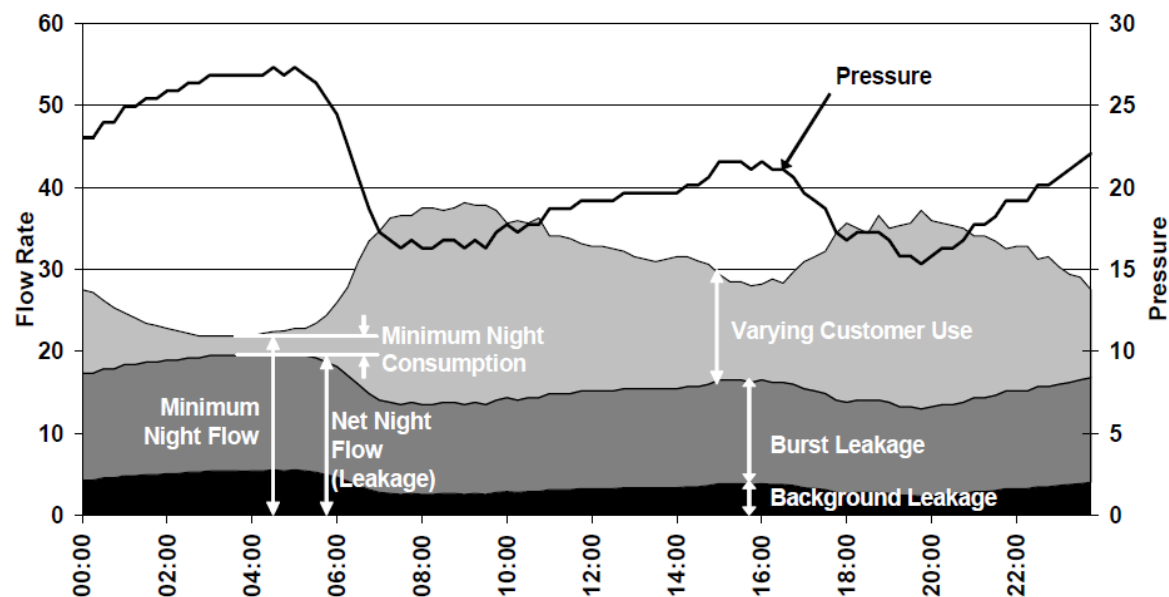
DMA: Υδραυλικά Απομονωμένες Ζώνες

- Μια είσοδο νερού με μετρητή ανά ζώνη
- Ζώνες 1000-3000 σπίτια
- Χωρισμένες μεταξύ τους με βαλβίδες απομόνωσης

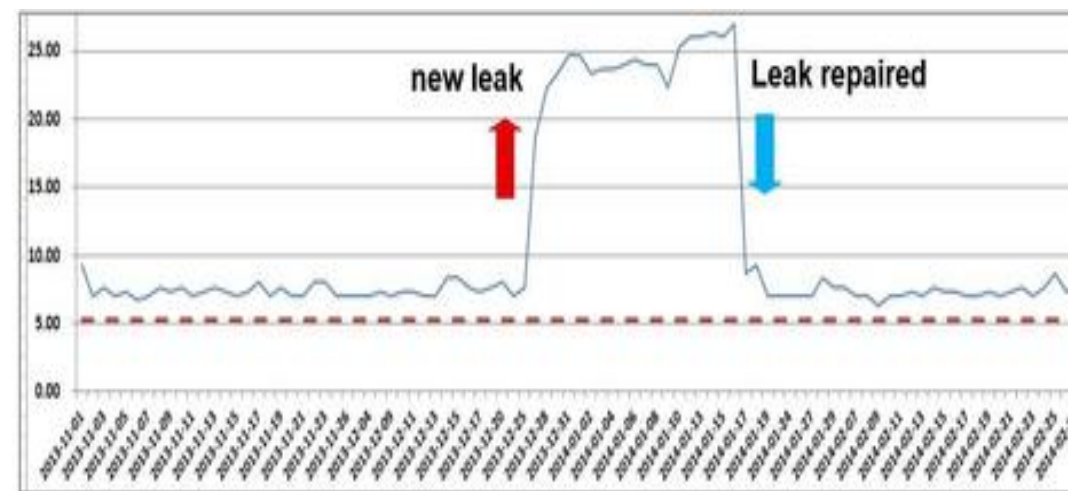


Τι πρέπει να προσέξουμε όταν κλείνουμε/απομονώνουμε περιοχές με βαλβίδες;

Εντοπισμός διαρροών και γρήγορη απόκριση

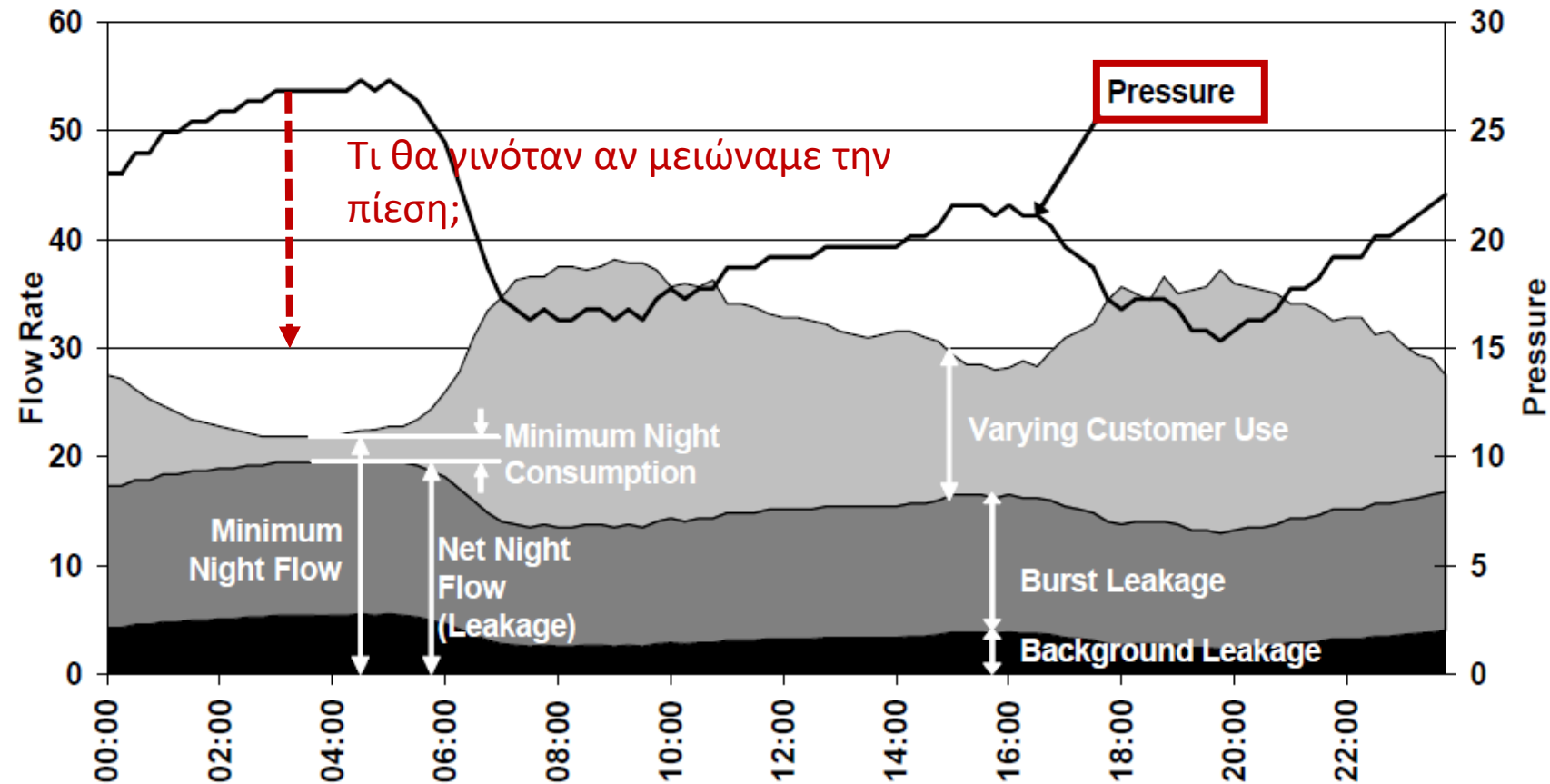


Ανάλυση και προσομοίωση σε
επίπεδο ζώνης για εντοπισμό
επιπέδου διαρροών



Εντοπισμός **νέας** διαρροής με
δεδομένα σε πραγματικό χρόνο

Μπορούμε να μειώσουμε τις διαρροές χωρίς να κλείσουμε όλους τους δρόμους;

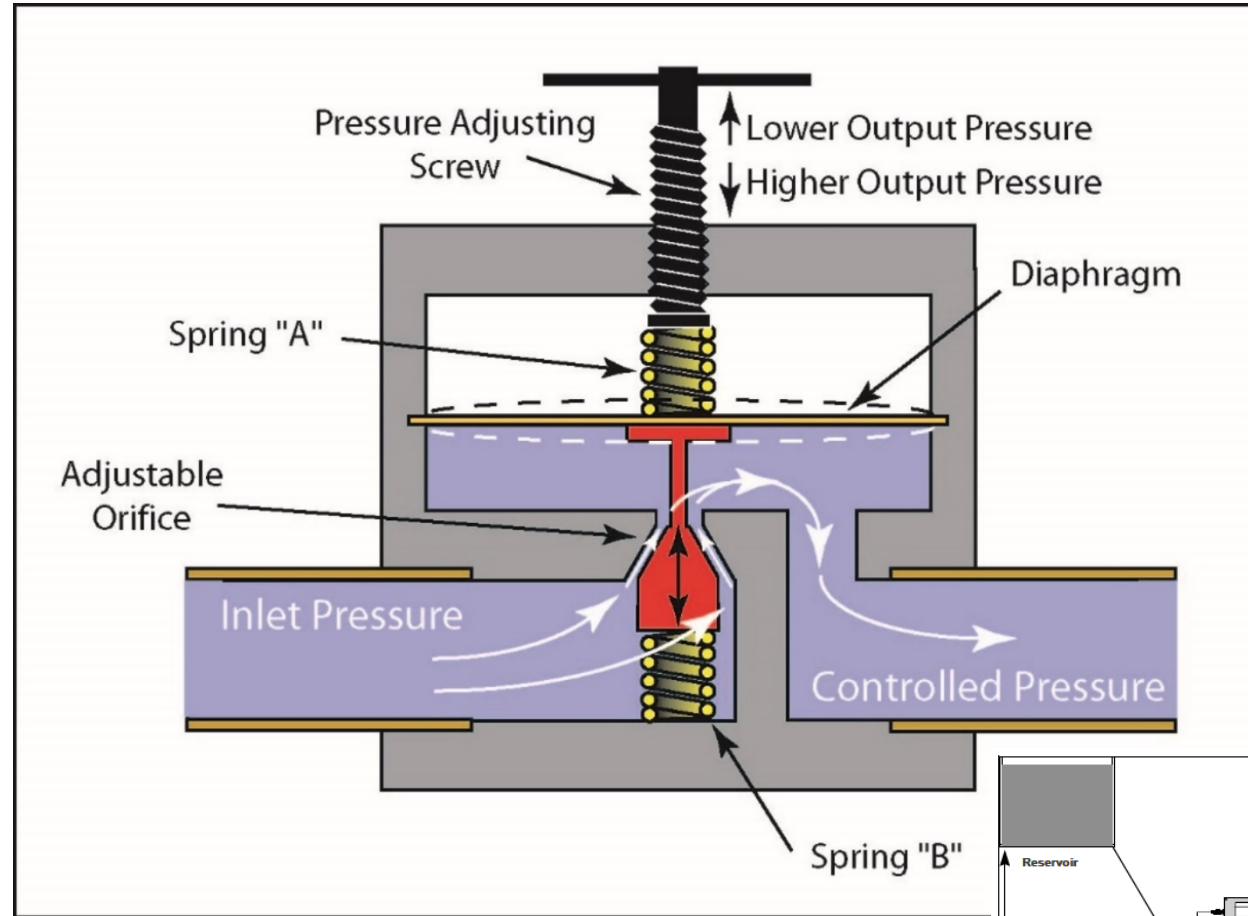


Διαχείριση πίεσης

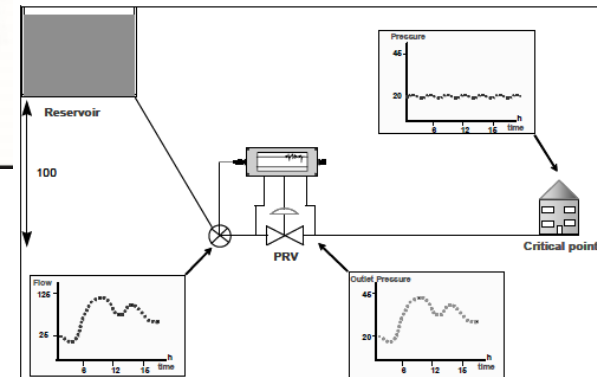
Πως μπορούμε να μειώσουμε την πίεση στους αγωγούς;



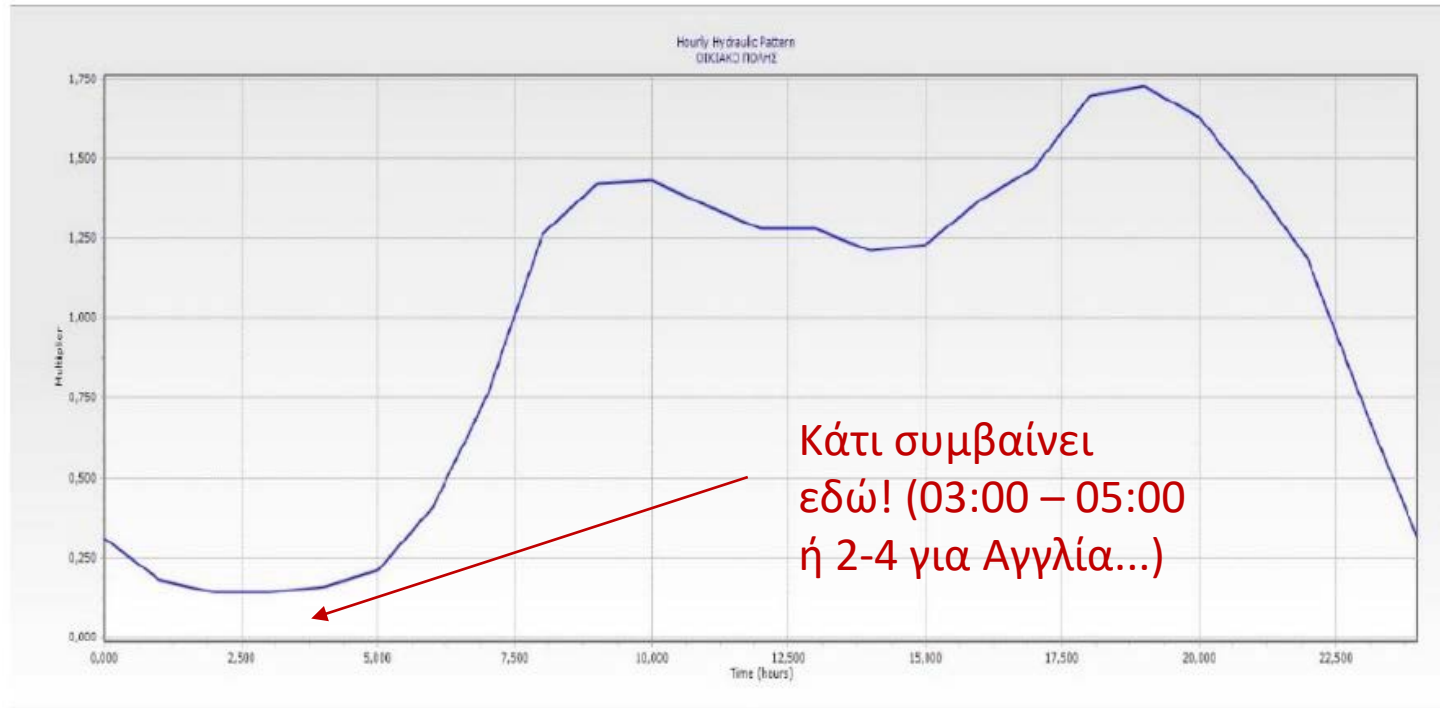
- Η βαλβίδα κρατάει τη πίεση στην **έξοδο σταθερή** ακόμα και αν η πίεση στην είσοδο είναι μεγαλύτερη.
- Το διάφραγμα μετακινείται λόγω της πίεσης στην έξοδο.
- Μεγάλη πίεση (στην είσοδο) το ανεβάζει και αυτό συνεπάγεται ότι η (κόκκινη) βίδα ανεβαίνει και άρα λιγότερο νερό περνά και η πίεση πέφτει.
- Εξαρτούμε την πίεση (στόχο) στην έξοδο με τη ζήτηση κατάντι.



Βαλβίδα μείωσης πίεσης

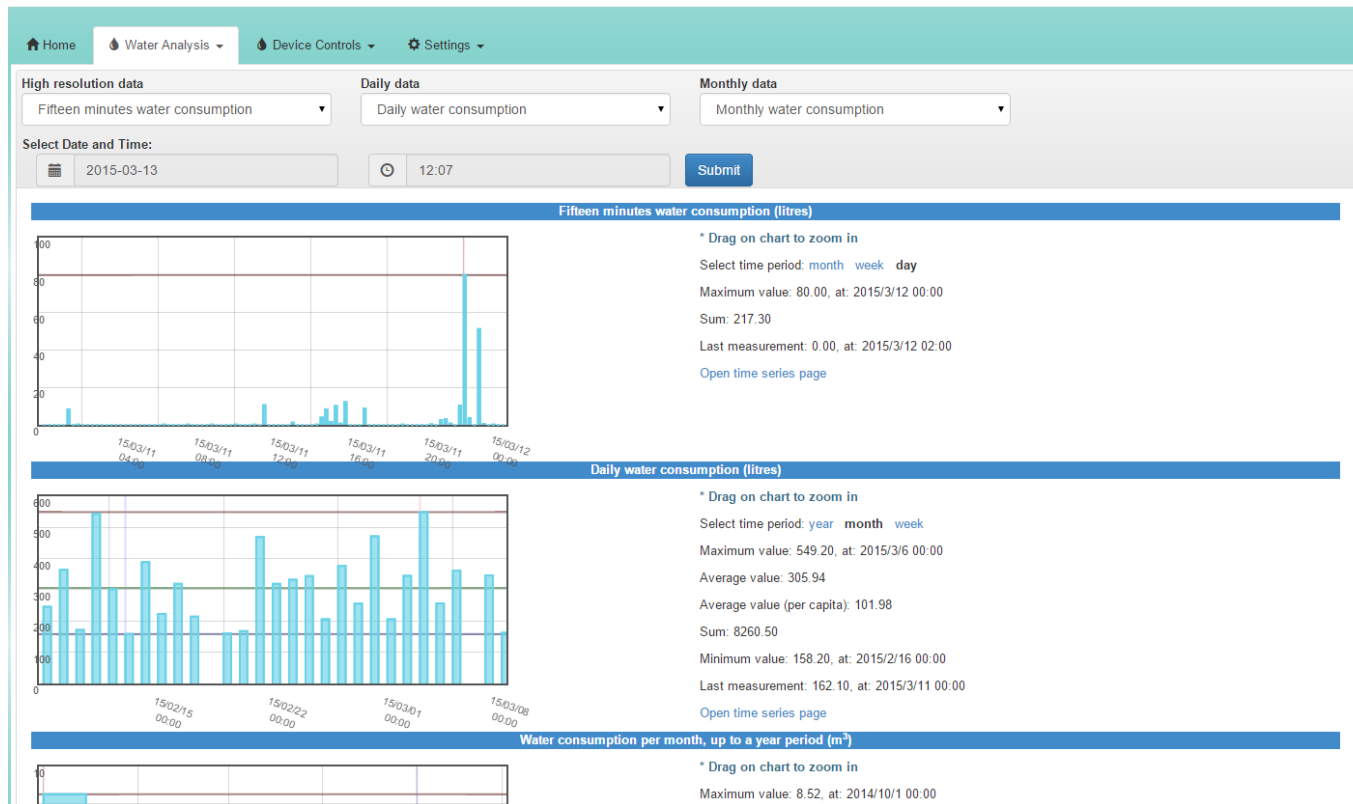


Διαρροές στον καταναλωτή



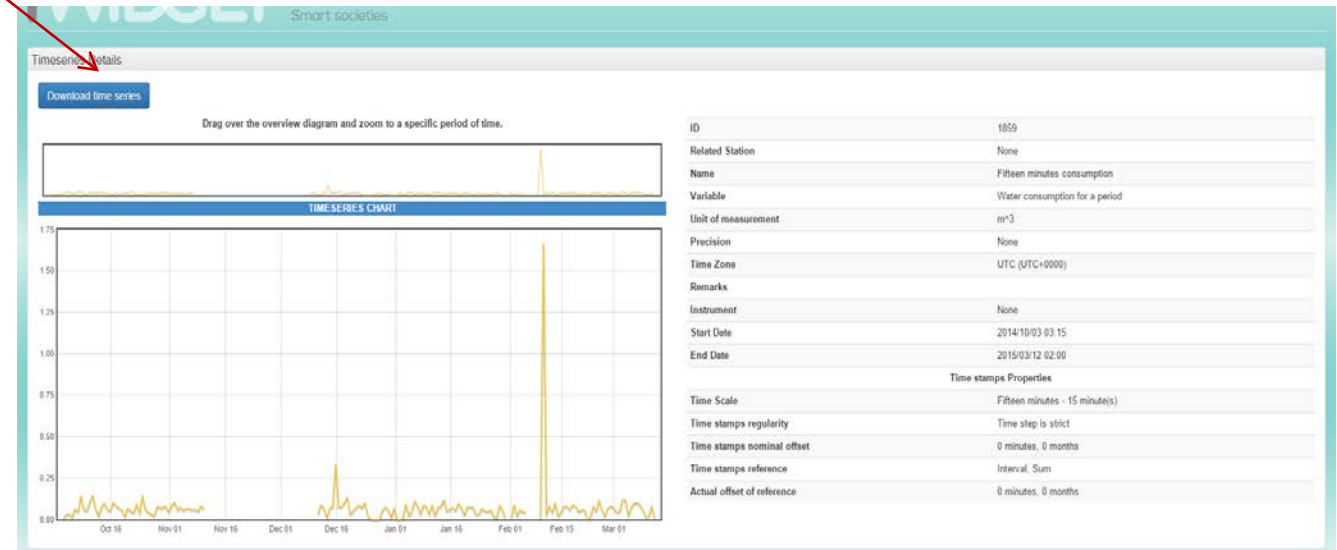
- Μπορούμε όμως εμείς (ή η ΕΥΔΑΠ ή και οι δύο) να το δούμε αυτό;
- Ναι, αλλά χρειαζόμαστε **εξυπνους μετρητές!** (smart metering)

