



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

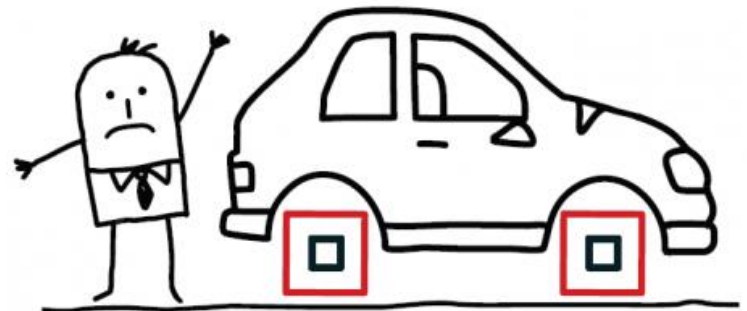
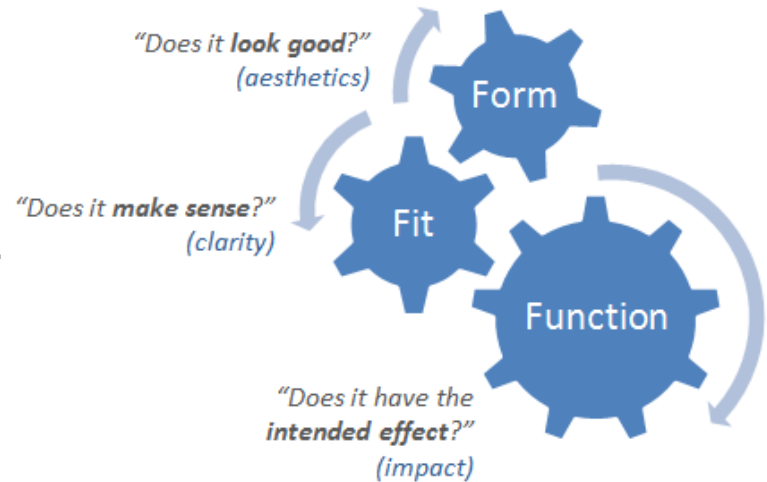
# Αστικά Υδραυλικά Έργα:

## Ηπια συστήματα διαχείρισης ομβρίων

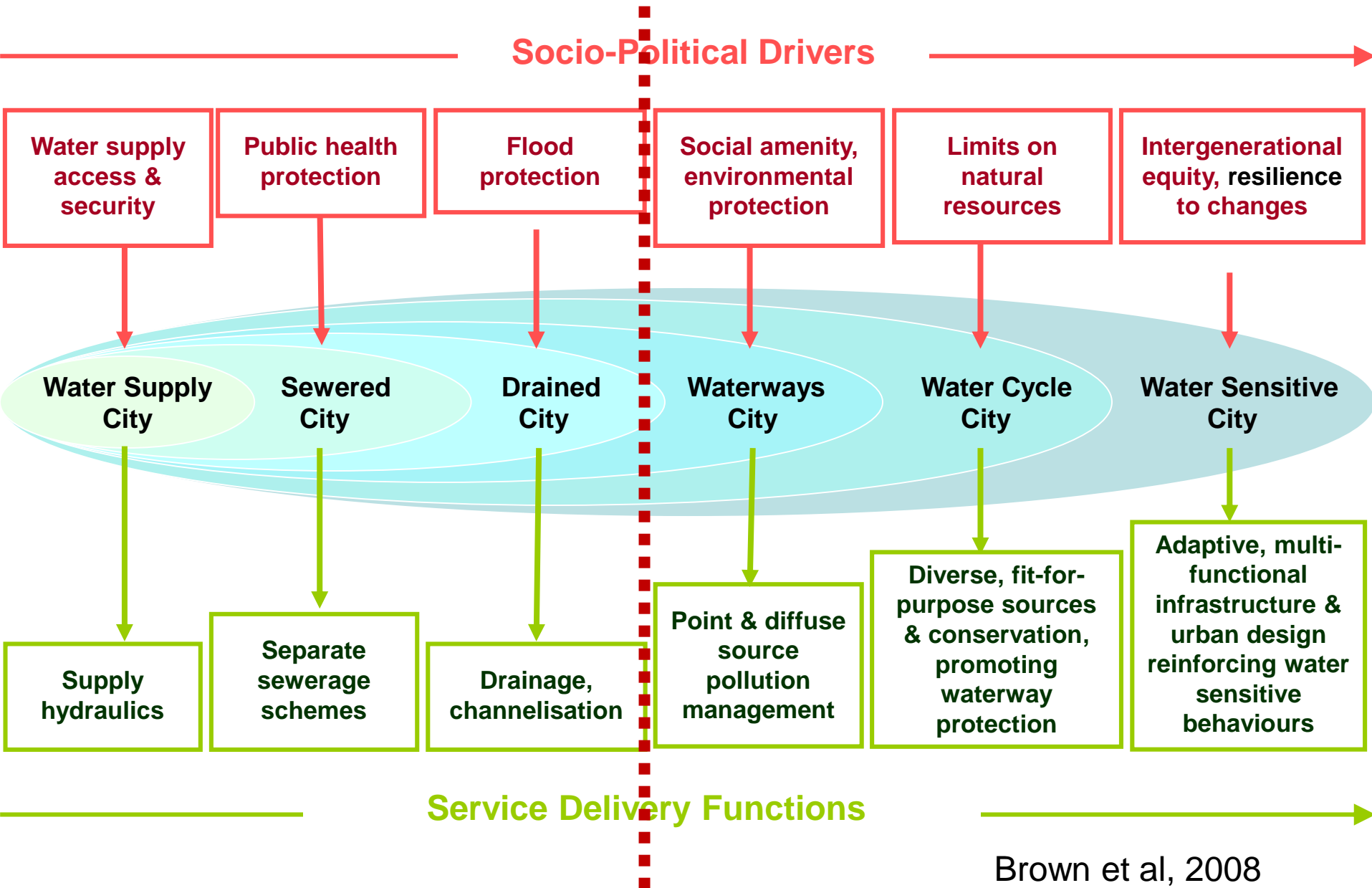
Χρήστος Μακρόπουλος  
[cmakro@mail.ntua.gr](mailto:cmakro@mail.ntua.gr)

# Νερό και πόλη

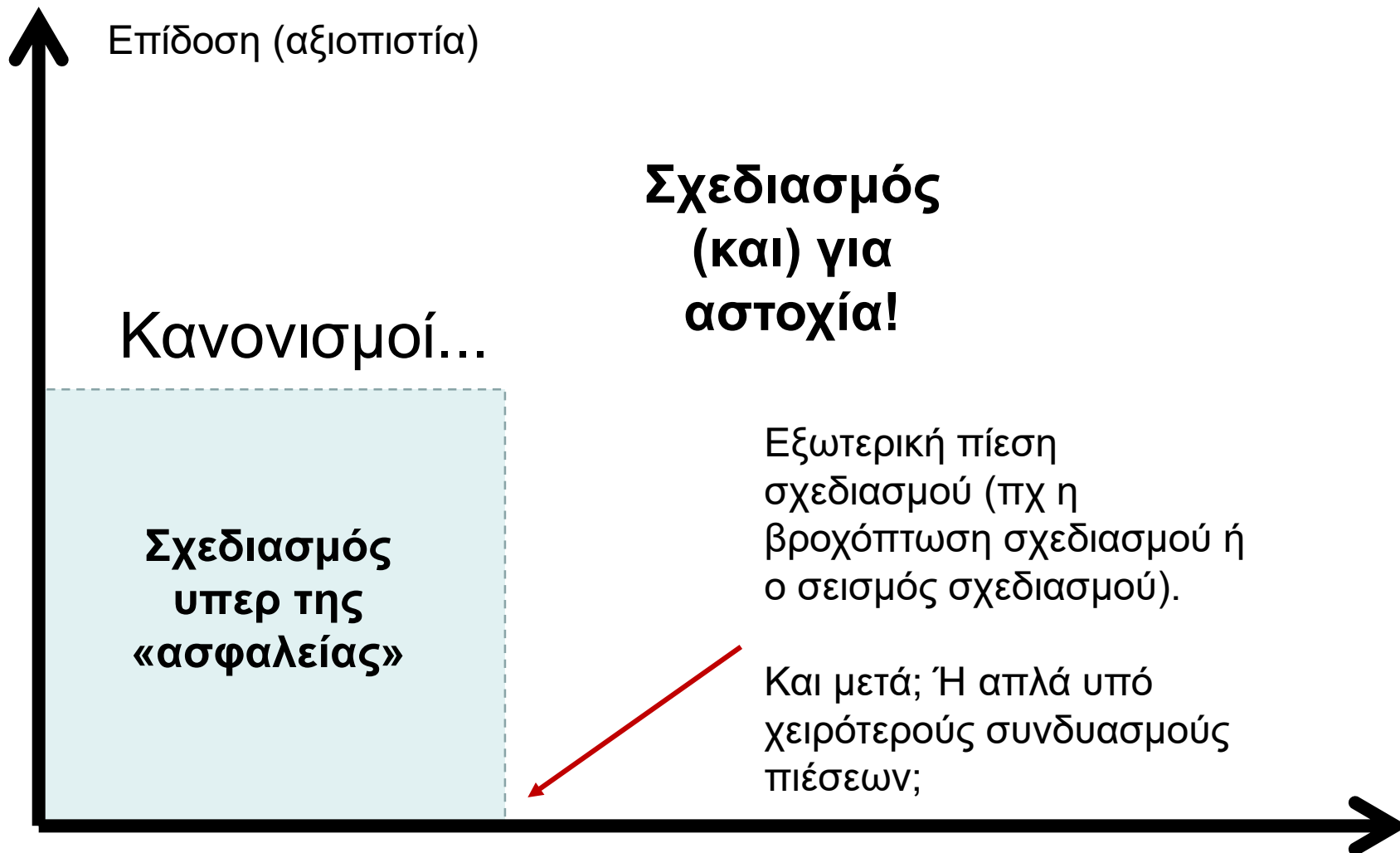
- Ο τρόπος με τον οποίο **επιλέγουμε** να διαχειριζόμαστε τις ροές νερού (ύδρευση, αποχέτευση και απορροή ομβρίων) σε μια πόλη, επηρεάζει άμεσα τη **μορφή** και τη **λειτουργία** της.
- Σε αντίθεση με αυτό που λέμε στη ΣΠΜ η λειτουργία δεν συνεπάγεται **μια (μόνο) μορφή**
- Η μορφή των υποδομών νερού (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 ασφάλειας;