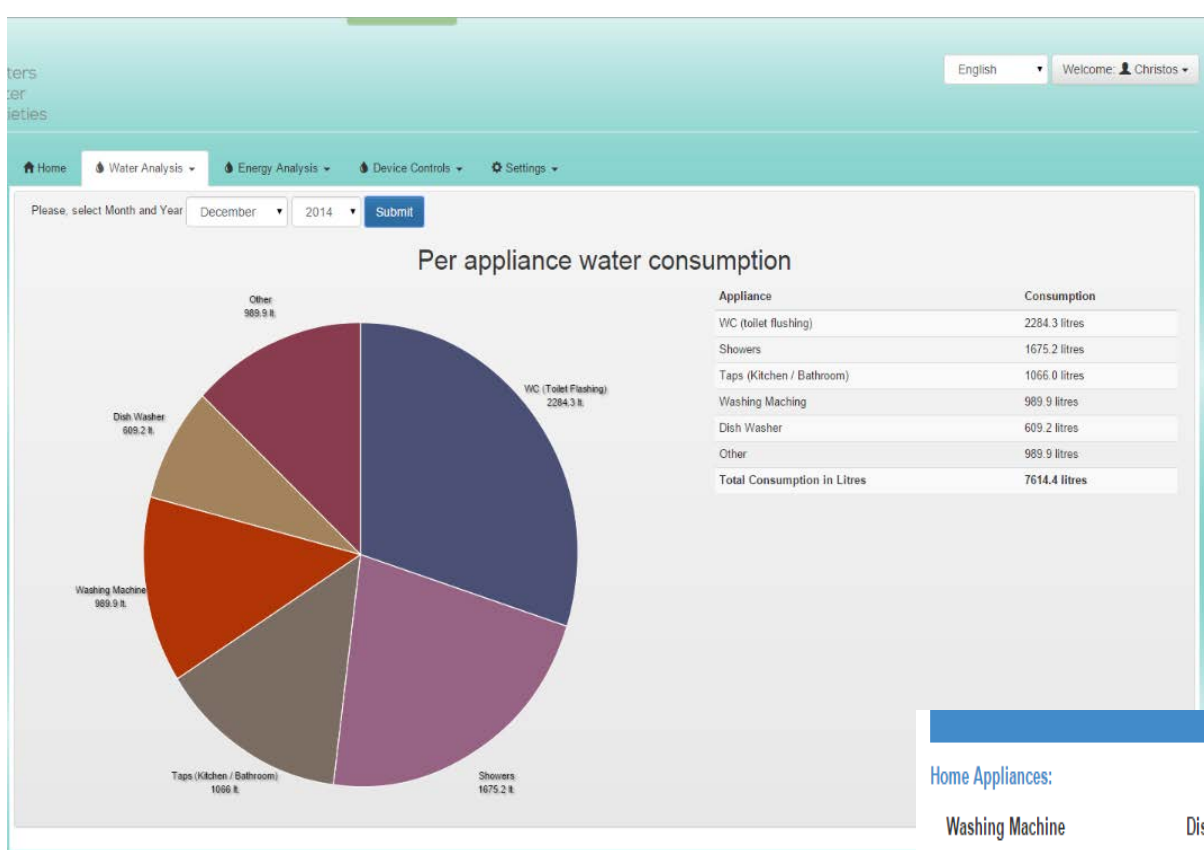




■ Κατανάλωση σε επίπεδο σπιτιού (ανάλυση 15 λεπτών)

■ Ιστορικά στοιχεία κατανάλωσης





Κατανάλωση ανα συσκευή

- Πως ξέρω τι
συσκευές
υπάρχουν σε
ένα σπίτι;

APPLIANCE CHARACTERISTICS

Home Appliances:

Washing Machine	Dishwasher	Bath	Shower	Toilet	Boiler
1	1	0	1	1	1
Dryer	Sink (Kitchen and WC)				
0	2				

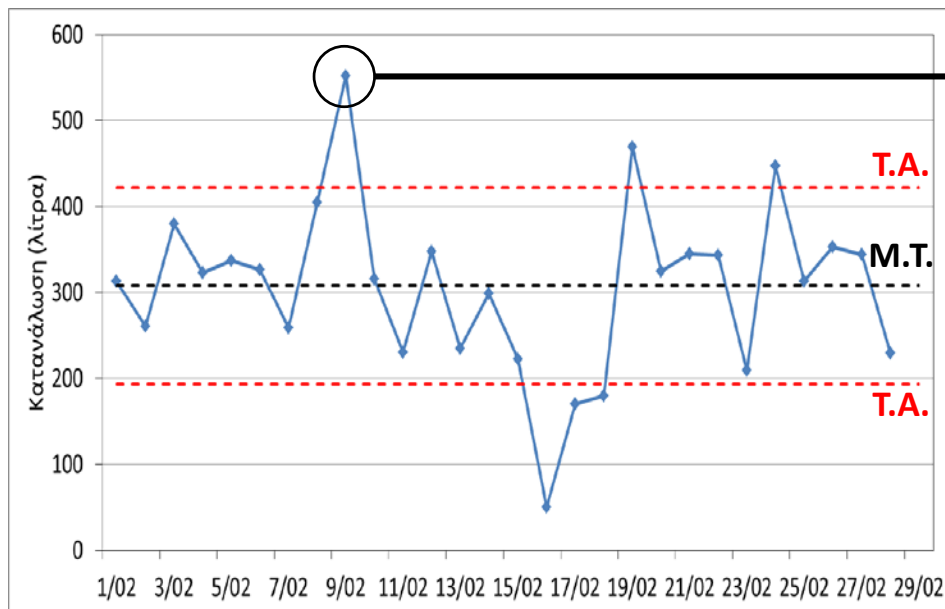
Water Efficient Appliances:

☐ Dual flush toilets ☐ Low flow taps ☐ Efficient showerheads ☐ Water/Energy efficient washing machine ☐ Water/Energy efficient dishwasher ☐ Drip irrigation or Sprinkler timers

Water Demand Management Systems:

☐ Rainwater Harvesting System ☐ Greywater Treatment System ☐ Combination of RHS and GTS

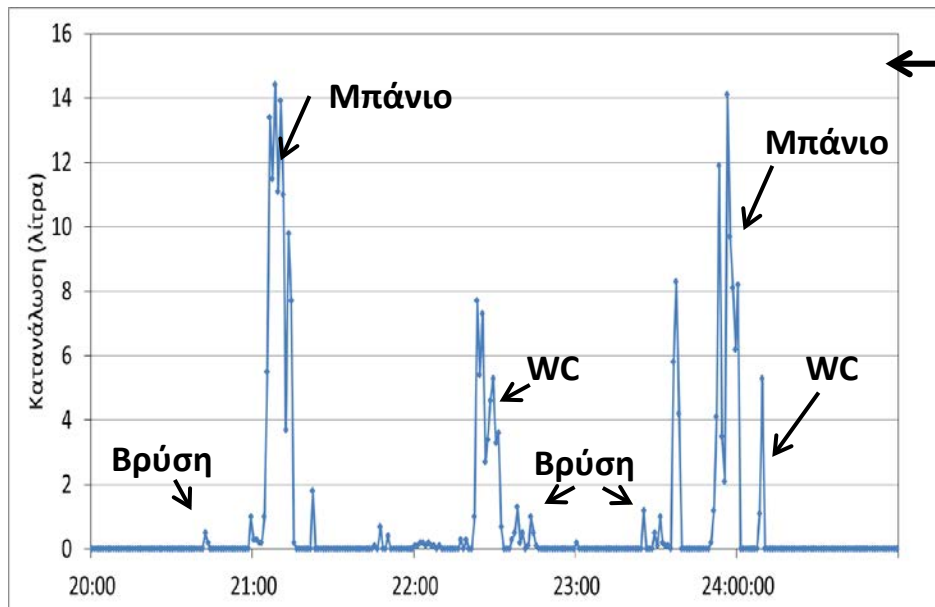
Submit



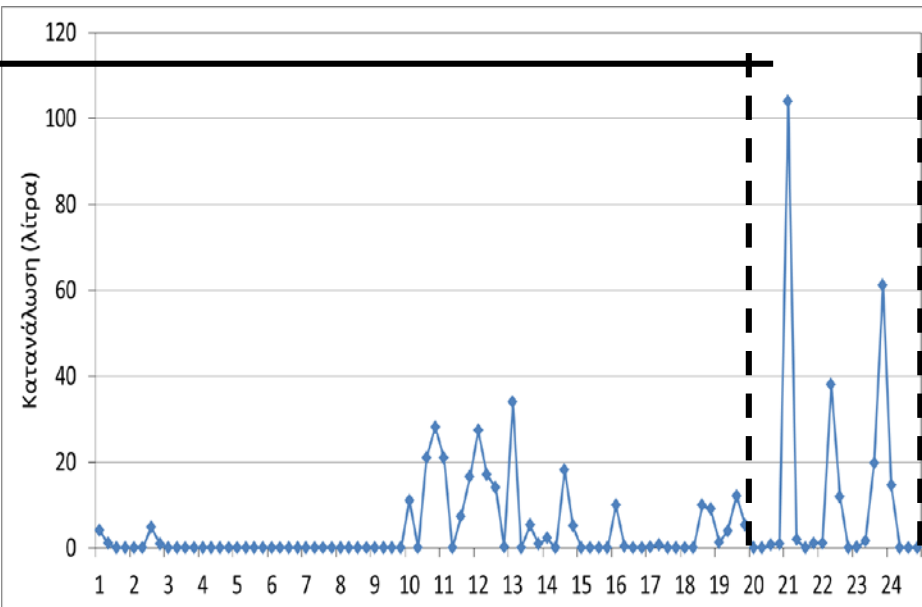
Ημερήσια κλίμακα



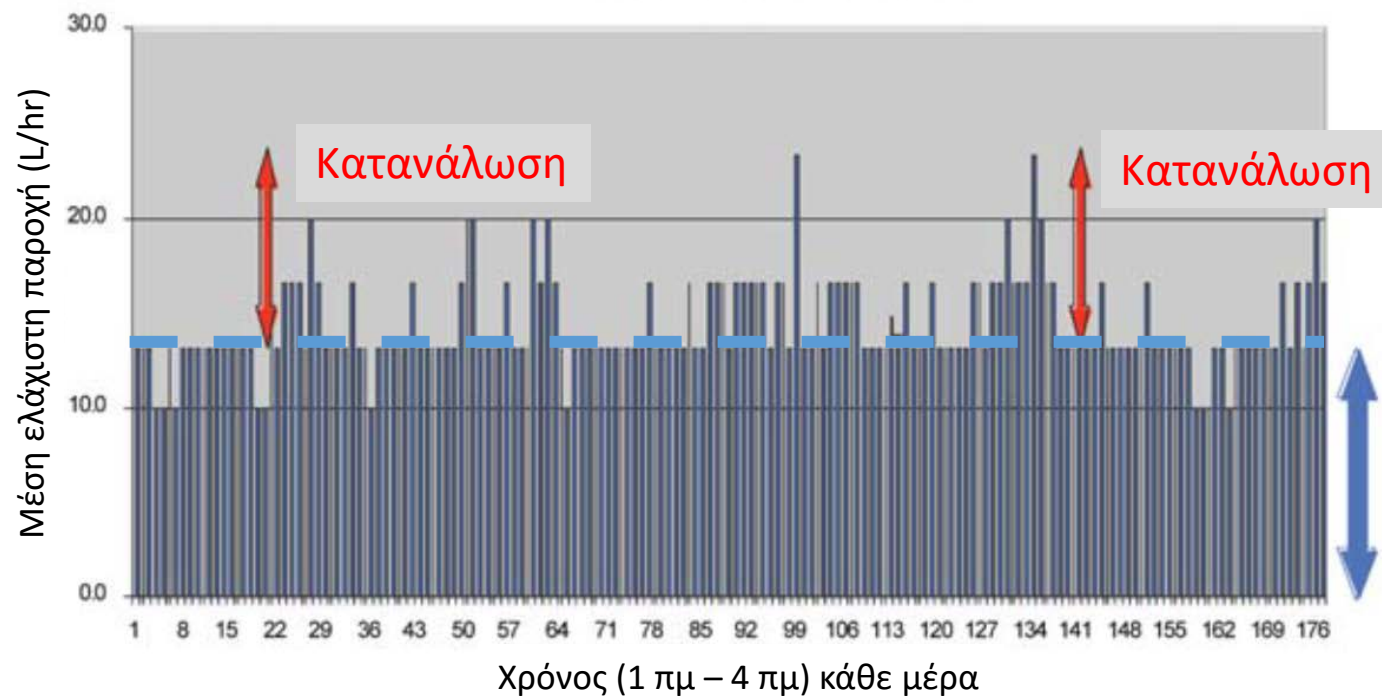
Ωριαία κλίμακα



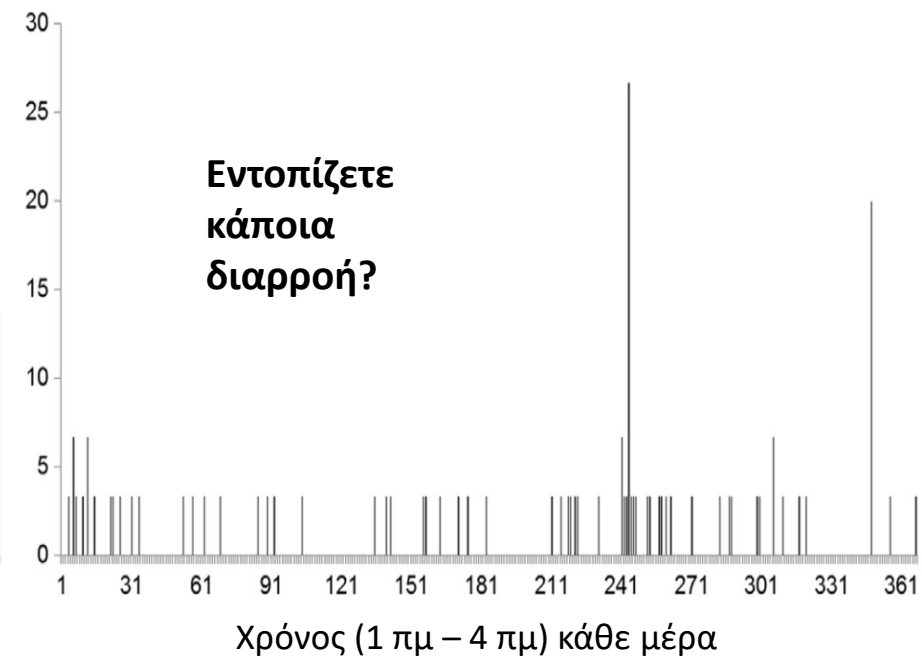
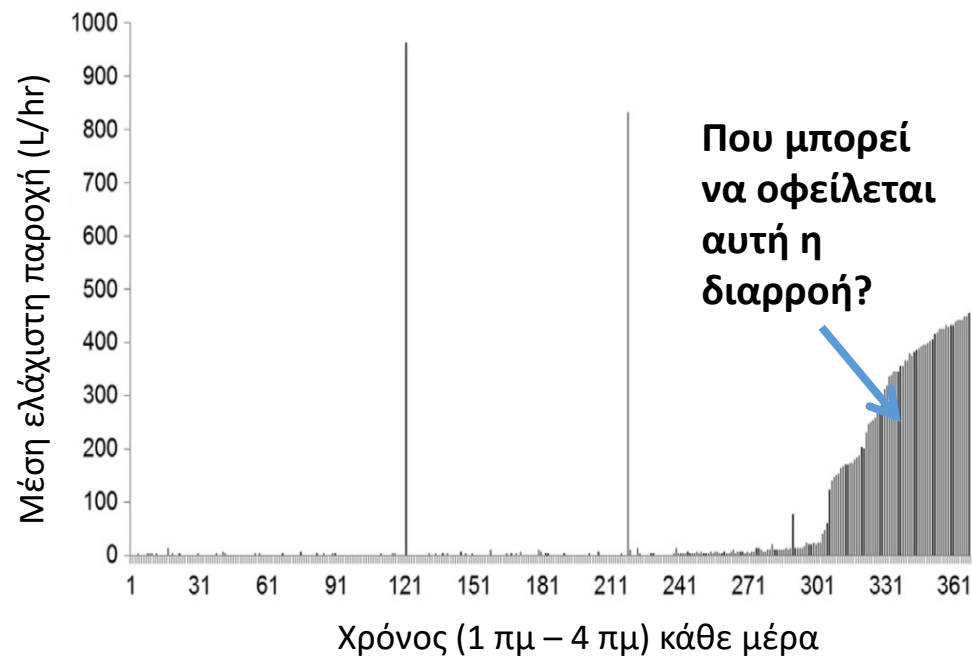
Κλίμακα λεπτού



Δεκαπεντάλεπτη κλίμακα

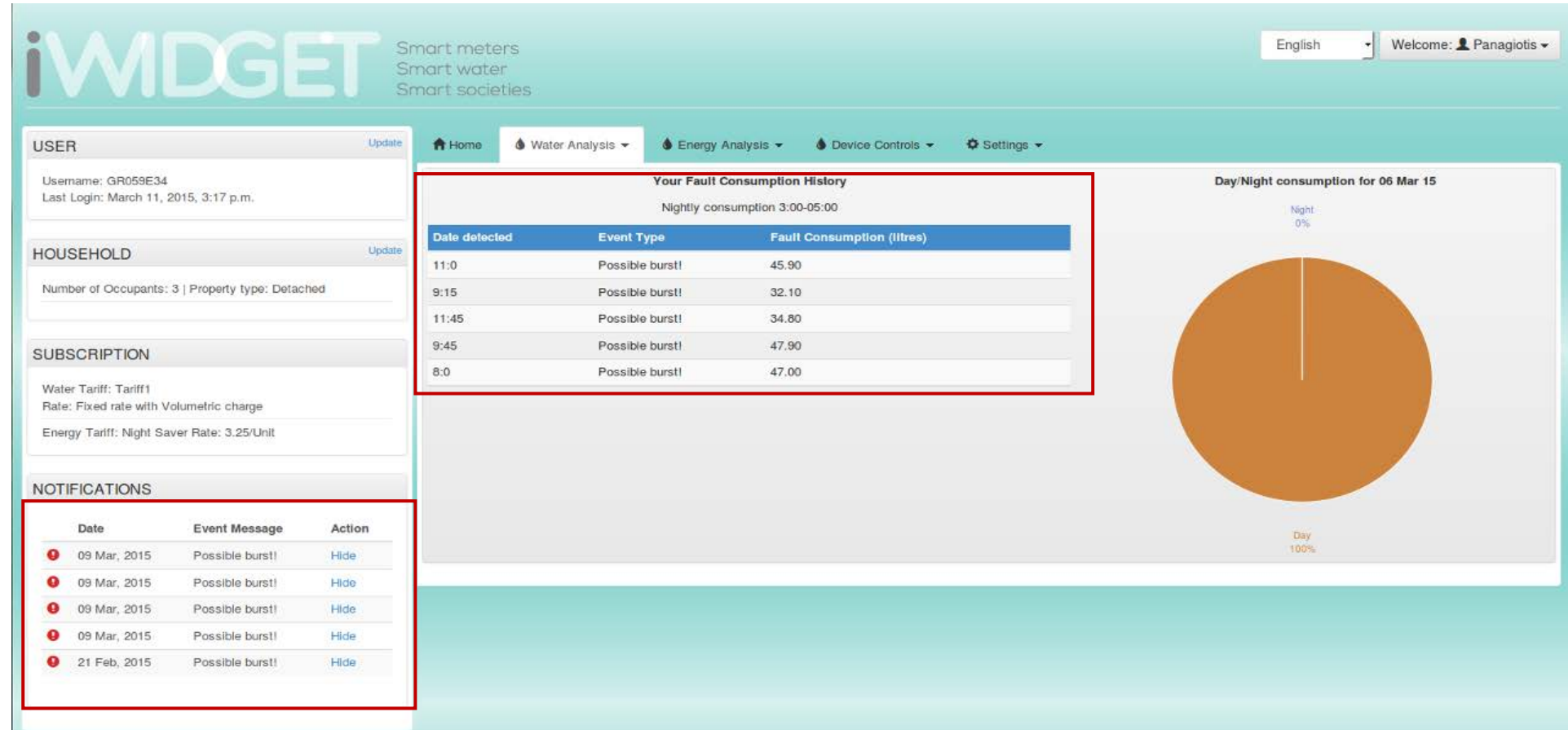


❑ Εσείς ποιές ώρες της ημέρας θα ψάχνατε για **διαρροή νερού** στο σπίτι σας?



Προειδοποίηση για πιθανή διαρροή

- Σύγκριση με ιστορικά στοιχεία
- Προειδοποίηση για πιθανή διαρροή (και τότε ξεκίνησε!)
- Προτείνετε έναν κανόνα για το σύστημα!
- Ποιά χρονοσειρά ωριαίων τιμών είναι ύποπτη;



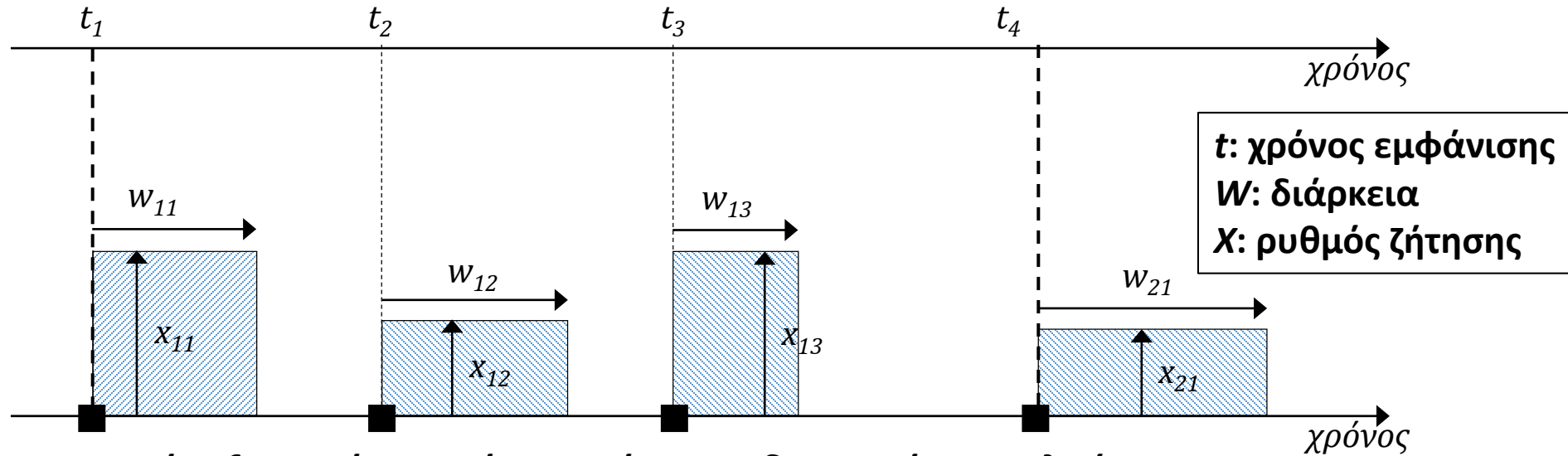
[00:15, 01:0, 02:0, 03:20, 04:0, 05:0, 06:0, 07:25, 08:30,...]