# Τι κάνει ένα συστημα πιο «ανθεκτικό»; δεν βάζουμε όλα τα αυγά στο ίδιο καλάθι....

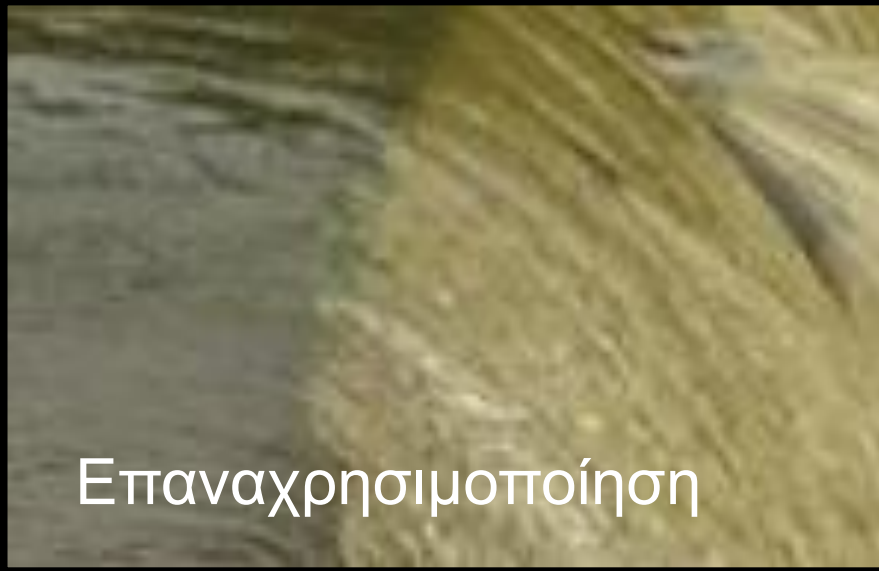
Επιφανειακά και υπόγεια



Αφαλάτωση



Επαναχρησιμοποίηση



Χρήση ομβρίων



Στην ουσία η όλη συζήτηση για το αστικό νερό και τη βιωσιμότητα γυρνά γύρω από 3 ιδέες:

### Ύδρευση:

- Μείωση απωλειών
- Μείωση ζήτησης

### Αποχέτευση:

- Επαναχρησιμοποίηση νερού
- Εξόρυξη ουσιών

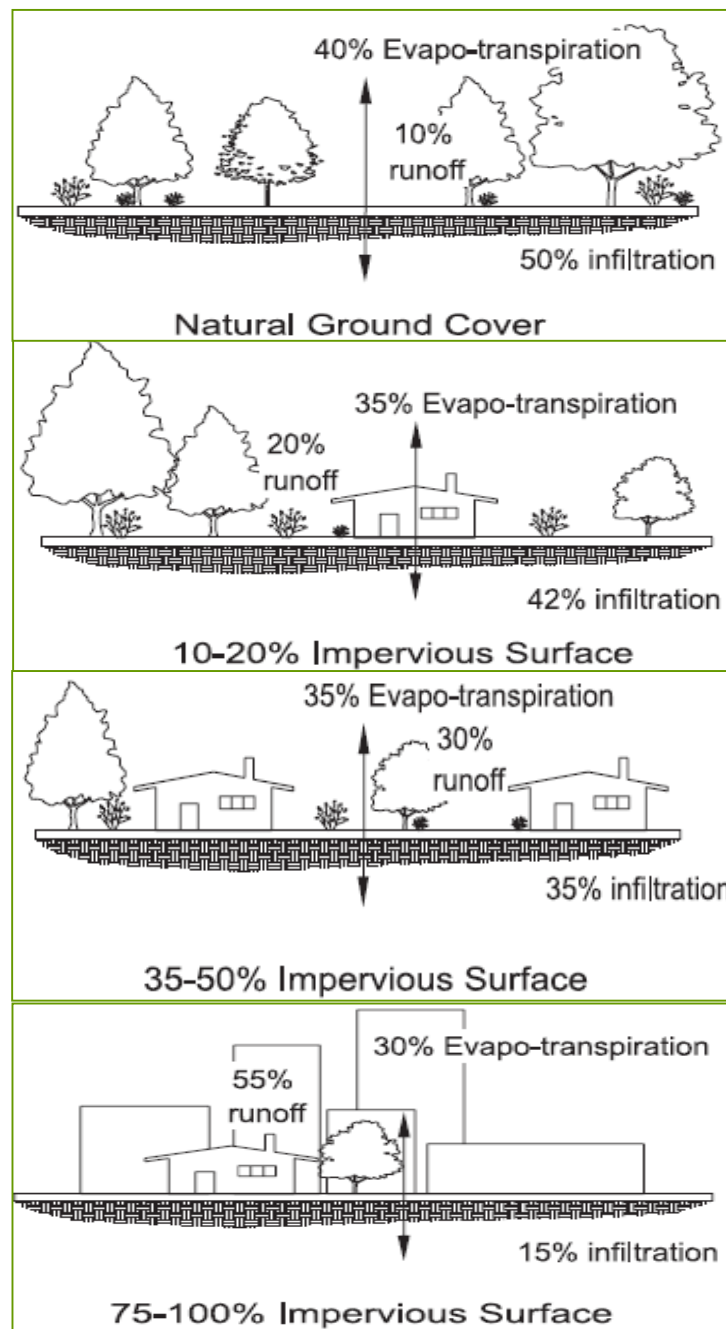
### Όμβρια:

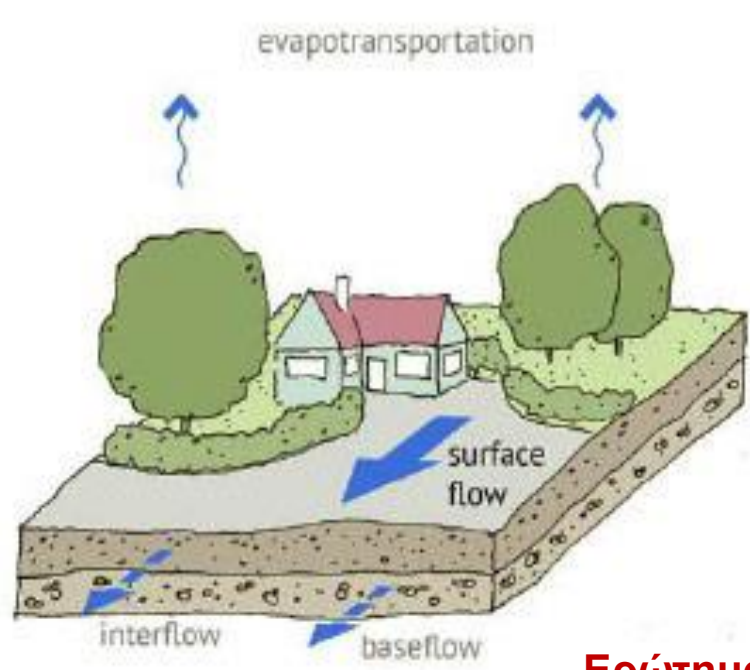
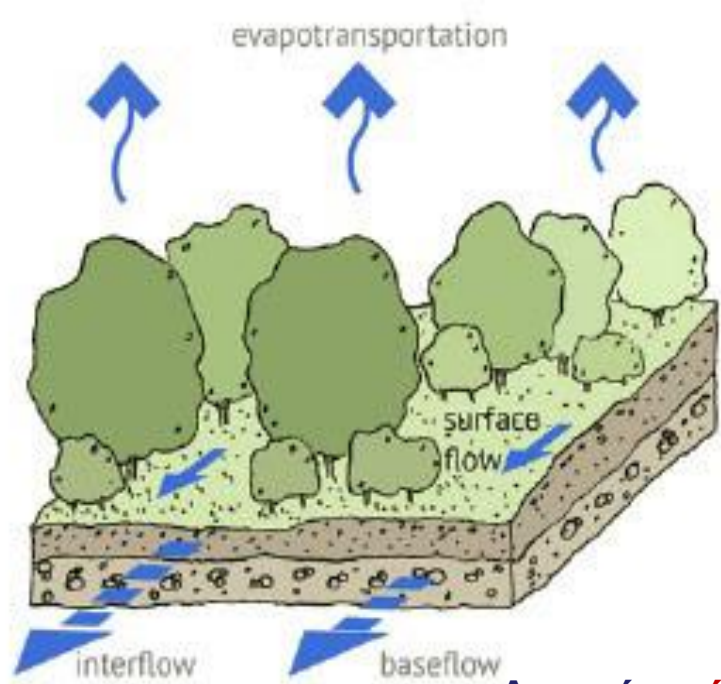
- Χρήση νερού βροχής
- Μείωση απορροής (και εισροής νερού στα δίκτυα)