[00:5, 01:7, 02:0, 03:3, 04:3, 05:2, 06:2, 07:25, 08:30,...]

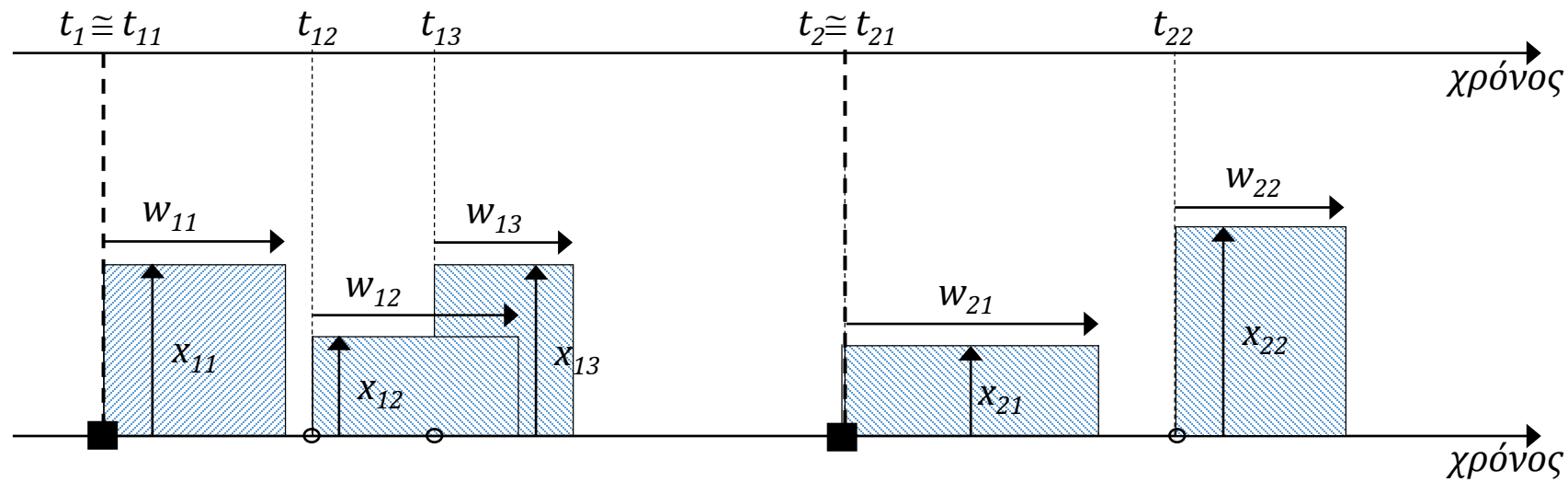
[00:5, 01:7, 02:0, 03:3, 04:3, 05:2, 06:2, 07:25, 08:0,...]

Και η μαθηματική προσομοίωση... μέσω παλμών

Μεμονωμένα/ανεξάρτητα γεγονότα καταναλώσεων



Δημιουργία εξαρτημένων χρήσεων μέσω ομαδοποιημένων παλμών



Υπάρχουν αυτά στην Ελλάδα;



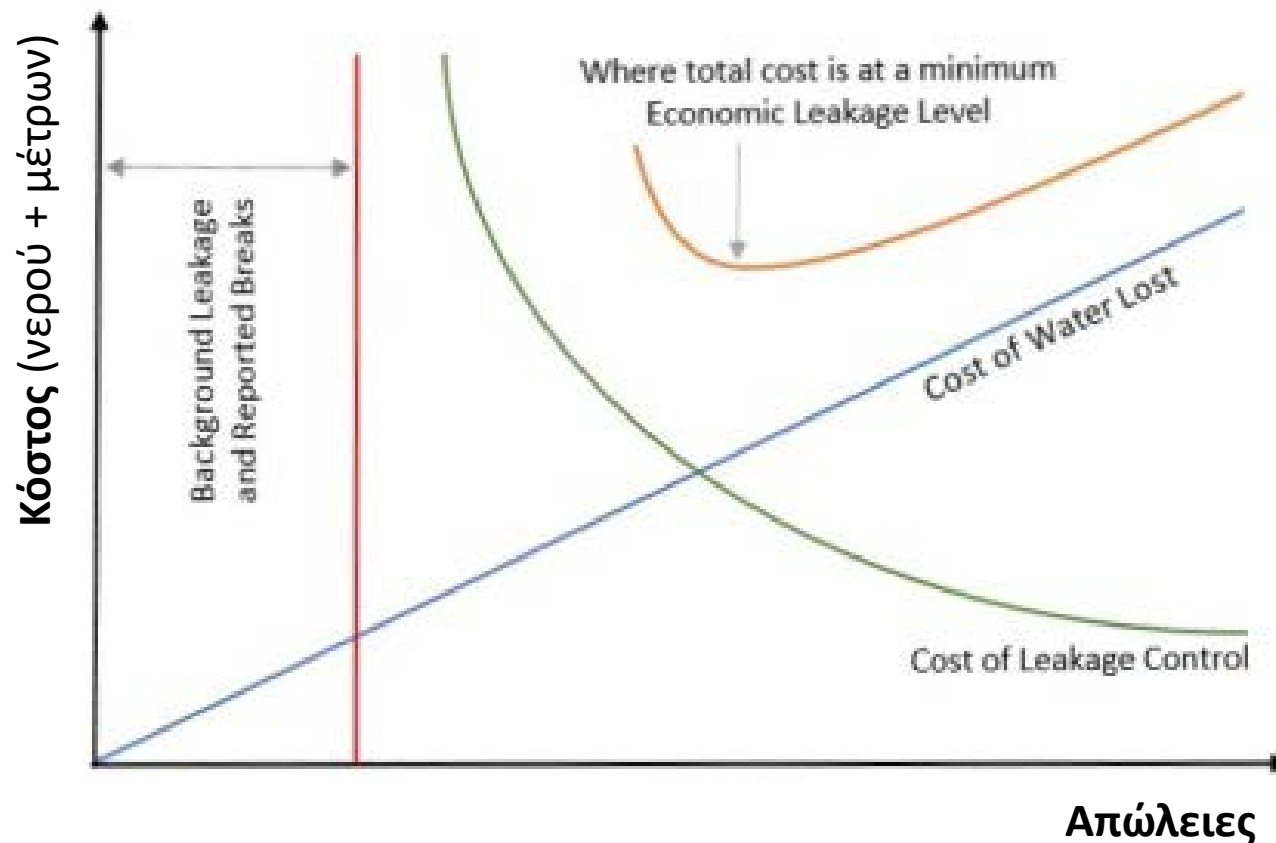
Νερό



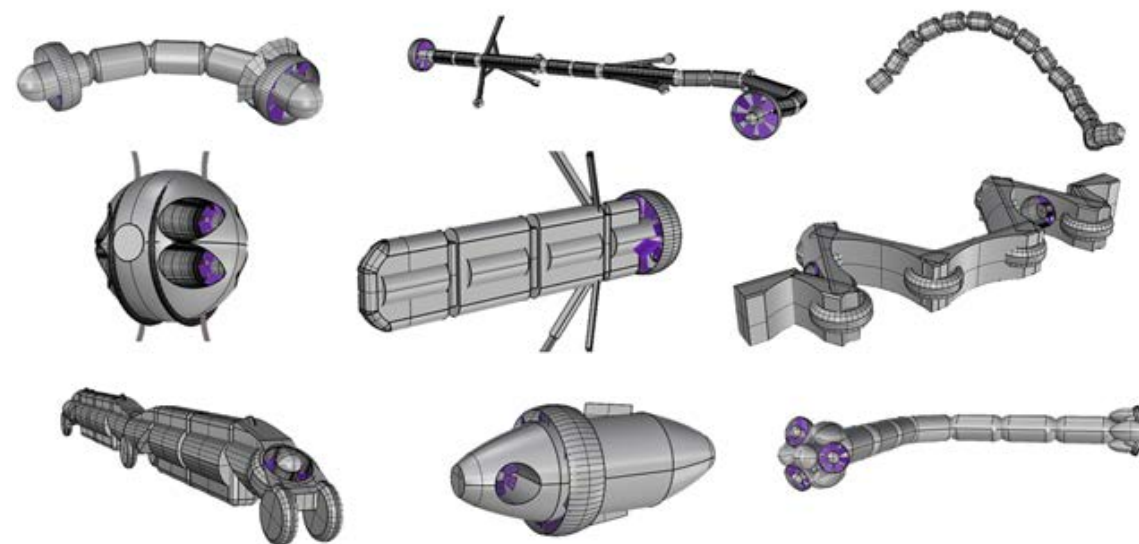
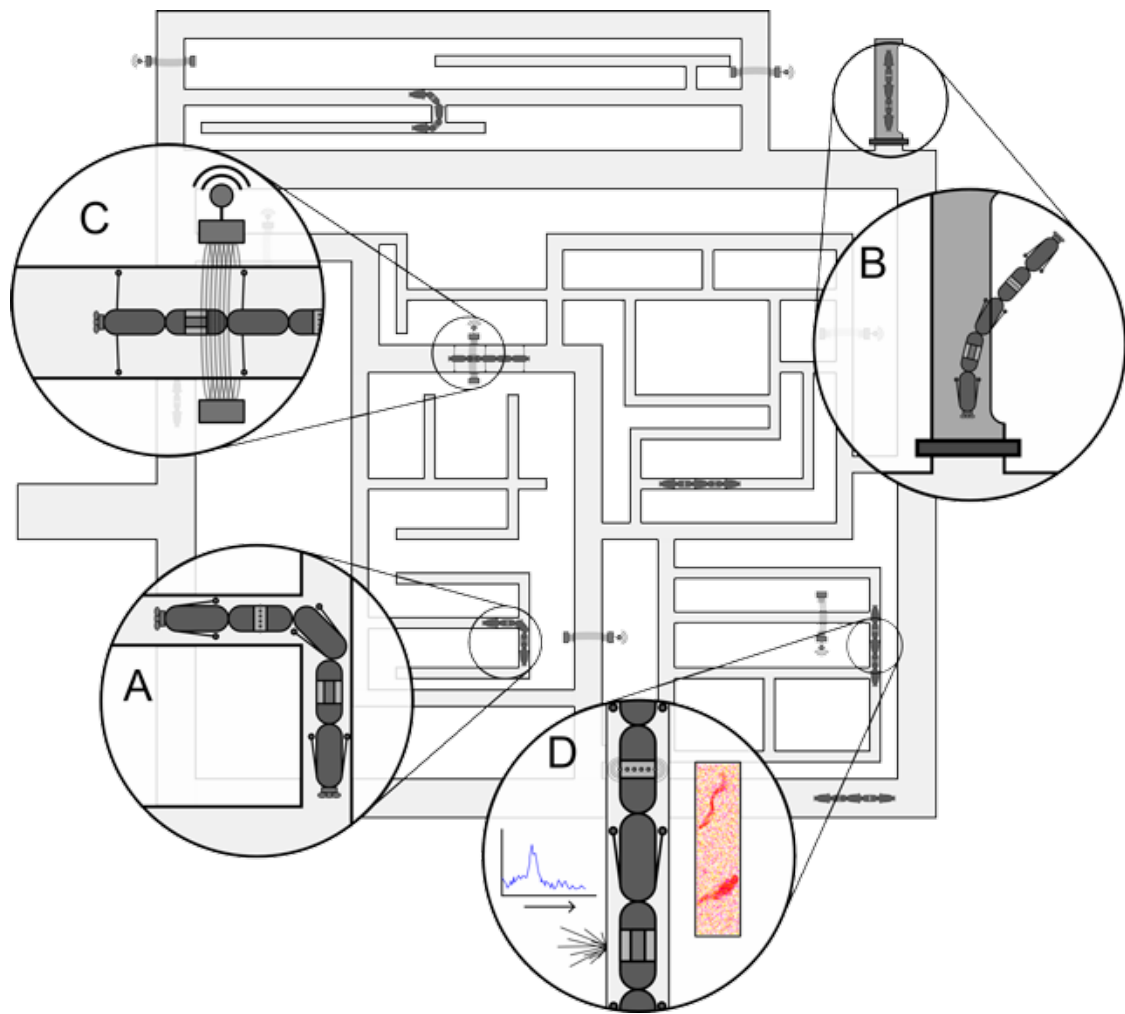
Νερό και Ενέργεια

Ποίο είναι το βέλτιστο επίπεδο διαρροών;

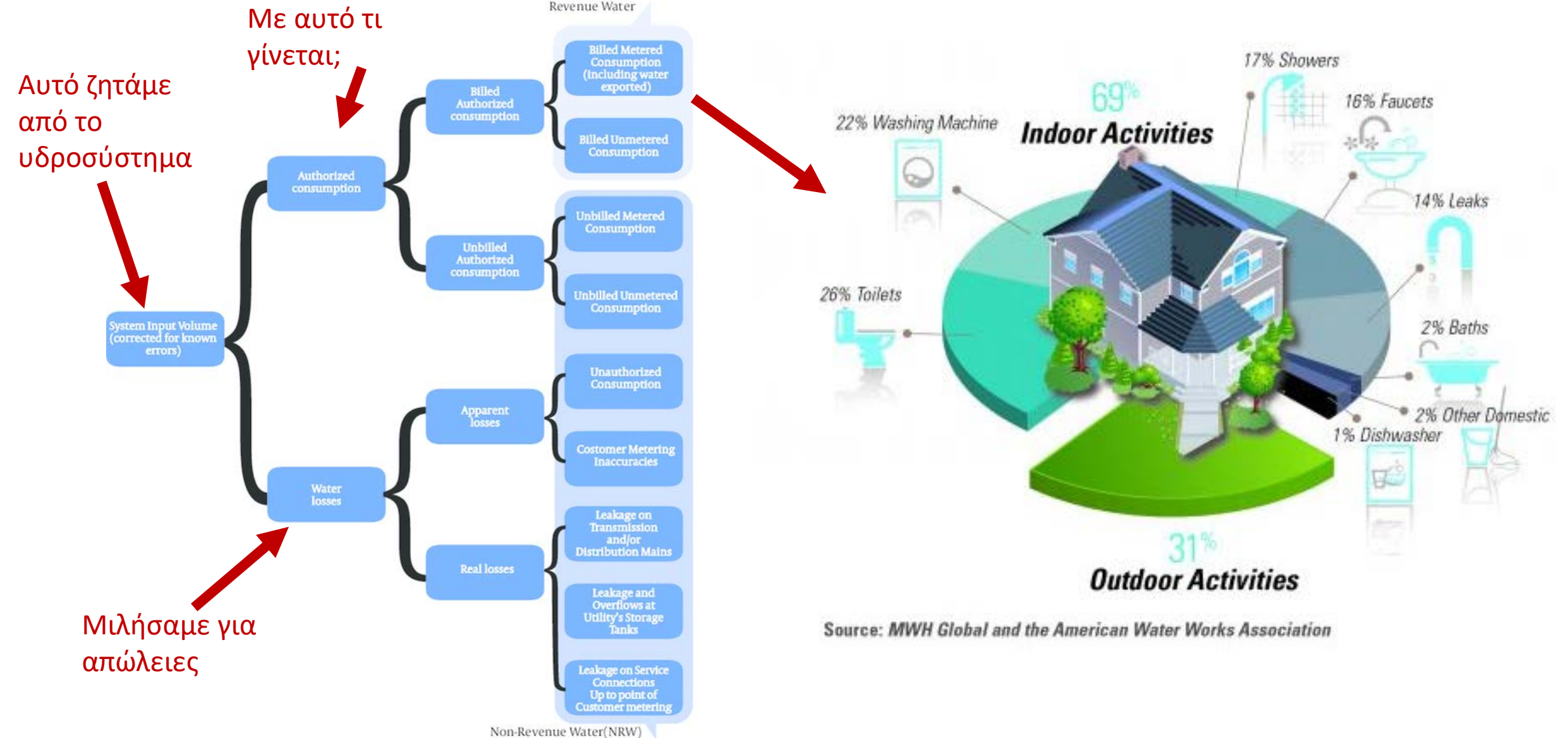
- Είναι το 0%;
- Το οικονομικό επίπεδο διαρροών (Economic Level of Leakage: ELL)
 - Γιατί μειώνεται το κόστος των μέτρων (ανά κυβικό) όταν οι απώλειες μεγαλώνουν;
 - Ποιο το κόστος του νερού (και άρα το κόστος των απωλειών);
 - Μπορεί η γραμμή κόστους νερού να μην έχει ενιαία κλίση;
 - Τι θα άλλαζε το σημείο του ελαχίστου;



Peter van Thienen's pet robot...



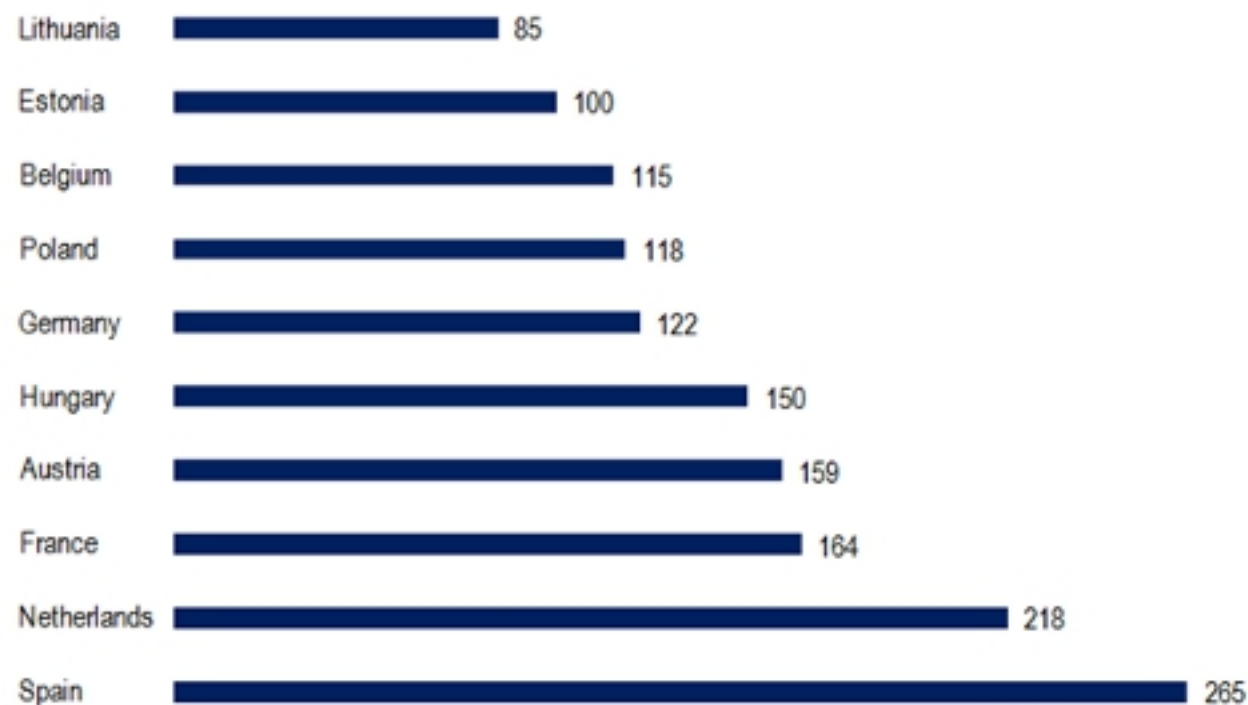
Και αυτό είναι (μόνο) το μέρος των διαρροών - τι γίνεται με τη κατανάλωση; Μπορούμε να την μειώσουμε και πως;



Πόσο μπορεί να κυμαίνεται η κατανάλωση;

- Η Ελλάδα...
- Οι ΗΠΑ γύρω στα 500
- Και βέβαια μιλάμε για την Δύση.
- Άρα υπάρχει μεγάλη ελαστικότητα στη ζήτηση (και εντός των απαιτήσεων ποιότητας ζωής)
- Υπάρχει άραγε ελαστικότητα στη **τιμή**;