**Και μία βασική/συνεχή ερώτηση: είναι πρόβλημα ή πόρος;**

# Ας τα πάρουμε από την αρχή: **Αστικοποίηση και απορροή**

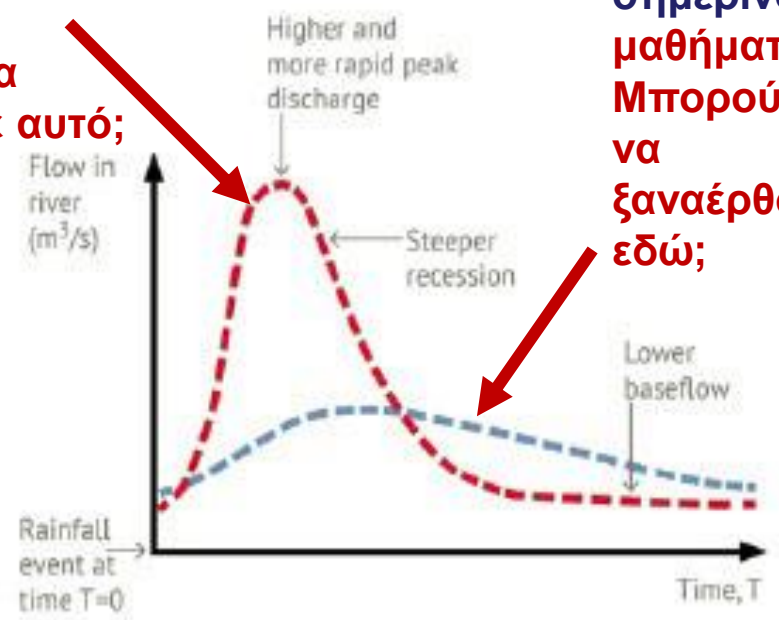
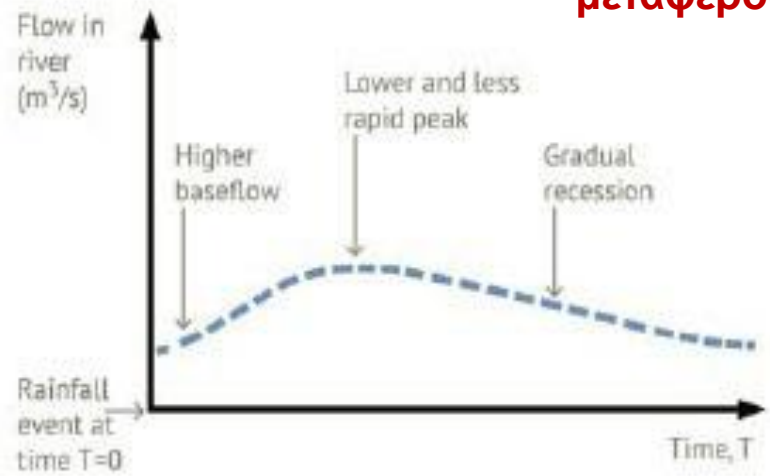
- Η αστικοποίηση (μείωση της περατότητας) επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της ροής:
  - αύξηση του συνολικού **όγκου** παροχής και
  - της μέγιστης **παροχής** αιχμής
- Και άρα αυξάνει το κίνδυνο πλημμύρας...





**Αρχικό ερώτημα μαθήματος: 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
  - **Αποθήκευση** της περίσσειας νερού τοπικά ή καθυστέρηση του να κινηθεί προς τα κατάντη
  - **Αποστράγγιση** του νερού και μεταφορά του μέσω ελεγχόμενης οδού και ροής έξω από τη λεκάνη

# 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.

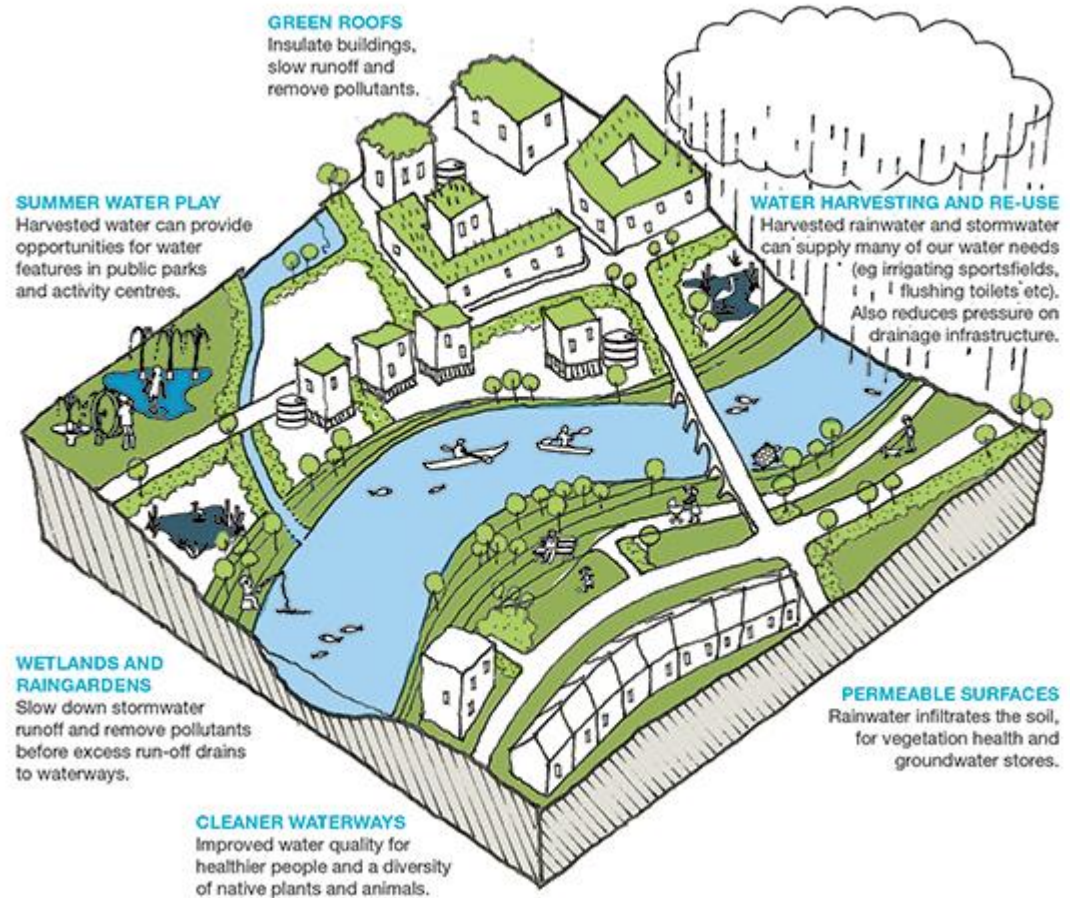
LID uses land planning and design practices and technologies to simultaneously conserve and protect natural resource systems and reduce infrastructure costs.

# 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)

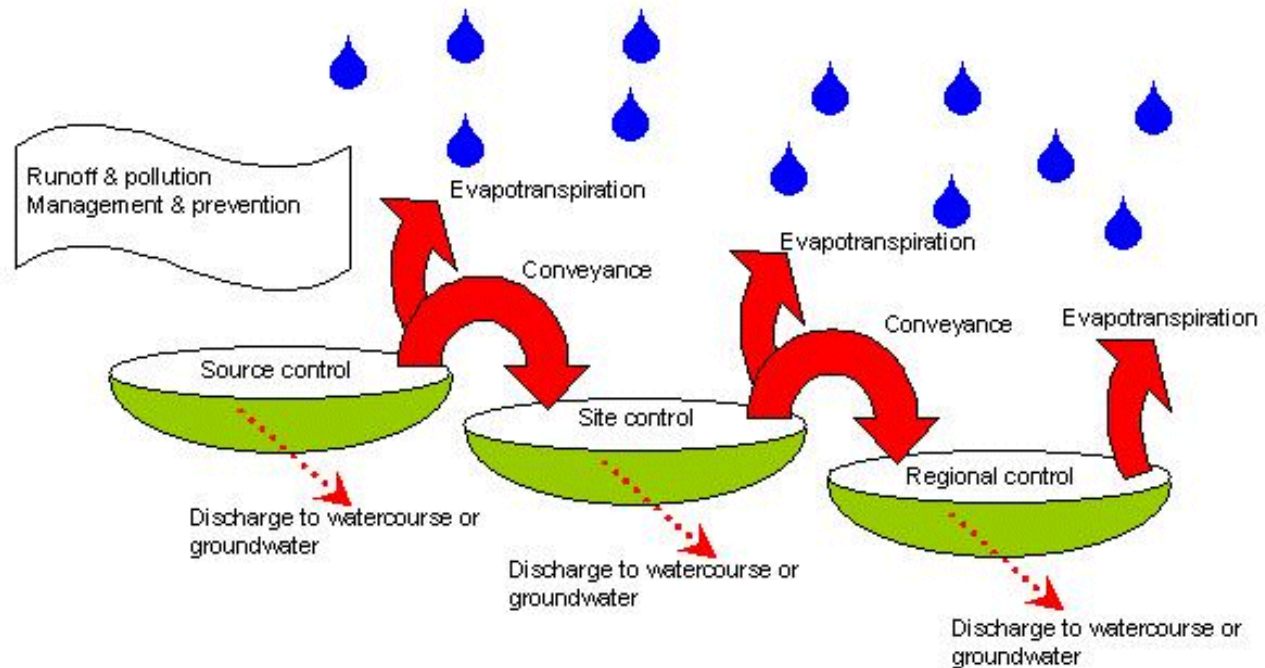
# Η ουσία της ήπιας διαχείρισης

- **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...