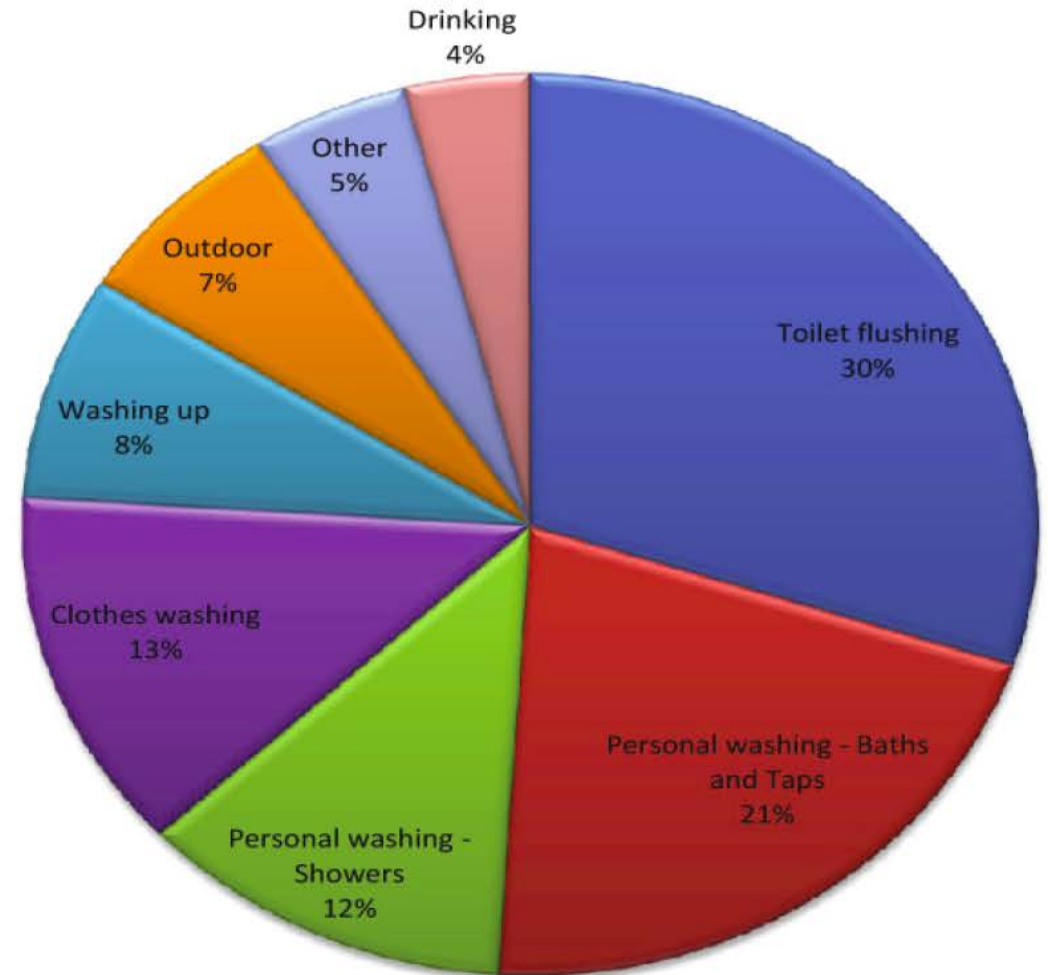
Daily water use in selected European countries in 2012 [liter/day]



Source: OECD

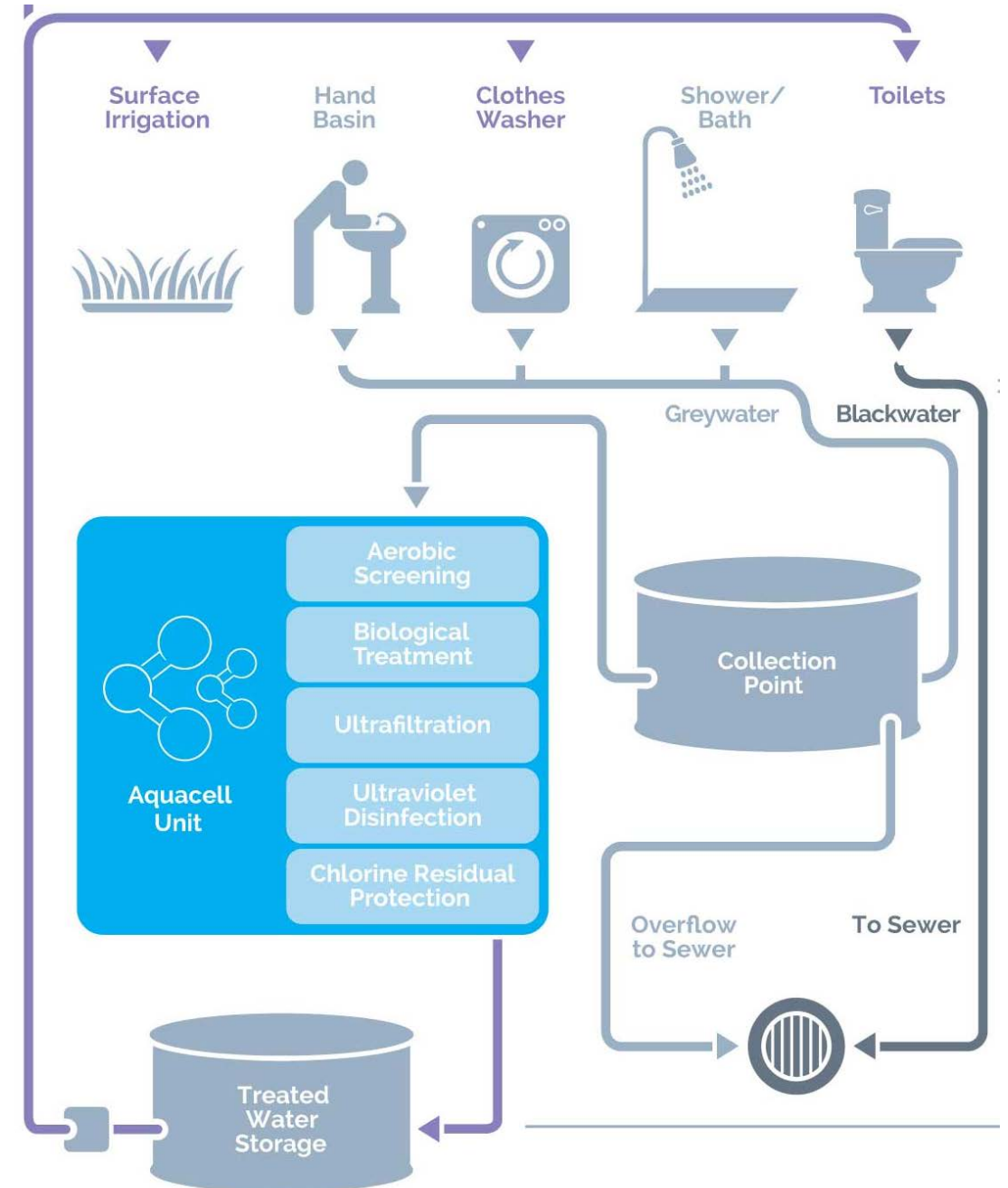
Πως αλλάζει η ζήτηση;

- Διαφορετικές **συνιστώσες** της ζήτησης μπορούν να μειωθούν με διαφορετικό τρόπο (**τεχνολογικό ή μη**)
 - Γκρί νερό
 - Συλλογή ομβρίων
 - Συσκευές μείωσης ροής (ντους και νιπτήρες)
 - Συσκευές που χρησιμοποιούν λιγότερο νερό (πχ. καζανάκια 6 λίτρων)
 - Αλλαγή συμπεριφοράς/χρήσης των συσκευών που ήδη υπάρχουν
- Ακόμα και οι τεχνολογίες όμως είναι θέμα **συμπεριφοράς** (πχ. η υιοθέτηση/αγορά τους!)



Χρειαζόμαστε πραγματικά πόσιμο νερό για τα καζανάκια; Η περίπτωση του γκρί νερού

- **Πηγές γκρί νερού:**
 - Νιπτήρας
 - Μπανιέρα
 - Πλυντήριο ρούχων
 - Νεροχύτες (όχι πάντα...)
- **Χρήσεις γκρί νερού:**
 - Καζανάκια
 - Πότισμα
 - Πλυντήριο ρούχων (όχι πάντα...)



Πόσο γκρί είναι το γκρί νερό;



Μπανιέρα

Νιπτήρας

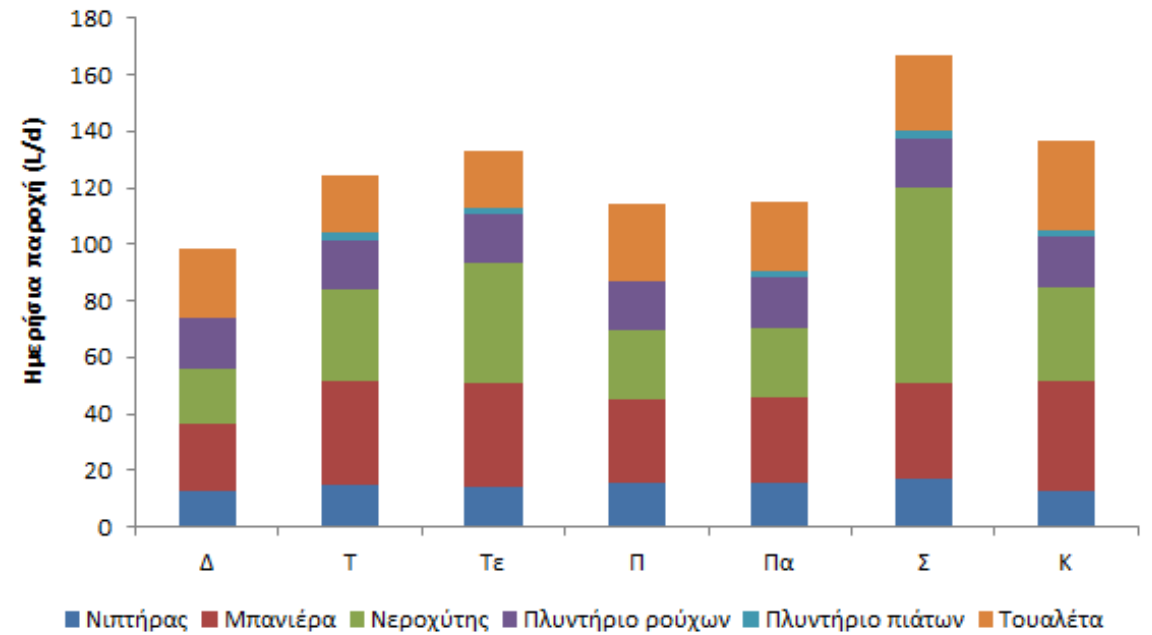
Πλυντήριο
ρούχων

Νεροχύτης

Πλυντήριο
πιάτων

Και πόσο γκρί νερό παράγουμε;

- Μέση παροχή γκρι νερού:
98.1±29.5 L/IK/d
- Επί συνόλου μέσης παραγωγής
λυμάτων: **135±31.6 L/IK/d**
- Από το οποίο το μεγαλύτερο
ποσοστό παράγεται στο μπάνιο
(μπανιέρα, ντουζιέρα, νιπτήρας): **≈ 50%**
- Και άρα ποιά είναι η μέγιστη
μείωση που μπορούμε να
πετύχουμε; (και από τι εξαρτάται;)

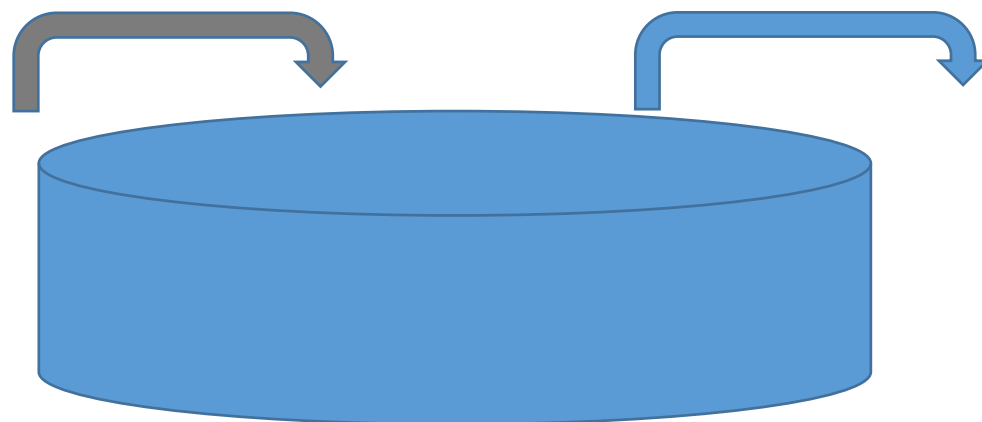


Μπορεί να
είναι κάτι
απλό

Ένα (μικρό) πρόβλημα διαστασιολόγησης

Παραγωγή γκρί νερού
(χρονικό βήμα 1h):

[20, 30, 10]



Ζήτηση γκρί νερού
(χρονικό βήμα 1h):

[10, 30, 20]

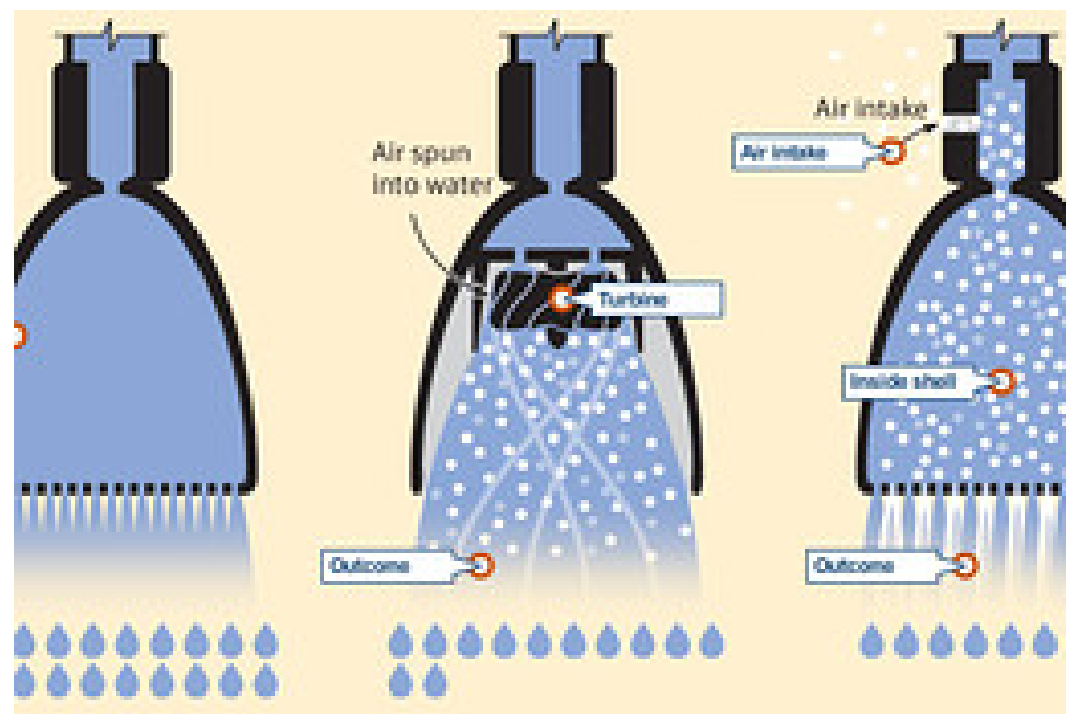
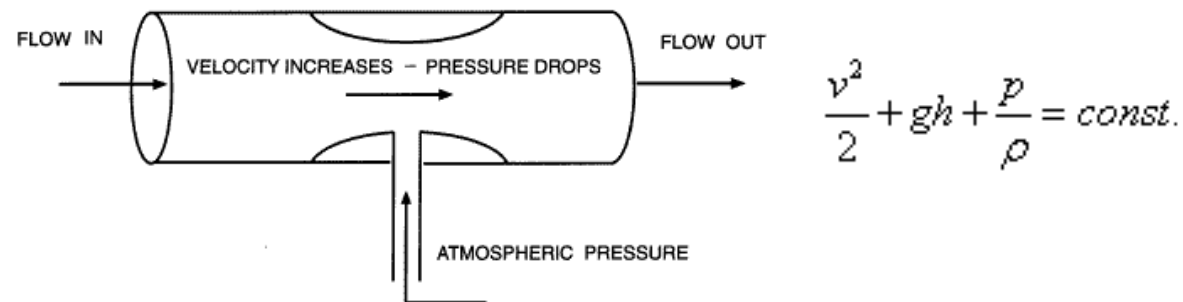
Δεξαμενή **20 lt**
(ξεκινάει άδεια)

Η δεξαμενή μου επαρκεί για να καλύψει τη ζήτηση ή όχι;

Άλλες επιλογές;



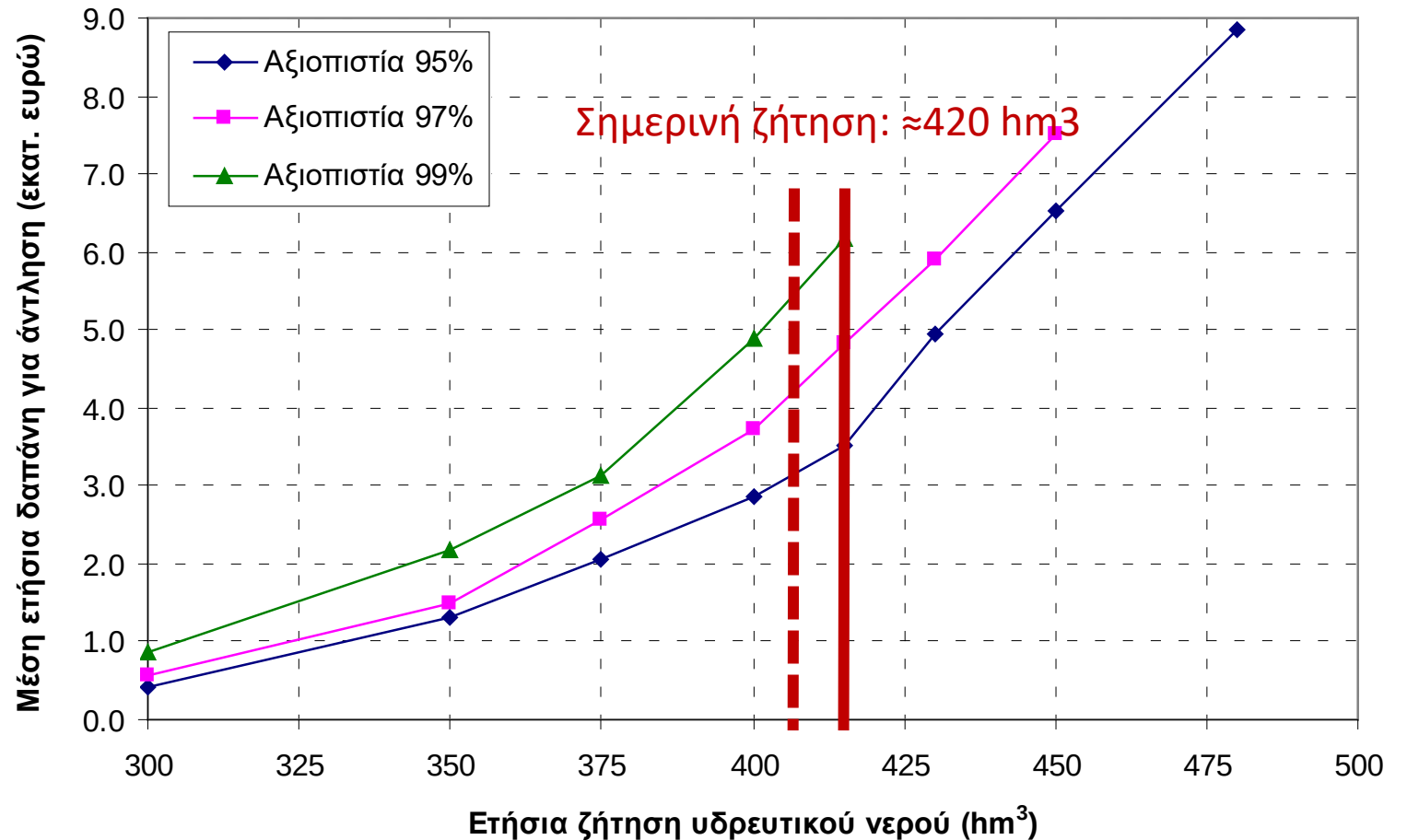
Καζανάκια χαμηλής ροής (από 12lt (80's) σε 6lt (τώρα) σε 2-3lt (σύντομα)



Ντουζιέρες **χαμηλής πίεσης**;
ή
Ντουζιέρες που αναμειγνύουν **νερό με αέρα** (η βασική ιδέα του turbocharger!!)

Επιπτώσεις;

- Τι επίπτωση θα είχε να αποκτήσουν κάτι τόσο απλό όσο 6 lt καζανακία;
- Στην Αξιοπιστία
- Στην Ενέργεια (κόστος)
- Πώς θα μπορούσε να γίνει;



Προσομοίωση υιοθέτησης νέων τεχνολογιών

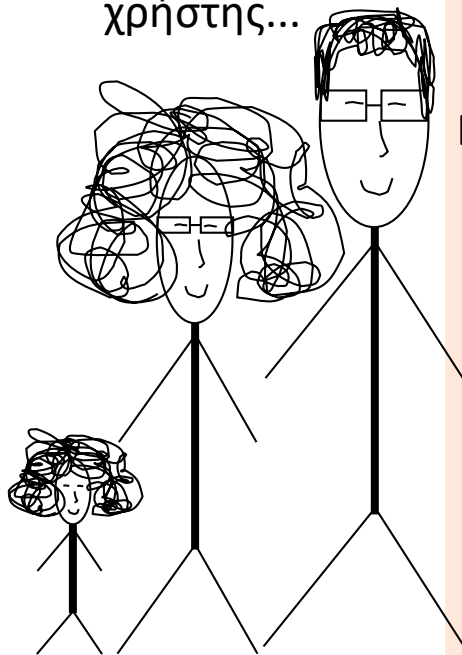
- Θα υιοθετούσατε εσείς τέτοιες τεχνολογίες;
- Εξαρτάται...

Behavioural Intention (BI)

=

Environmental Consciousness (ea) +
age (a) + income (i) + education (e) +
housing type (ht) + Past water saving
behaviour (p) + Social Network
Impact (s) + Drought Condition
Awareness (d) + Ease or difficulty to
decrease water demand (dwd) +
Effect of past water saving behaviour
(f) + Restrictions effect (r)

Ο μέσος
χρήστης...



Κοινωνικά χαρακτηριστικά

Μέση ηλικία
Μέσο εισόδημα
Υψηλό μορφωτικό
Τρεις κάτοικοι

Ανάγκες

Βασικές χρήσεις
Μπάνιο
Μαγείρεμα
Πλυσίμο

Μπαλκόνι
με φυτά

Μπάνιο για
χαλάρωση

Ένα μικρό παιδί!

Απόψεις

Υψηλή
περιβαλλοντική
συνείδηση

Θετικοί στην
μείωση
της
κατανάλωσης

Εξωτερικές επιρροές

Κοινωνικά δίκτυα
Φίλοι
Οικογένεια
Δουλειά
ΕΜΠ (!)
Διαδίκτυο

Πολιτική
για το νερό
- Τιμολόγηση
- Καμπάνιες
- περιορισμοί

Κλίμα
Ξηρασία

Πραγματική συμπεριφορά

Αβέβαιη...

Το παιδί
αποφασίζει
οτι θα μάθει να
τρώει
μόνο του...