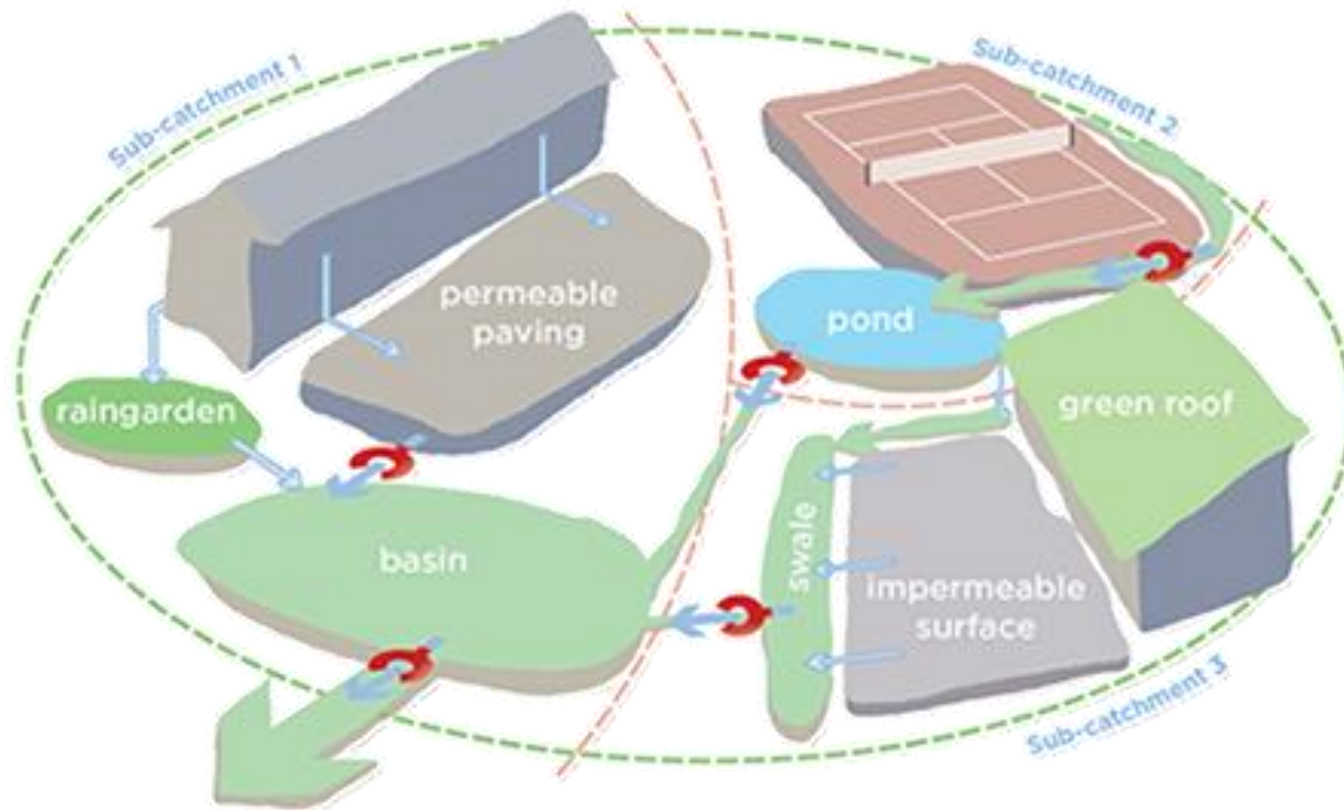


# 4 βασικές παρεμβάσεις σε σειρά

- **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 ανοιχτού 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

Κατείδυση 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
Πορώδες 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 διείδυση 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 Υγριβιότοποι	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 Ομβρίων	Κατασκευές Δεξαμενών 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 Υδροδεξαμενή	X	X	X		X				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)

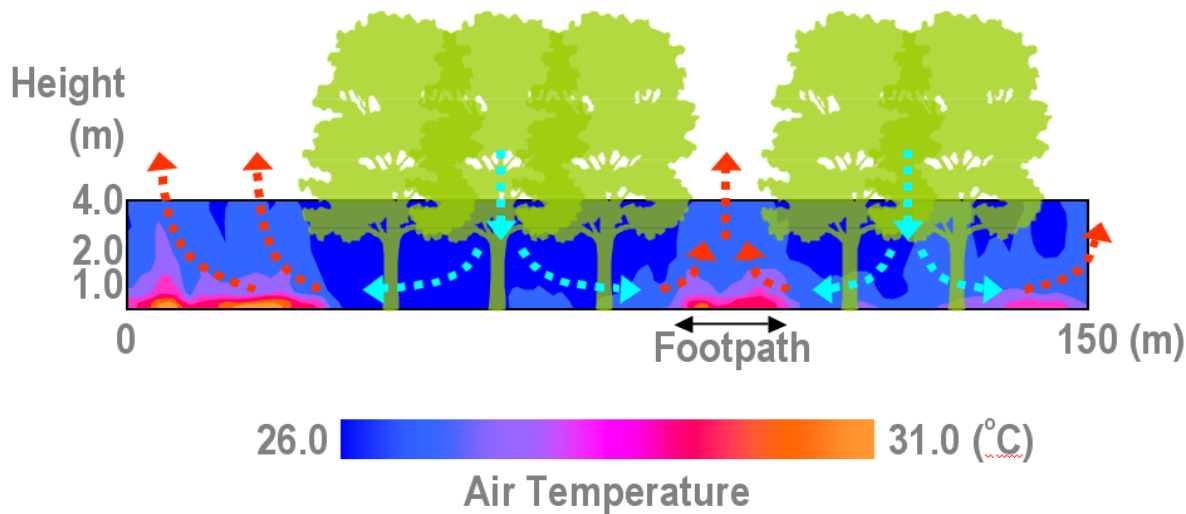
Επίσης εφαρμόσιμα σε πυκνό αστικό περιβάλλον και με πρόσθετες ευεργετικές επιπτώσεις (heat island effect)