Γρύπη (ξανά)

Έρχονται φίλοι
Για φαγητό

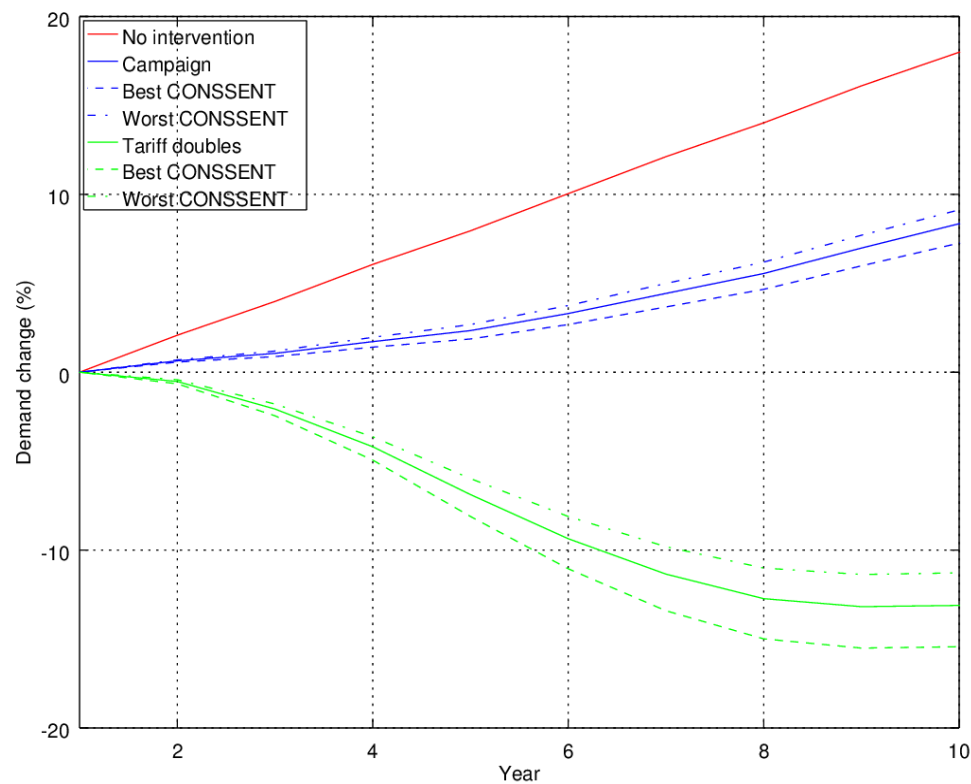
Μπορούμε να το ποσοτικοποιήσουμε αυτό;

Μοντέλα ευφύων πρακτόρων (ABM)

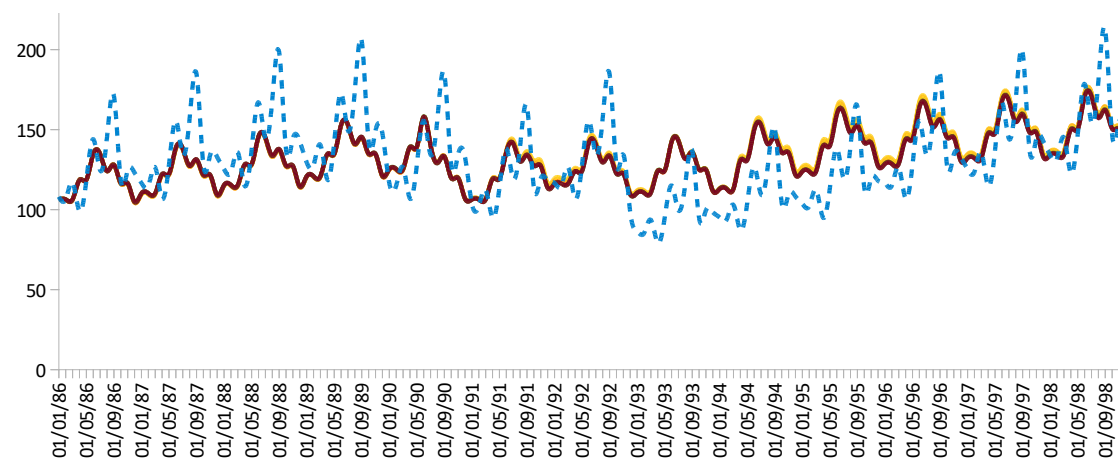
Δυναμικά Συστήματα



Τί τύπου αποτελέσματα βγάζουμε;



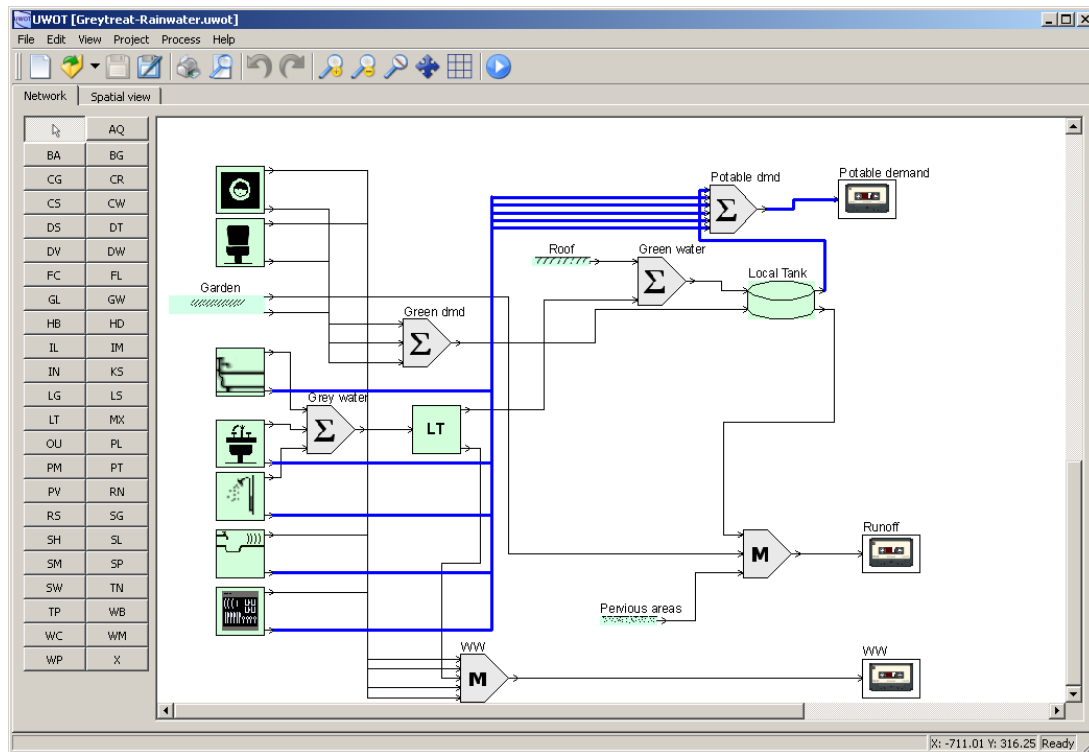
Εισαγωγή νέων τεχνολογιών σε σενάριο αστικοποίησης Αττικής προς τα Ανατολικά (SD simulation)



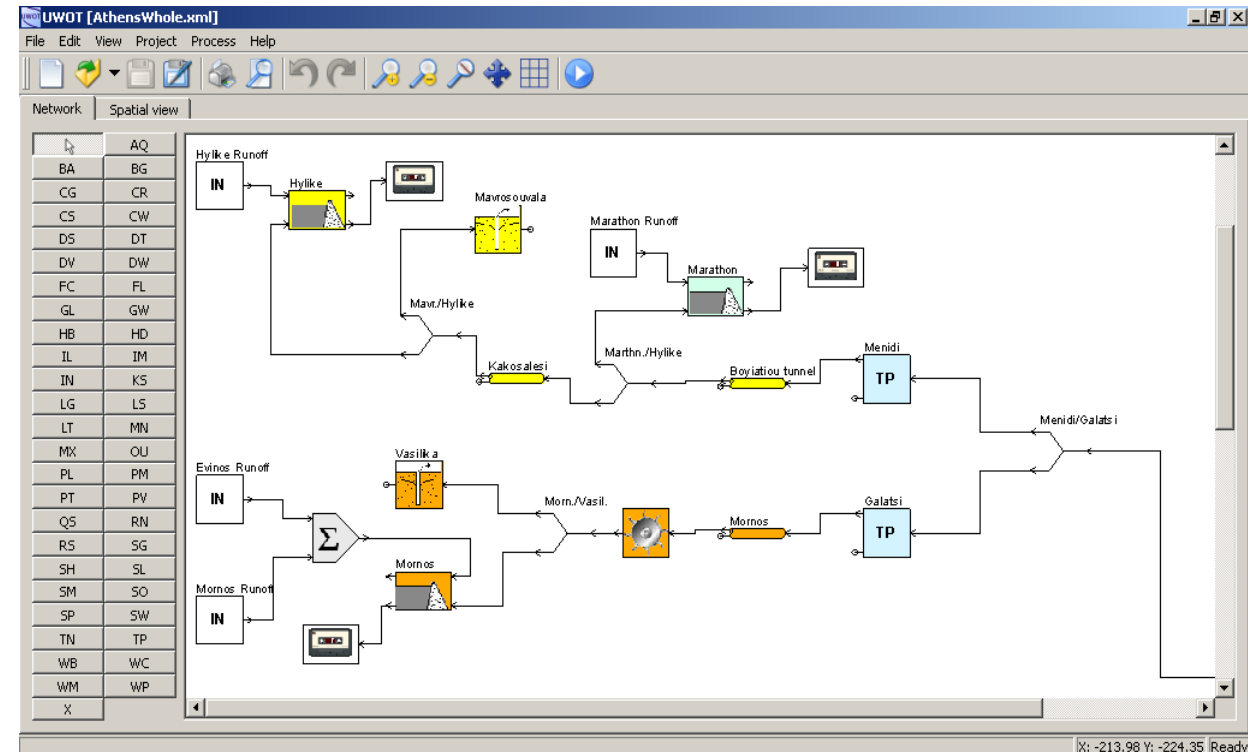
Προσομοίωση εξέλιξης ζήτησης τη περίοδο ξηρασίας 90-91 (ABM simulation)

Και μετά;

Μοντέλα υπολογισμού επιπτώσεων από υιοθέτηση νέων/παλιών τεχνολογιών



Από μέσα στο σπίτι ...

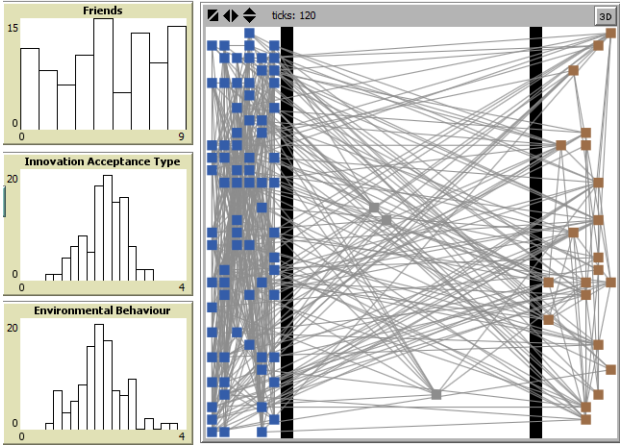
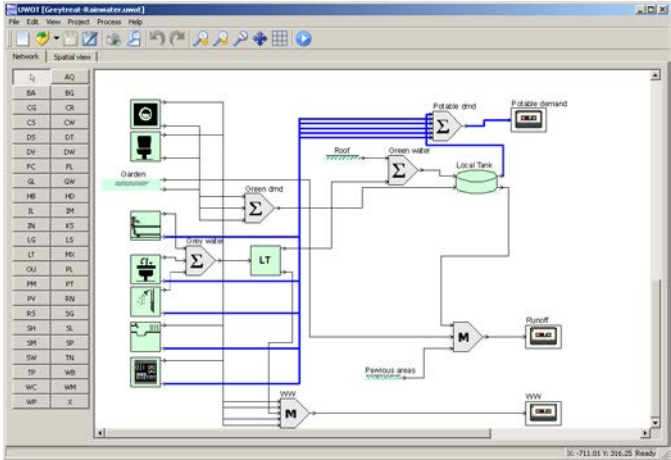


... μέχρι τους ταμιευτήρες

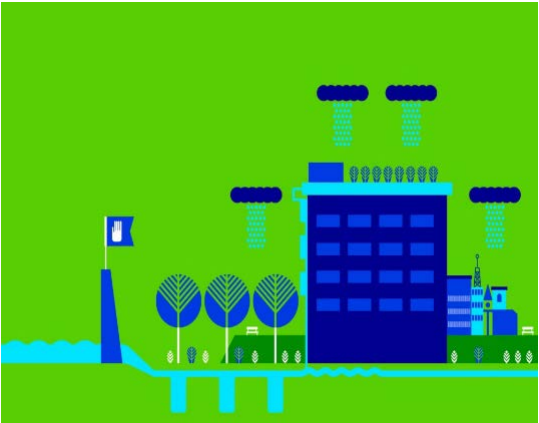
Μια εργαλειοθήκη διαχείρισης αστικού νερού

- Εξυπνοι μετρητές
- Βελτιστοποίηση
- Στρατηγικός σχεδιασμός

Μοντέλα υδρο-
δικτύων και
υποδομών

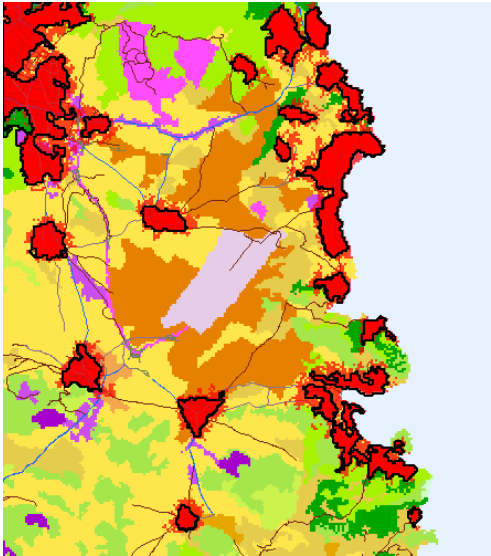
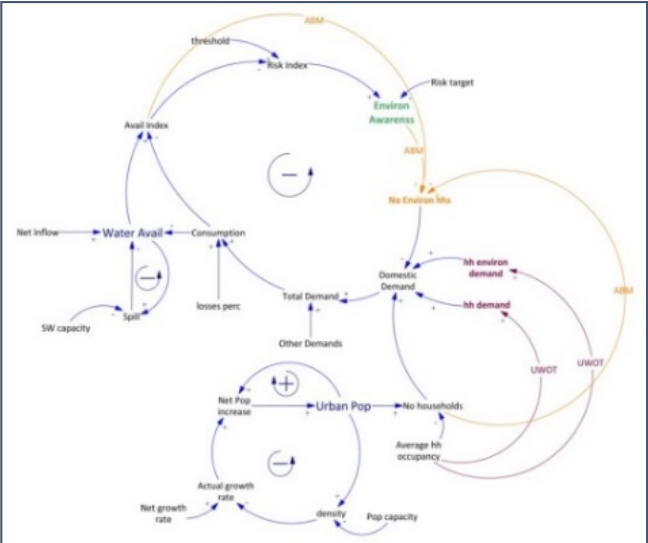


Μοντέλα ευφύων πρακτόρων
(σχέση του χρήστη με την
κατανάλωση)



Έξυπνες Πράσινες (και
Μπλέ) Πόλεις

Μοντέλα Δυναμικών
Συστημάτων
(επίδραση πολιτικών)



Μοντέλα
προσομοίωσης
της αστικής
εξέλιξης

Μέρος 2: Όμβρια

Ύδρευση:

- Μείωση απωλειών
- Διαχείριση ζήτησης

Αποχέτευση:

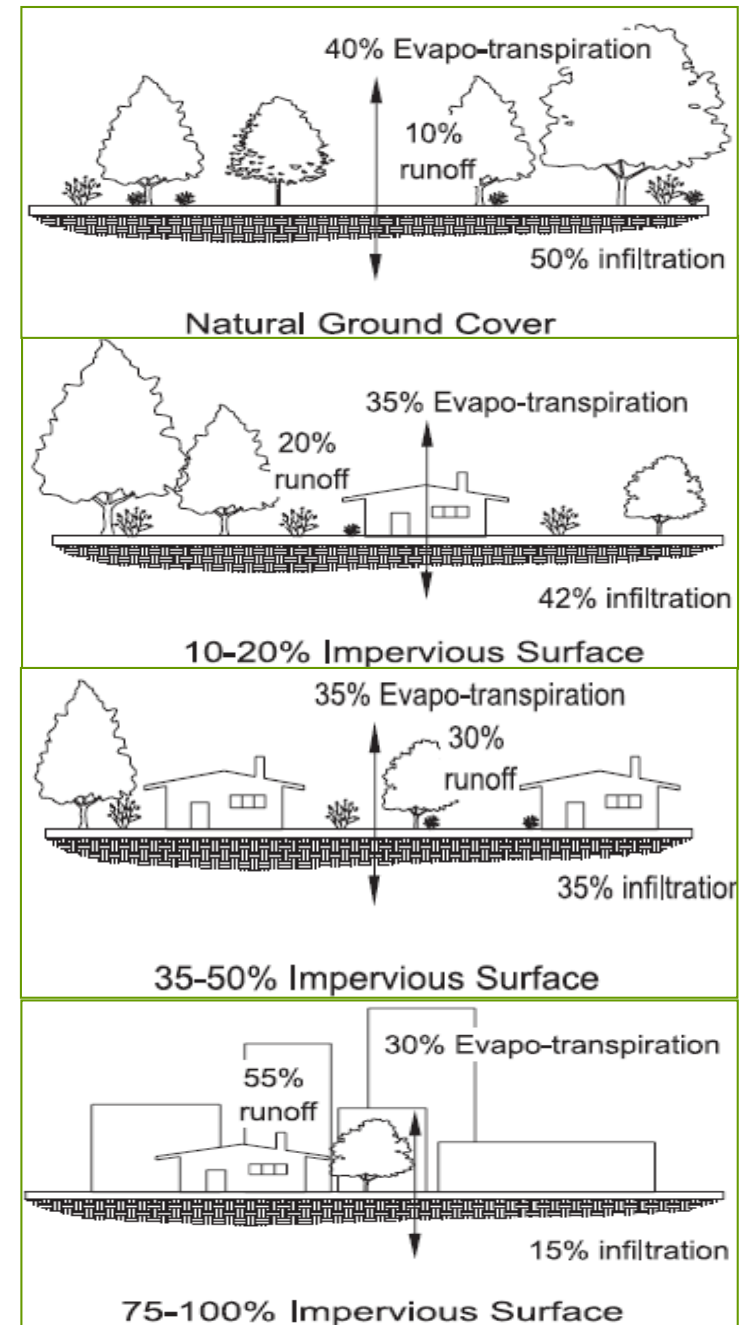
- Επαναχρησιμοποίηση νερού
- Εξόρυξη ουσιών

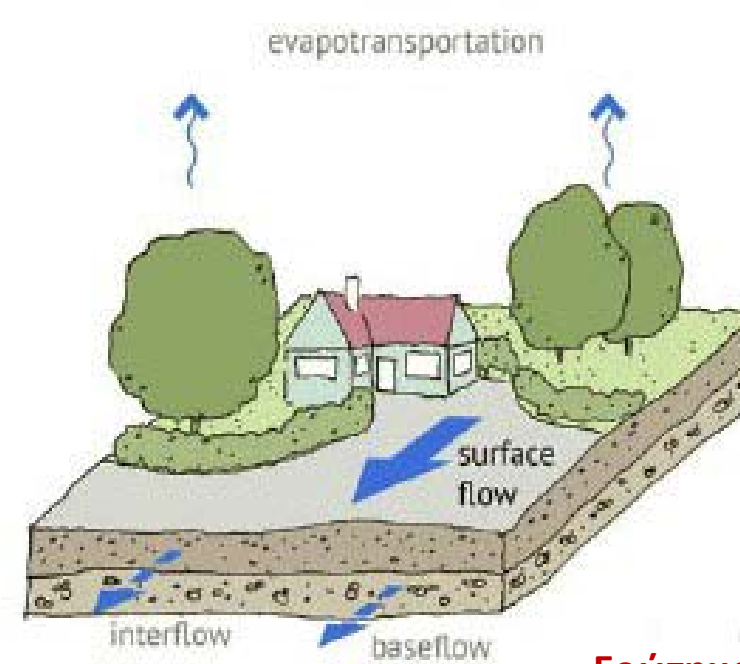
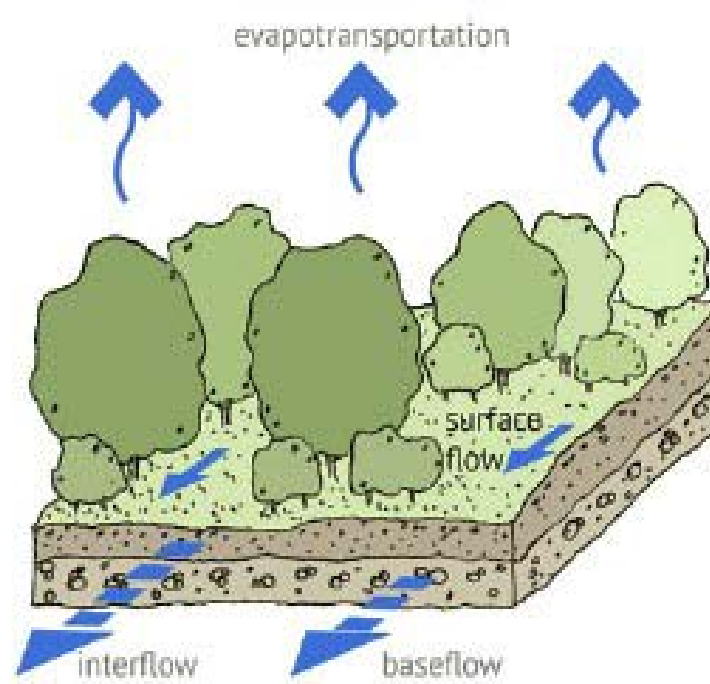
Όμβρια:

- Μείωση απορροής (και εισροής νερού στα δίκτυα)
- Επαναχρησιμοποίηση νερού βροχής

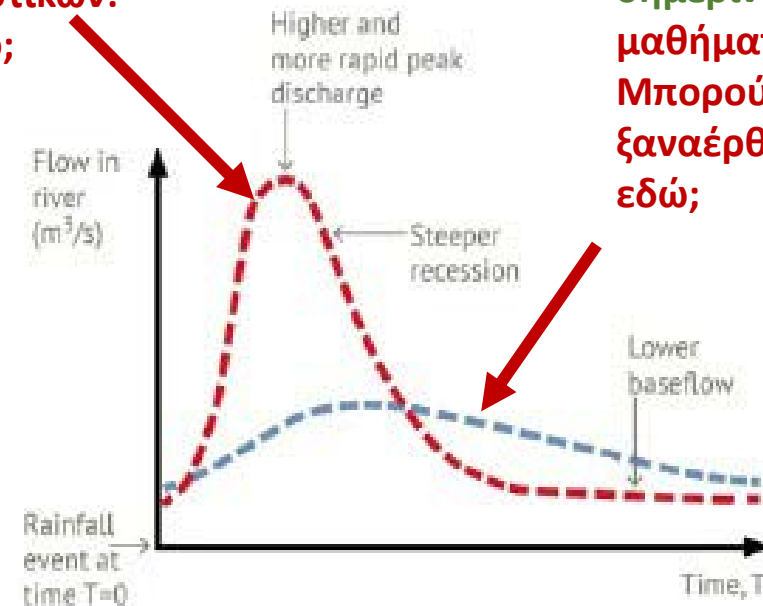
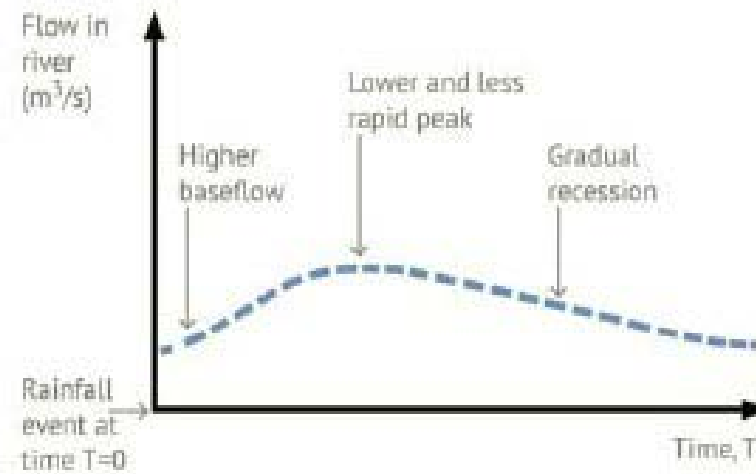
Μείωση Απορροής; Πως;

- Τι αυξάνει την απορροή;
- Η αστικοποίηση (μείωση της περατότητας) επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της ροής:
 - αυξηση του συνολικού **όγκου** παροχής και
 - της μέγιστης **παροχής** αιχμής
- Και άρα αυξάνει το κίνδυνο πλημμύρας...





Κλασικό ερώτημα μαθήματος Αστικών:
Μπορούμε να μεταφέρουμε αυτό;



Ερώτημα
σημερινού
μαθήματος:
Μπορούμε να
ξαναέρθουμε
εδώ;

Ήπια διαχείριση ομβρίων

- **Αστικοποίηση + Κλιματικές αλλαγές + Οικονομική κρίση = Πλημμύρες!**
- Ίσως αν μειώναμε την εισροή νερού στο (ήδη βεβαρημένο) σύστημα;
 - **Συγκράτηση** της βροχής στην περιοχή που έγινε η κατακρήμνιση
 - **Αύξηση διήθησης** του νερού της βροχής
 - **Αποθήκευση** της περίσσειας νερού τοπικά - καθυστέρηση του να κινηθεί προς τα κατάντη

Πολιτικές ήπιας διαχείρισης ομβρίων ανα τον κόσμο...

SUDS (UK)

Sustainable drainage is a concept that includes long term **environmental** and **social factors** in decisions about drainage.

It takes account of the **quantity** and **quality** of runoff, and the **amenity value** of surface water in the urban environment

WSUD (AU)

Water Sensitive Urban Design (WSUD) is about **integration of water cycle management** into urban planning and design.

The key **principles** of Water Sensitive Urban Design are: Protect natural systems, Integrate **stormwater** treatment into the landscape, Protect water quality, Reduce **runoff and peak flows**, Add value while minimising development costs

LID (US)

Low Impact Development is a comprehensive **land planning and engineering design** approach with a goal of maintaining and enhancing the pre-development hydrologic regime of urban and developing watersheds.

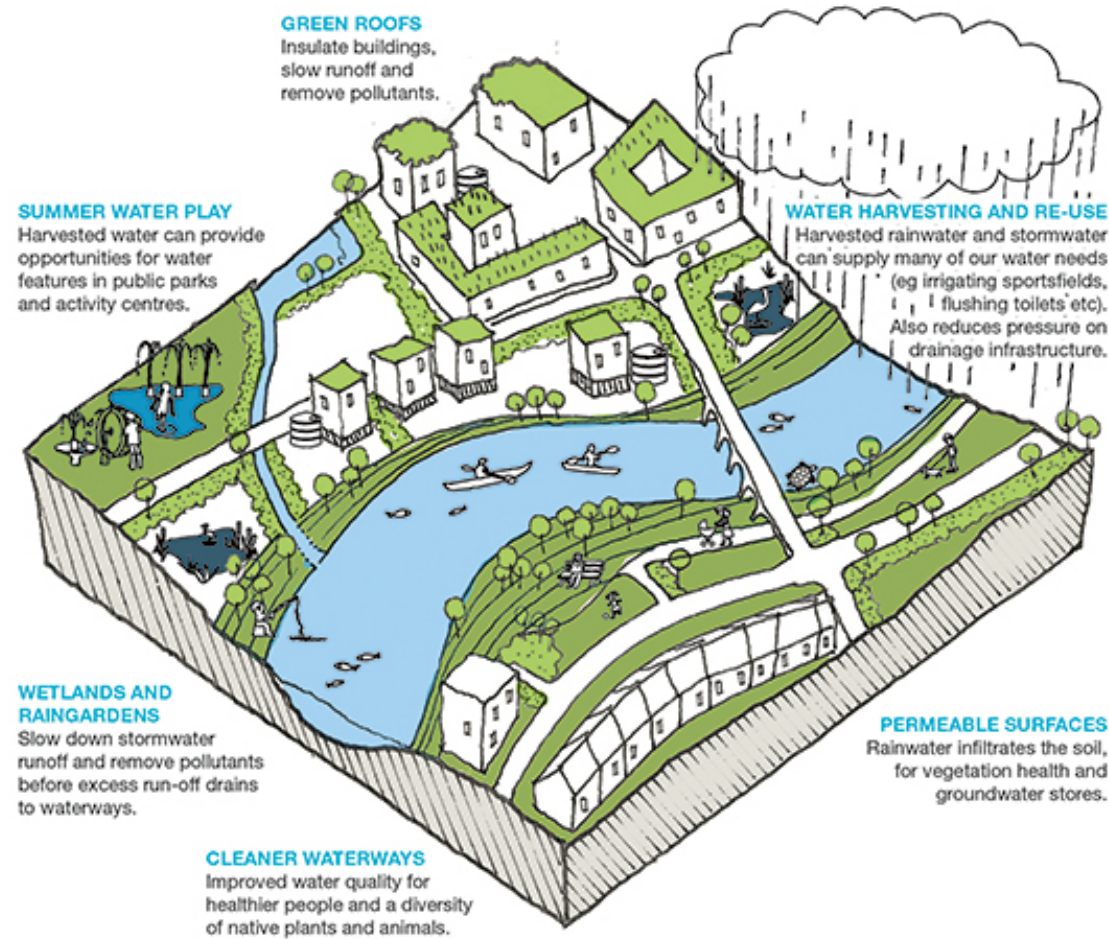
LID uses land planning and design practices and technologies to simultaneously **conserve and protect natural resource systems** and reduce infrastructure costs.

Συγκρίσεις...

- Έμφαση κυρίως σε επιφανειακή απορροή
 - Εννοιολογικά ευκολότερη η σύνδεση με βιωσιμότητα και ήπια ανάπτυξη
 - Ιστορικοί λόγοι (ερευνητές στους χώρους αυτούς άρχισαν να κοιτάνε παραέξω).
- Εμφανής τάση επέκτασης
 - Προς τον υπόλοιπο (αστικό) κύκλο του νερού
 - Προς τον τρόπο λήψης αποφάσεων
 - Προς κοινωνικές επιστήμες (αποδοχή, υιοθέτηση, σχέση με χρήστη)
- Οι συγκεκριμένοι ορισμοί εξαρτώνται περισσότερο από νομοθετικά πλαίσια παρά από διαφορές των εννοιών ή της βασικής έρευνας.
- Έμφαση στην «εμφάνιση» του κύκλου του νερού από εκεί που ήταν κρυμμένος (out of sight=out of mind)

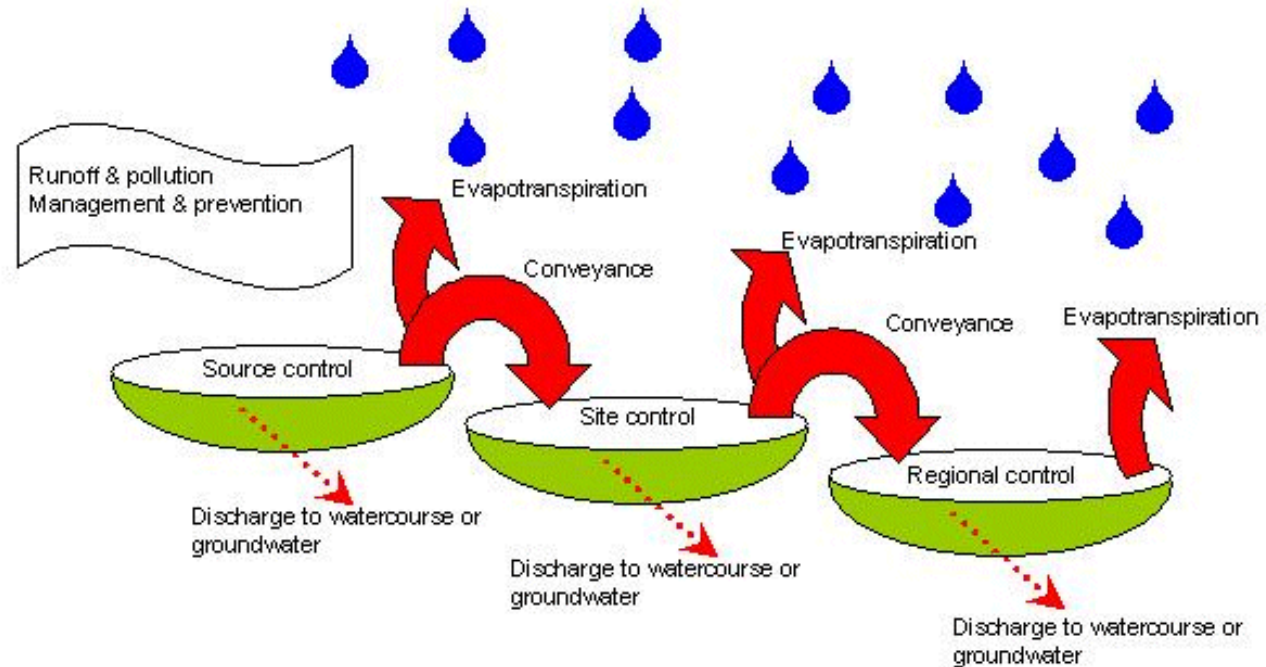
Η ουσία της ήπιας διαχείρισης

- **Κατανεμημένα** συστήματα (σε αντίθεση με «**κεντρικά**»): σε κλίμακα σπιτιού/γειτονιάς/πόλης
- **Τεχνικά** και μη **τεχνικά** μέτρα πχ:
 - κατασκευή τεχνητών βιοτόπων για βελτίωση της ποιότητας της απορροής
 - Σύσταση τεχνικής υπηρεσίας στους δήμους για συντήρηση πράσινων υποδομών...

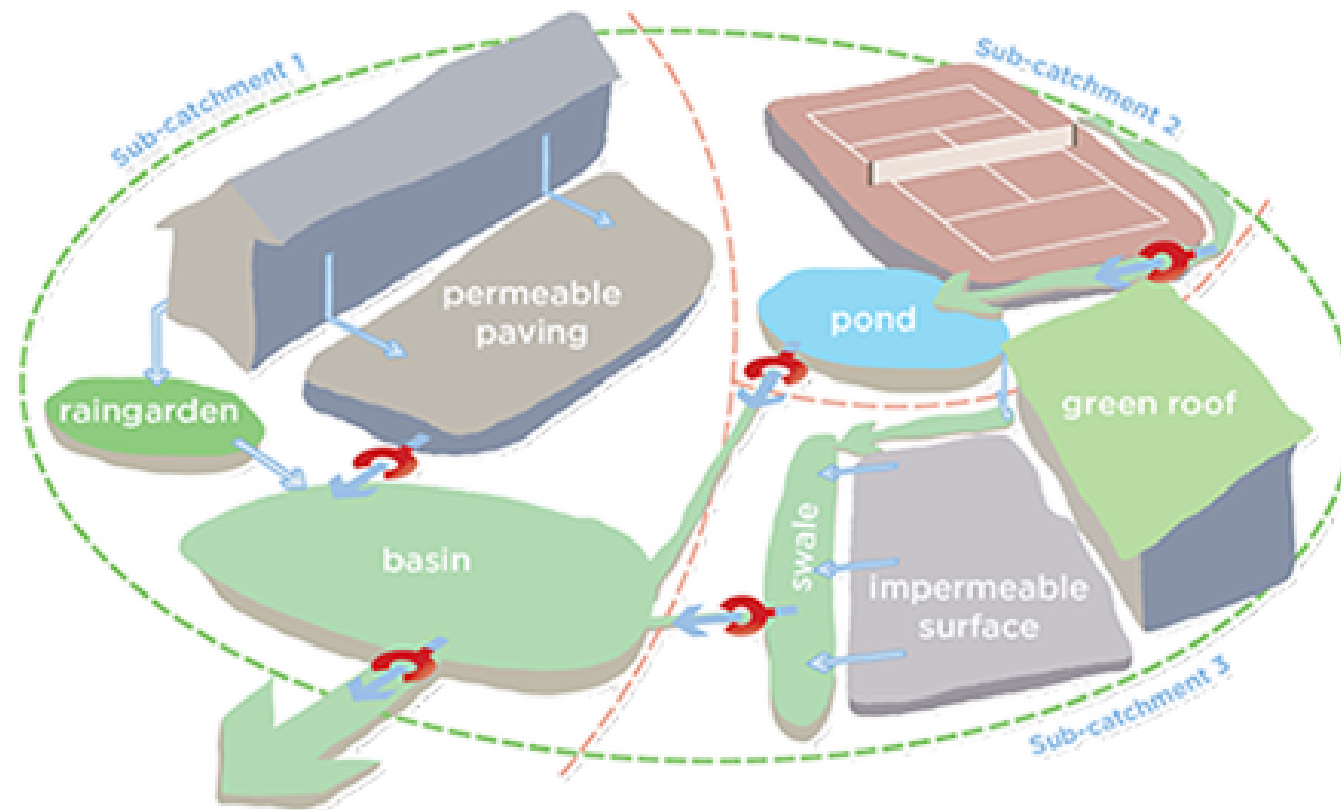


4 βασικές παρεμβάσεις σε σειρά

- **Δέσμευση** της απορροής στην πηγή
- **Περιορισμός** και μείωση παροχών αιχμής
- **Επεξεργασία** συλλεγόμενου νερού απορροής
- **Διήθηση** της απορροής και **επαναφόρτιση** του υπόγειου νερού



το «**τρένο**» της διαχείρισης ομβρίων



Δέσμευση της απορροής στην πηγή

Τοποθετούνται κοντά ή και πάνω στην αδιαπέρατη επιφάνεια. Μείωση του ρυθμού και του όγκου απορροής που δημιουργείται κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου βροχής



Περιορισμός και μείωση των παροχών αιχμής

Αποθηκεύουν προσωρινά το νερό και στη συνέχεια το διοχετεύουν μέσω κλειστού ή ανοικτού αγωγού σε ρέματα ή άλλους υδάτινους αποδέκτες.



Επεξεργασία Συλλεγόμενου Νερού

Ποικίλουν από Τεχνολογίες «Φυσικής» Διήθησης (τεχνητές λίμνες, λωρίδες γρασιδιού) μέχρι Τεχνολογίες Μηχανικής επίπλευσης (είσοδοι ποιότητας νερού)



Διήθηση και Επαναφόρτιση υπογείων

Κατείσδυση στο έδαφος των (επεξεργασμένων) όμβριων. Απομάκρυνση του λεπτόκοκκο, αιωρούμενου υλικού μέσω της διήθησης στο έδαφος (απορρόφηση των διαλυτών υλικών, βιοαποικοδόμηση)

**Πρακτικές
Δέσμευσης
απορροής**

BMP	Περιγραφή	Επιδιωκόμενα αποτελέσματα
Πορώδεις πεζοδρόμιο	Πορώδης άσφαλτος και μπετό. Χρησιμοποιείται σε χώρους στάθμευσης δημοσίων και εμπορικών κτιρίων και σε δρόμους ήπιας κυκλοφορίας.	Επιτρέπει στο βρόχινο νερό να διηθείται μέσω του πεζοδρομίου στο έδαφος και μειώνει την επιφανειακή απορροή.
Πράσινες στέγες	Στέγες κτιρίων που καλύπτονται από βλάστηση. Διαθέτουν αδιάβροχο στρώμα και στρώμα που αποτρέπει τη διείσδυση ριζών.	Στην άμεση οικονομική ωφέλεια συμπεριλαμβάνεται η μείωση σε μέγεθος και κόστος του εξοπλισμού HVAC και μακροπρόθεσμα μειώνει τις ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού λόγω της μονωτικής ιδιότητας της πράσινης στέγης.
Δεξαμενές συλλογής του βρόχινου νερού	Βαρέλια που συλλέγουν το νερό που απορρέει από τις οροφές	Το βρόχινο νερό συλλέγεται και χρησιμοποιείται στο πότισμα του κήπου. Επίσης με τη συλλογή του μειώνεται η επιφανειακή απορροή.
Στέρνες	Συλλογή του νερού που απορρέει από τις οροφές σε μεγάλες υπόγειες ή υπέργειες κατασκευές. Φτιάχνονται από fiberglass, μπετό, πλαστικό ή τούβλο.	Το βρόχινο νερό συλλέγεται και χρησιμοποιείται στο πότισμα του κήπου. Επίσης με τη συλλογή του μειώνεται η επιφανειακή απορροή.
Ξηρά πηγάδια	Αποθηκεύουν προσωρινά το βρόχινο νερό που απορρέει από τις οροφές. Αποτελούνται από μία κατασκευή τυλιγμένη με γεώφασμα.	Μειώνουν την επιφανειακή απορροή. Συμβάλουν στην βελτιστοποίηση της ποιότητας του διηθούμενου νερού και στον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα.

**Πρακτικές
Περιορισμού
&
Μείωσης**

BMPs	Περιγραφή	Επιδιωκόμενα αποτελέσματα
Λίμνες Περιορισμού	Ξηρές λίμνες που αποθηκεύουν τα όμβρια προσωρινά και κατόπιν τα παροχετεύουν μέσω αγωγών σε ποτάμια και άλλα υδάτινα συστήματα	Έλεγχος της απορροής αδιαπέρατων περιοχών, αφαίρεση ρυπαντών μέσω καθίζησης, απρρόφησης θρεπτικών κ.α.
Εκτεταμένες Λίμνες Περιορισμού	Συνδυαστικά συστήματα που επιτρέπουν μεγαλύτερης διάρκειας αποθήκευση	Καλύτερη αφαίρεση ρυπαντών, επεξεργασία των ομβρίων, μείωση των παροχών αιχμής για μικρά επεισόδια
Λίμνες Συγκράτησης	Μόνιμες λίμνες που επιτρέπουν την καθίζηση αυξάνοντας το χρόνο παραμονής, και παρέχουν συνθήκες ένυδρης βλάστησης	Απόδοση αφαίρεσης ρυπαντών ~ βάθους, χρόνου παραμονής, βλάστησης. Καλή αισθητική, δυνατότητα χρήσης για ψυχαγωγία

Πρακτικές Επεξεργασίας

BMPs	Περιγραφή	Προσδοκώμενα αποτελέσματα
Τεχνητοί Υδροβιότοποι	Βαθιές λίμνες ανάντη και έλη κατάντη, παρόμοια με φυσικά, απομάκρυνση μολυντών με αερόβια και αναερόβια χλωρίδα	Απομάκρυνση μολυντών με εναπόθεση, λήψη από τα φυτά, αποικοδόμηση κ.α.
Διήθηση	Πορώδη μέσα ή συνδυασμοί αυτών (άμμος, χαλίκια, κ.λ.π.) για την απομάκρυνση των μολυντών. Απόδοση ~ σχήματος+μεγέθους υλικού, πορώδους	Απομάκρυνση μετάλλων και θρεπτικών μέσω απορρόφησης, χημικών μεταβολών και βιολογικής δραστηριότητας
Λεκάνες Διήθησης	Μόνιμη κατασκευή στρωμένη με φερτές ύλες που διαπερνώνται από το νερό	Απομάκρυνση στερεών, μετάλλων και θρεπτικών
Υπόγεια Φίλτρα	Υπόγειες κατασκευές προσιτές με τρύπες ή ανοίγματα από την επιφάνεια	Επεξεργασία διηθούμενου νερό με καθίζηση, κατόπιν συλλέγεται και απομακρύνεται σε παρακείμενους στραγγιστικούς αγωγούς (τεχνητούς ή φυσικούς)
Φίλτρα Άμμου	Αμμώδες πορώδες μέσο	Απομακρύνουν αδιάλυτες ουσίες από αστική απορροή.
Επιφάνειες Γρασιδιού	Εμφύτευση γρασιδιού στην επιφάνεια του εδάφους	Απομακρύνουν φερτές ύλες και αυξάνουν τη διήθηση. Συνήθως σε γειτνίαση με οδικό δίκτυο.
Φυτοκαλυμμένες Λωρίδες	Ήπιας κλίσης φυτοκαλυμμένες περιοχές	Απομακρύνουν χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα φερτά υλικά και αυξάνουν τη διήθηση
Είσοδοι Επίπλευσης	Μηχανισμοί Διαχωρισμού	Τα σωματίδια με μικρή πυκνότητα συγκεντρώνονται και απομακρύνονται
Συλλέκτες λιπών/ελαίων	Κατασκευές που απομακρύνουν τα έλαια και τις φερτές ύλες	Αξιοποιείται η βαρύτητα ώστε ελειώδεις ουσίες και αιωρούμενα στερεά να διαχωρίζονται και να απομακρύνονται

**Πρακτικές
Διήθησης**

BMPs	Περιγραφή	Επιδιωκόμενα αποτελέσματα
Λεκάνες Διήθησης	Ρηχές κοιλότητες που συλλέγουν το νερό και διευκολύνουν τη διήθηση του νερού. Φυσικές, Χημικές και Βιολογικές Διαδικασίες για την απομάκρυνση των μολυντών	Απομάκρυνση αιωρούμενων, διαλυμένων και οργανικών υλικών μέσω φιλταρίσματος από το έδαφος. Αποτρέπει την απορροή στον ποταμό και το καθαρισμένο νερό καταλήγει στον υδροφόρο.
Τάφροι Διήθησης	Σκαμμένη έκταση γεμισμένη με πέτρες	Αποθηκεύει το νερό και του επιτρέπει αργή διήθηση σε αρκετές ημέρες. Ιδανικό για μικρές αστικές περιοχές
Περιοχές Βιοσυγκρά- τησης	Εδαφικές στρώσεις με βιολογικό υλικό σε ρηχές κοιλότητες	Η μικρή επιφάνεια που καταλαμβάνουν επιτρέπει την τοποθέτησή τους σε αστικές περιοχές που έχουν περιορισμένο διαθέσιμο χώρο

Τεχνολογία LID	Μείωση όγκου απορροής	Μείωση παροχής αιχμής	Ποιότητα νερού	Επι-τόπου Επανάχρηση/ διατήρηση νερού	Μείωση Θερμοκρασίας απορροής	Μείωση Φαινομένου Θερμικής νησίδας	Βελτιωμένος Κύκλος ζωής	Εξοικονόμηση ενέργειας	Αισθητική	Μειωμένη συντήρηση	Βιωσιμότητα φυτών	Φυσική πανίδα	Μείωση ρύπανσης
Βιοσυγκράτηση	X	X	X		X				X	X			
Υδροδεξαμενή	X			X									
Εξάλειψη ρείθρων και υδρορροών	X		X		X				X				
Πράσινη οροφή	X		X	X	X	X	X	X		X			
Συσκευές ελέγχου εισροής	X	X											
Ενδημικά φυτά			X	X	X					X		X	
Διαπερατό πεζοδρόμιο	X		X		X								
Πρόληψη μόλυνσης			X						X				X
Δεξαμενή αποθήκευσης ομβρίων	X			X									
Κήπος βροχής	X	X	X		X				X	X			
Συλλέκτες νερού οροφής	X			X							X		
Τροποποίηση εδάφους	X		X								X	X	
Μονάδα συγκράτησης στο υπέδαφος	X	X		X									
Φίλτρα tree box	X		X		X	X			X				
Τάφος με βλάστηση	X	X	X						X	X			

Μερικά παραδείγματα...

Αρχικά, ας μειώσουμε το νερό που
απορρέει από τις οροφές ...



Πράσινες Οροφές (Green Roofs)

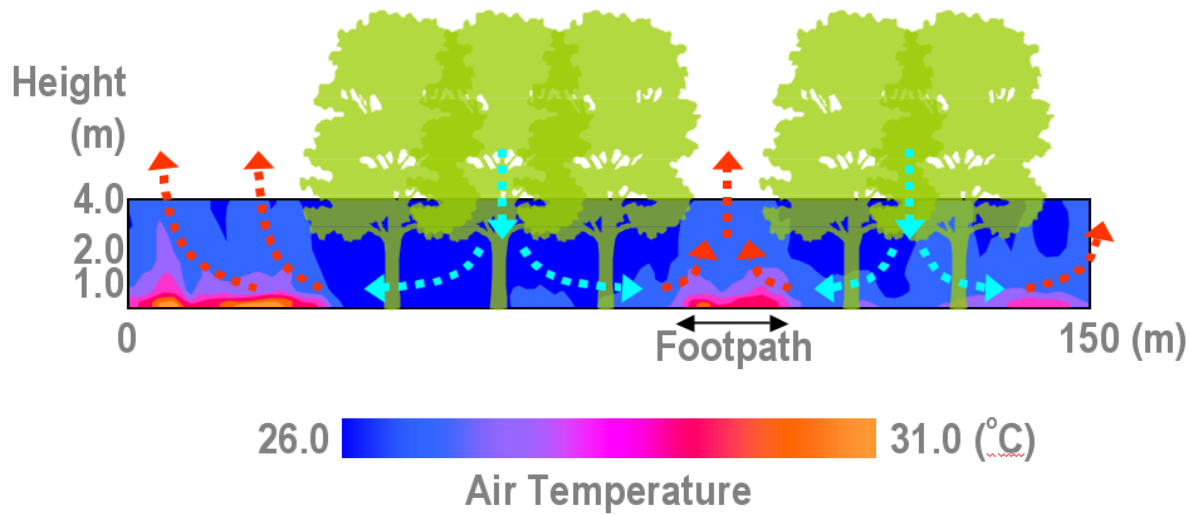
Επίσης εφαρμόσιμα σε πυκνό
αστικό περιβάλλον και με
πρόσθετες ευεργετικές επιπτώσεις
(heat island effect)

Stuttgart, Germany,
Σε εφαρμογή πολεοδομικής νομοθεσίας που
επιβάλλει κάθε νέα επίπεδη στέγη που
κατασκευάζεται να είναι πράσινη.

Πράσινη οροφή στο κτήριο
του ENPC, Παρίσι.



Τι είναι το heat island effect;

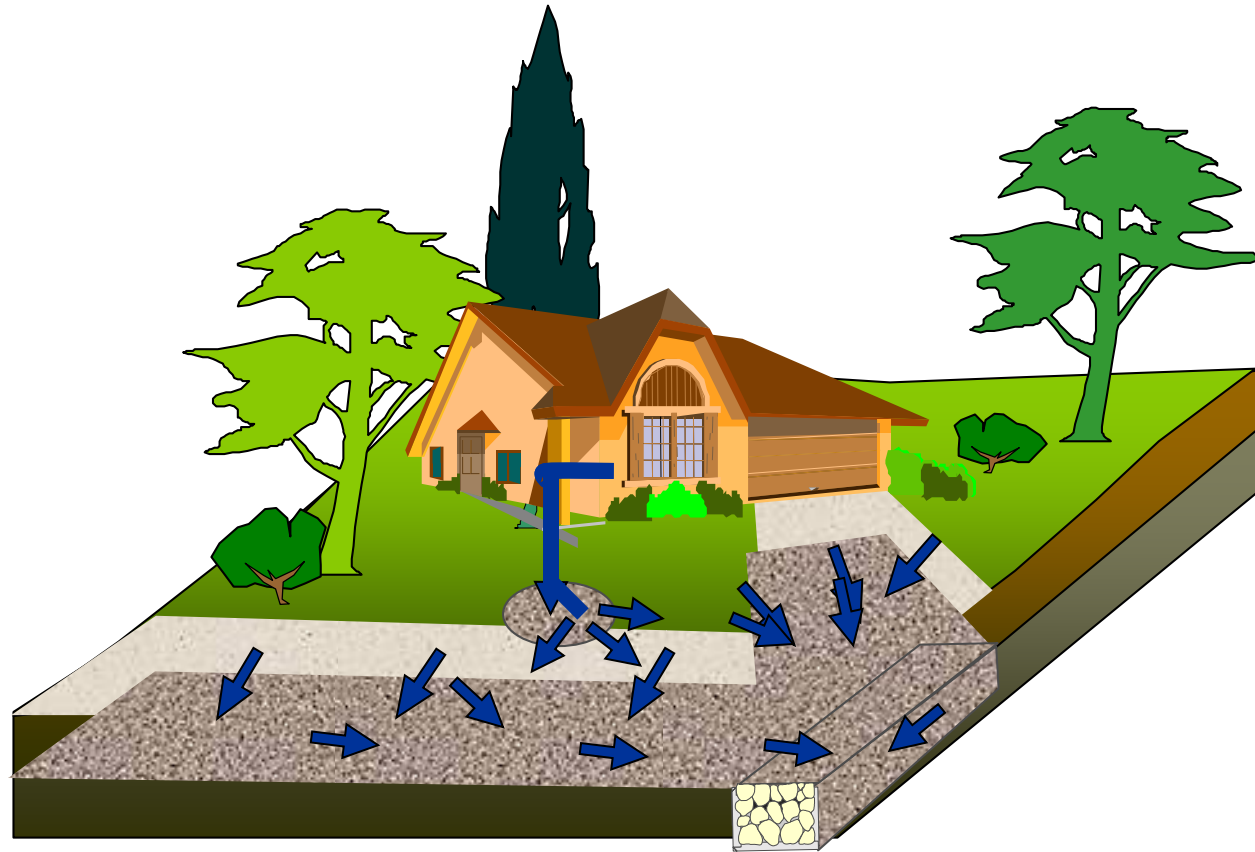


Η **πράσινη οροφή** στο Δημαρχείο στο Σικάγο Οι θερμοκρασίες πάνω από την πράσινη οροφή κυμαίνονται 10°-15°F χαμηλότερα από τις αντίστοιχες σε γειτονική οροφή όπου έχει γίνει απάλειψη με πίσσα. Κατά τη διάρκεια του Αυγούστου η διαφορά μπορεί να φτάσει και τους 50°F

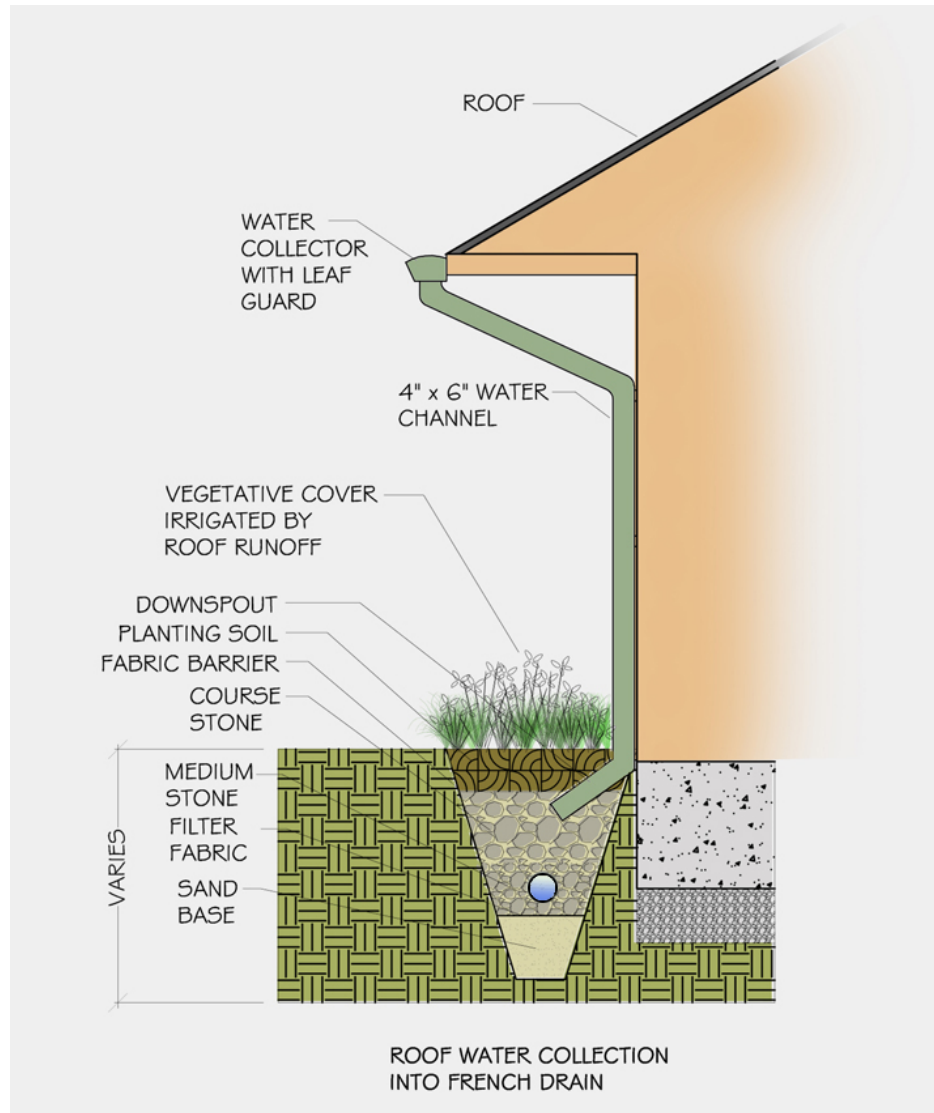
Οτι απορρέει τελικά δεν χρειάζεται να
πάει όλο στο δίκτυο....

Συστήματα διήθησης

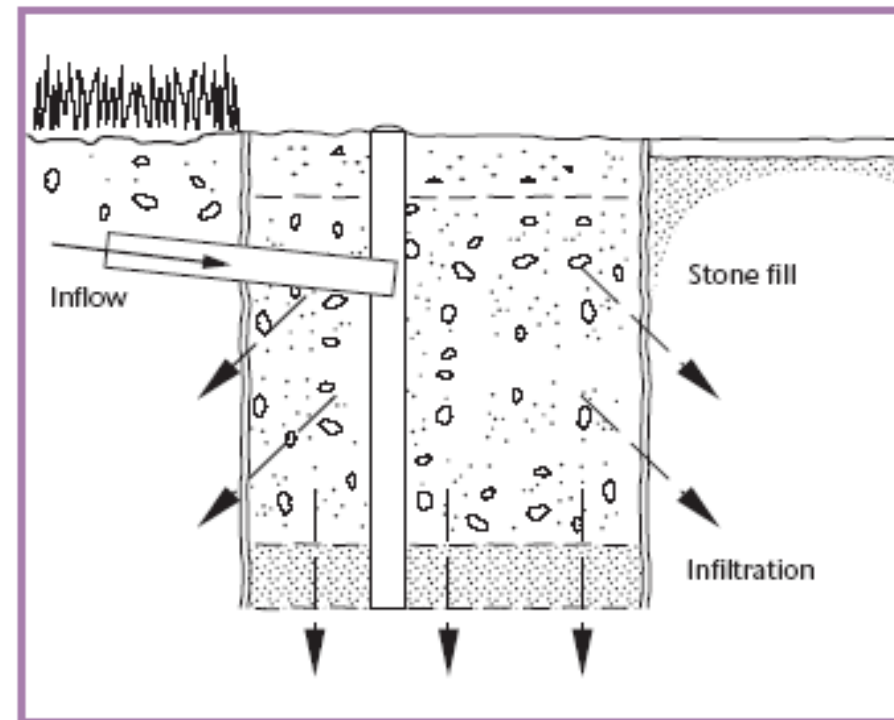
- **Αποσύνδεση υδρορροών**
 - Απορροή σε κήπους
 - Διήθηση σε λεκάνες διήθησης
- **Περατά Πεζοδρόμια**
- **Τάφροι διήθησης (και με αγωγό – French drains)**



Λεκάνες και τάφροι διήθησης (Infiltration ponds/trenches)



- Αποσύνδεση υδρορροών
- Γεμίζουμε με αδρανή υλικά με κόκκο 2.5-7.5 cm
- $e = 30-40\%$ (λόγος κενών/στερεών)
- Προστατευτικό πανί φιλτραρίσματος των λεπτόκοκκων υλικών και 15 cm αμμο στο πυθμένα (και προσοχή – **πρέπει να γίνουν αυτά!**)

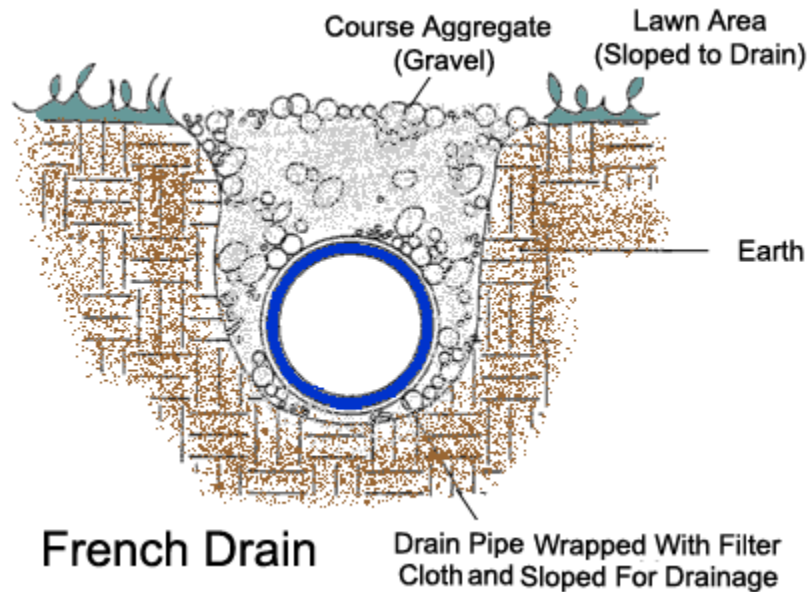


Περατά Πεζοδρόμια (Permeable Pavements)



Σημαντικό στοιχείο υπέρ των ΠΠ: μπορούν να εγκατασταθούν σε αστικές περιοχές **πυκνής δόμησης**

Αν η τάφρος διήθησης έχει και αγωγό (French drain)



Μέρος του νερού διηθείται και το υπόλοιπο μεταφέρεται μέσω ενός **αγωγού με οπές και κατάλληλη κλίση** στο κάτω μέρος της τάφρου (πχ σε περιπτώσεις που η διήθηση **δεν αρκεί**)



Και αυτό που πάει στο δίκτυο δε
χρειάζεται να κινηθεί τόσο γρήγορα...

Ταφροί απορροής (grass swales)



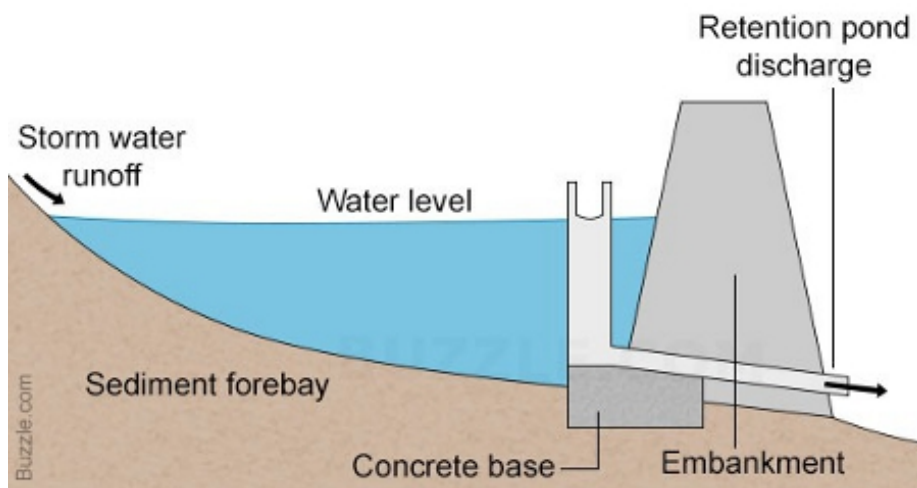
Swale on A8000 near Edinburgh. No kerbs or gullies are required.



Τεχνητές λεκάνες και
λίμνες συγκράτησης
ομβρίων

(detention/retention
ponds)

Βασικός στόχος η **καθυστέρηση** και άρα η
μείωση της παροχής αιχμής



Και τέλος μια και μετακινούμε νερό θα πρέπει να φροντίσουμε και για την ποιότητα του πριν πέσει σε υδάτινο αποδέκτη...

Βιοφίλτρα και τεχνητοί υγρότοποι



Blacken Ridge
Bioretention Basin (BCC)



Baltusrol Estate
(Australand)



Victoria Park
(Landcom)



Cremorne Street
(City of Yarra)



Melbourne Docklands
(Lend Lease)



Baltusrol Estate
(Australand)



Bourke Street Tree
Planters
(Lend Lease)

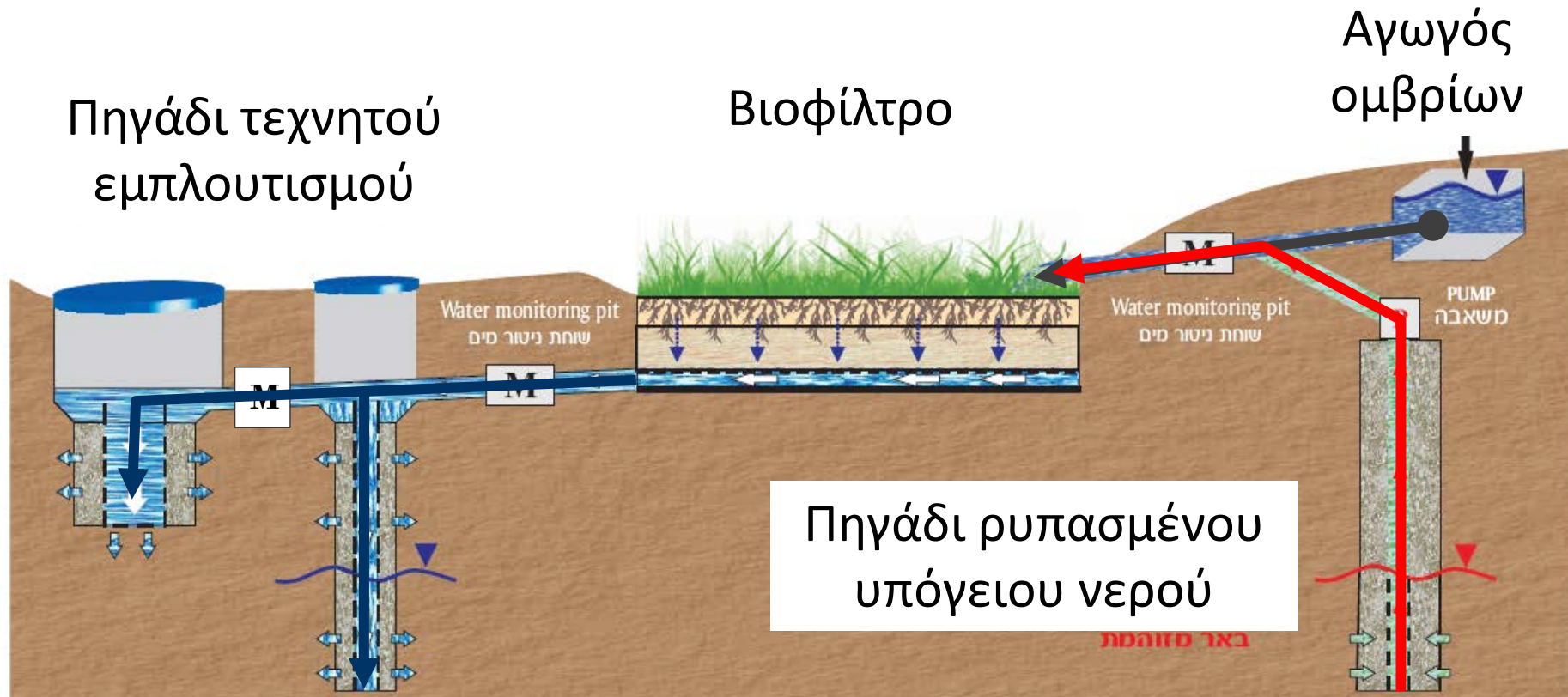


Bioretention in Perth

Βιοφίλτρο στη Σιγκαπούρη



Και αν είναι αρκετά καθαρό μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για τεχνητό εμπλουτισμό



Ισραήλ, σχεδιασμός ομάδας Monash



Και αν έχουμε πράσινες εκτάσεις με καλή ποιότητα υπόγειου και πότισμα τότε ίσως μπορούμε να καλλιεργήσουμε κι όλας...
Αστική Γεωργία!!



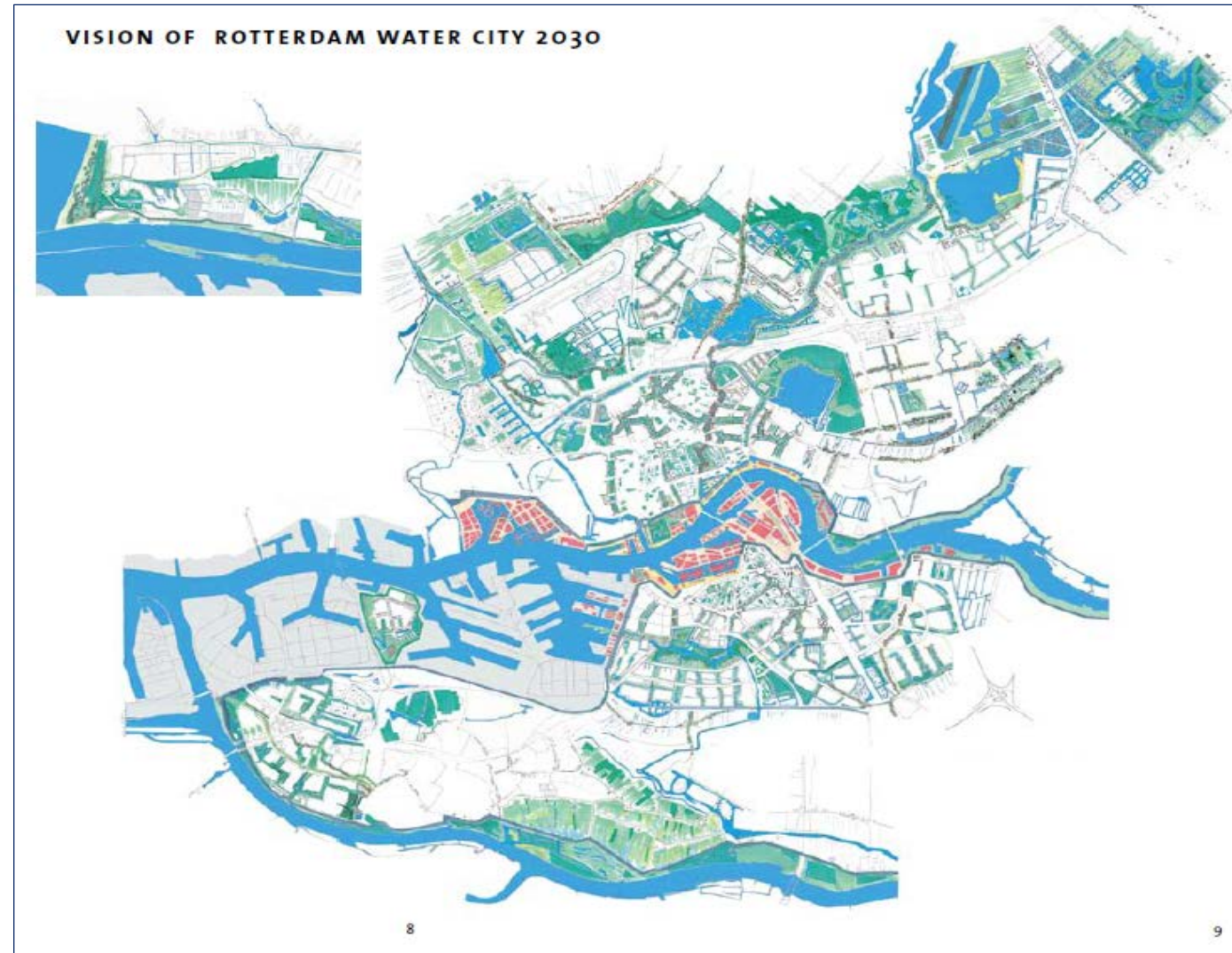
Και βέβαια υπάρχουν και άλλες «υπηρεσίες» που προσφέρουν οι «υποδομές» αυτές: υπηρεσίες οικοσυστημάτων (ecosystem services)



Tanner Springs Park at Pearl District in Portland, US

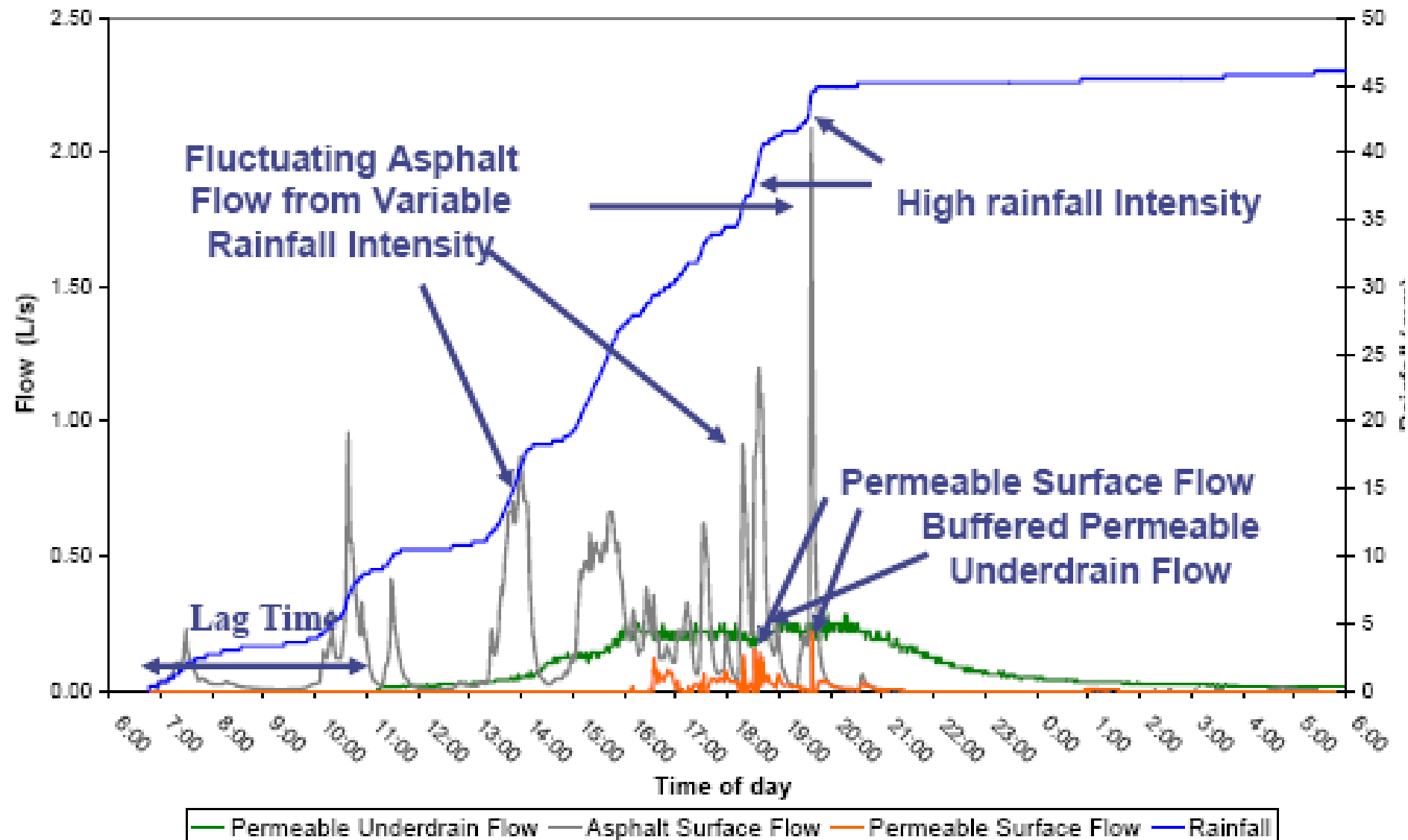
Και βέβαια όλα αυτά είναι πάντα καλύτερο να
σχεδιάζονται σε επίπεδο πόλης

Rotterdam
(Waterplan
towards the
Rotterdam
Watercity 2030
vision)



Δουλεύει;

Storm Hydrograph (9/9/2006)



Δεν υπάρχουν όμως **περιορισμοί** στην ήπια διαχείριση;

1. Οι **επιφανειακές διατάξεις** (πχ. λίμνες συγκράτησης, βιοφίλτρα, τεχνητοί υγρότοποι) θέλουν περισσότερο χώρο και άρα δεν είναι κατάλληλα για πυκνό αστικό περιβάλλον
2. Τα **συστήματα διήθησης** μπορεί να μην είναι κατάλληλα σε περιοχές που:
 - Το έδαφος έχει μικρή **διηθητική ικανότητα** (πχ άργιλος και οτιδήποτε με $< 0.5 \text{ cm/hr}$) ή έχει μεγάλη **κλίση** (πχ $> 5\%$)
 - Ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ ψηλά
 - Υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα (πχ υπάρχει κοντά υδροληψία πχ. όχι $< 30 \text{ m}$)
 - Η διήθηση μπορεί να επηρεάσει θεμελιώσεις (πχ σε περιοχές μπαζομένες)
 - Η διήθηση μπορεί να επηρεάσει υπόγεια ($> 3\text{m}$ πάνω από την υδραυλική γραμμή τουλάχιστον)
3. Πρέπει να υπάρχουν ξεκάθαρες **ιδιοκτησιακές** ρυθμίσεις και **αρμοδιότητες** και διαδικασίες **συντήρησης**
 - Οι αγωγοί είναι τεχνικό έργο – μπορεί να ανήκει στη ΔΕΥΑ/ΕΥΔΑΠ κτλ.
 - Η συντήρηση των ήπιων συστημάτων είναι περισσότερο αντικείμενο κηπουρών
4. Πρέπει να υπάρχει παρακολούθηση (πραγματικά)

Ποιότητα;

PRELIMINARY water quality monitoring results for 7 storms with full sample sets

Pollutant	Average EMC			Mass Removal (± 95% CI) (%)
	Literature (range) (mg/L)	Asphalt (± 95% CI) (mg/L)	Permeable System (± 95% CI) (mg/L)	
Copper	0.017 (0.002 - 0.042)	0.0161 ±0.0026	0.0068 ±0.0018	57% ±9%
Zinc	0.317 (0.042 - 0.962)	0.2981 ±0.0924	0.0439 ±0.0361	83% ±16%
TSS	107 (10 - 470)	101 ±41	42 ±10	58% ±15%

Δεν είναι όλα βέβαια τόσο «πράσινα»



- Οι κατασκευαστές δεν τα ξέρουν και άρα δεν υπάρχει σοβαρή τεχνογνωσία.
- Τα παραδοσιακά μέτρα δουλεύουν σχετικά καλά και ξερουμε να τα φτιάχνουμε.
- Δεν τελειώνουν όλα με την κατασκευή – η **συντήρηση** μπορεί να είναι πιο σημαντική.
- Μπορεί (στην Ελλάδα) να υπάρχει προϋπολογισμός για κατασκευή αλλά όχι δομές και προϋπολογισμός για συντήρηση (**iphone!**)

Το στοίχημα: Μπορεί η φύση να είναι
σύμμαχος και όχι αντίπαλος του (υδραυλικού)
μηχανικού...



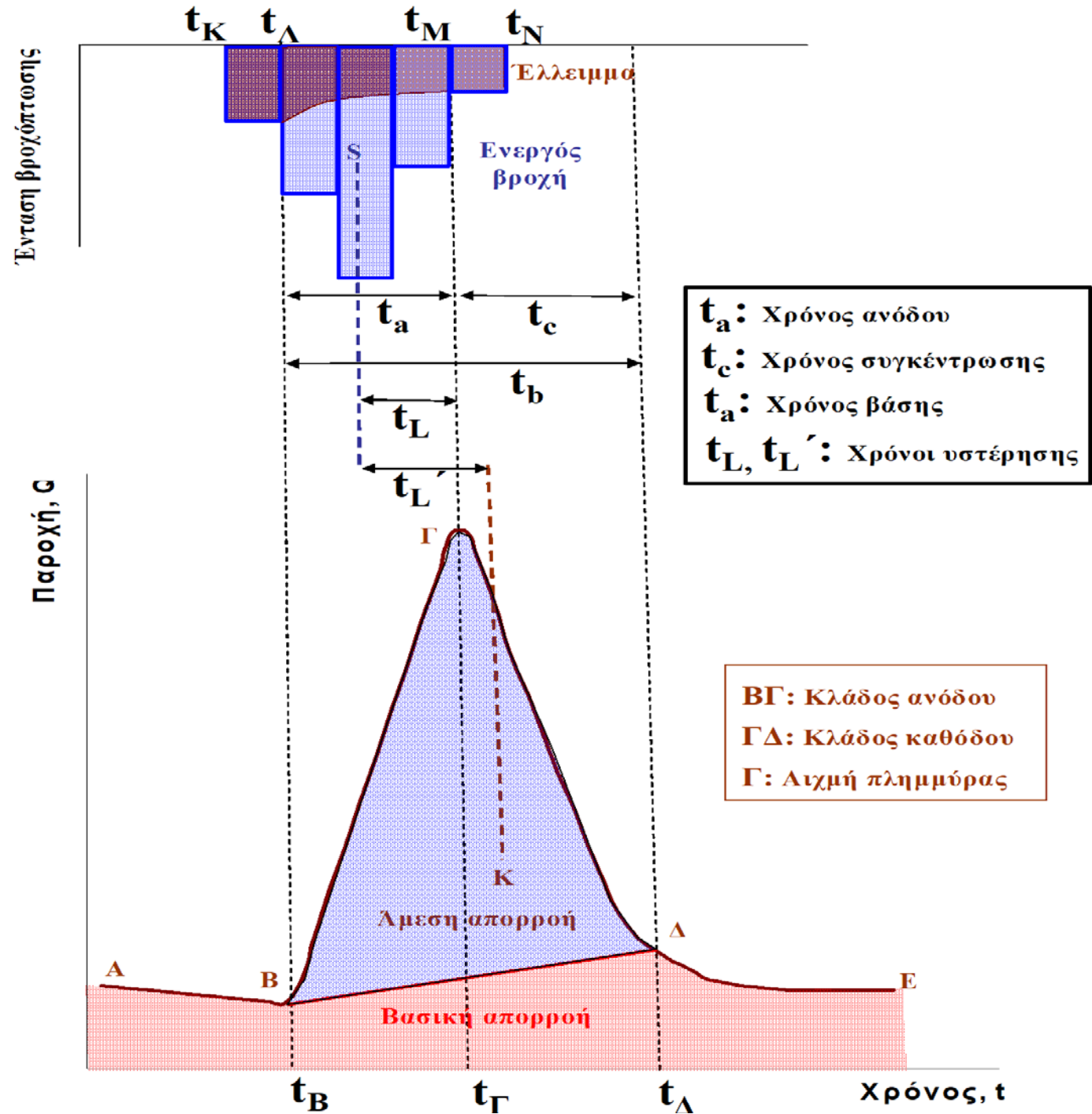
Τεχνική Βιβλιογραφία

- WSUD Engineering Procedures: Stormwater (2007). CSIRO Publishing
- The SUDS Manual (2007) *CIRIA Publishing*
- <http://www.uksuds.com/>
- <http://www.ciria.org.uk/suds/>

Ασκηση

- Ας δούμε αν μπορούμε να σχεδιάσουμε μια **διάταξη διήθησης** (πχ μια τάφρο ή μια λεκάνη διήθησης ή ακόμα και ένα πορώδες πεζοδρόμιο).
- Όλες οι διατάξεις διήθησης έχουν την ίδια λογική (και άρα ακολουθούν τους ίδιους κανόνες σχεδιασμού)
 1. Η διάταξη καλείτε να παραλάβει μια ποσότητα νερού η οποία προκύπτει όταν βρέχει και μια επιφάνεια που κανονικά θα ήταν συνδεδεμένη σε δίκτυο (πχ μια οροφή ή ένα πάρκινγκ ή ένας δρόμος) απορρέει στη διάταξη.
 2. Το βασικό ερώτημα είναι πόσο μεγάλη πρέπει να είναι η διάταξη (δηλ. υπολογίστε τα x , y , z της τάφρου). Είναι σαν να σχεδιάζεται ταμιευτήρα (αργότερα) αλλά με συγκεκριμένη έξοδο (ποιά;).
 3. Κατ αρχήν θέλουμε ένα ισοζύγιο: **Όγκος Σχεδιασμού = όγκος απορροής – διήθηση κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης**
 4. Γιατί κατά τη διάρκεια; Ποιάς βροχόπτωσης;

Το θυμάστε αυτό;



- Πρώτος όρος: ποιός είναι ο **όγκος απορροής**;
 - $Q = C \cdot i \cdot A$ όπου c ο συντελεστής απορροής. Εδώ υποθέτουμε ότι η επιφάνεια που απορρέει είναι αδιαπέρατη (άρα $C=1$)
 - $V = Q \cdot t$. Ποιό t παίρνουμε;
- Άρα, αν η βροχή σχεδιασμού έχει διάρκεια D , ο όγκος της διάταξης μας S δίνεται από:

$$S = iA_I D - fa_{50} D$$

i = ένταση βροχής

A_I = αδιαπέρατη επιφάνεια

f = ρυθμός διήθησης

a_{50} = ενεργός επιφάνεια διήθησης

- Υποθέτουμε (υπέρ της ασφαλείας) ότι η διήθηση από τη διάταξη προς το έδαφος γίνεται **μόνο από τις πλευρικές επιφάνειες (και όχι από τον πυθμένα)**,
- Υποθέτουμε επίσης ότι (υπέρ της ασφαλείας) ότι το μέσο ύψος νερού στη διάταξη είναι ίσο με το **μισό του ενεργού ύψους της διάταξης** (οτι είναι δηλ. μισο-γεμάτη)
- Τότε η ενεργός επιφάνεια διήθησης (a_{50}) είναι:

$$a_{50} = y(B_d + L)$$

όπου:

B_d = πλάτος, y = ενεργό ύψος (δηλ το ύψος κάτω από τον εισερχόμενο αγωγό) και L = μήκος

- Ο ενεργός όγκος (δηλ ο όγκος των κενών) S της διάταξης είναι:

$$s = yB_d L \frac{e}{(1 + e)}$$

e = λόγος κενών του υλικού της τάφρου

= όγκος κενών / όγκο στερεών

- Συνήθως προσθέτουμε και μια ακόμα παράμετρο ελέγχου: θέλουμε ο ρυθμός διήθησης να είναι τέτοιος που, μετά από μια βροχόπτωση, να αδειάζει ο μισός όγκος νερού της διάταξης μέσα σε 24 ώρες.

- Και πόσος είναι ο ρυθμός διήθησης;
- Horton!

$$f_t = f_c + (f_o - f_c)e^{-k_2 t}$$

f_t = ρυθμός διήθησης στο χρόνο t (mm/h)

f_c = τελικός ρυθμός (σταθερή κατάσταση) (mm/h)

f_o = αρχικός ρυθμός (mm/h)

k_2 = συντελεστής (h^{-1})

Τύπος επιφάνειας	f_o [mm/h]	f_c [mm/h]	k_2 [per h]
Αδρομερές έδαφος	250	25	2
Μέτριοι κόκκοι	200	12	2
Λεπτόκοκκα	125	6	2
Άργιλος και ασφαλτος	75	3	2

Παράδειγμα

- Κατασκευάστε μια τάφρο διήθησης για ένα σπίτι με αδιαπέρατη επιφάνεια 100 m^2
- Υποθέστε ότι ο λόγος κενών στο υλικό πλήρωσης της τάφρου (e) είναι **0.40** και ότι ο ρυθμός διήθησης έχει υπολογιστεί από επιτόπια μέτρηση στα **10.0 mm/h**.

Διάρκεια (min, h)	5	10	15	30	1h	2	4	6	10	24
Ένταση (mm/h)	112.8	80.4	62.0	38.2	24.8	14.9	8.6	6.1	4.0	2.0

Τί είναι αυτός ο πίνακας;

Λύση:

Για να υπολογίσουμε τις διαστάσεις της τάφρου υποθέτουμε (λογικά) πλάτη και βάθη και κρατάμε το μήκος ως παράμετρο σχεδιασμού:

$$\text{Πλάτος } (B_d) = 1 \text{ m}$$

$$\text{Βάθος } (y) = 1 \text{ m}$$

Ζητώ κατάλληλο L . Έχουμε:

$$L = \frac{D(iA - fyB_d)}{y \left(\frac{B_d e}{(1 + e)} + fD \right)}$$

Όπου $f = 10.0 \text{ mm/h}$

Προφανώς έχω **άλλο** L για κάθε D και i

Για $D = 1$ h: $i = 24.8$ mm/h, $e = 0.40$

$$L = \frac{1(24.8 \times 10^{-3} \times 100 - 10 \times 10^{-3} \times 1 \times 1)}{1 \left(\frac{1 \times 0.4}{(1 + 0.4)} + 10 \times 10^{-3} \times 1 \right)} = 8.35m$$

Επαναλαμβάνω για διάφορα D και i από τον πίνακα της βροχόπτωσης

Διάρκεια, D (h)	Ένταση, i (mm/h)	Μήκος, L (m)
0.083	112.8	3.28
0.167	80.4	4.66
0.25	62	5.37
0.5	38.2	6.55
1	24.8	8.35
2	14.9	9.68
4	8.6	10.44
6	6.1	10.41
10	4	10.11
24	2	8.67

- Ποιό διαλέγω;
- Τι θα έκανα αν ήθελα να σχεδιάσω αλλά με **ελάχιστο κόστος**;
(Θυμίζω οτι έχω 3 κόστη: μηχανηματα, αδρανή και μεμβράνες
φιλτραρίσματος)