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;



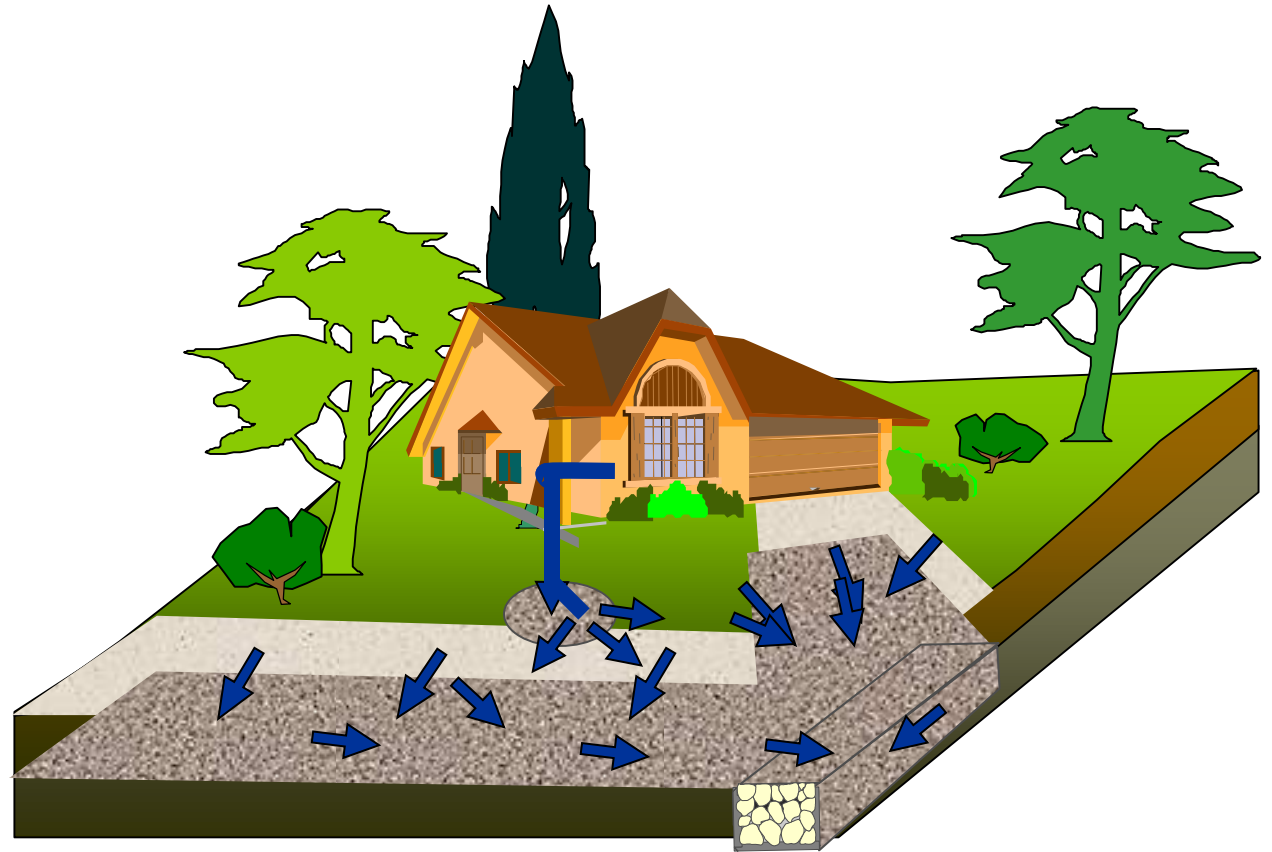
Η πράσινη οροφή στο Δημαρχείο στο Σικάγο. Οι θερμοκρασίες πάνω από την πράσινη οροφή κυμαίνονται 10°-15°F χαμηλότερα από τις αντίστοιχες σε γειτονική οροφή όπου έχει γίνει απάλειψη με πίσσα. Κατά τη διάρκεια του Αυγούστου η διαφορά μπορεί να φτάσει και τους 50°F

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

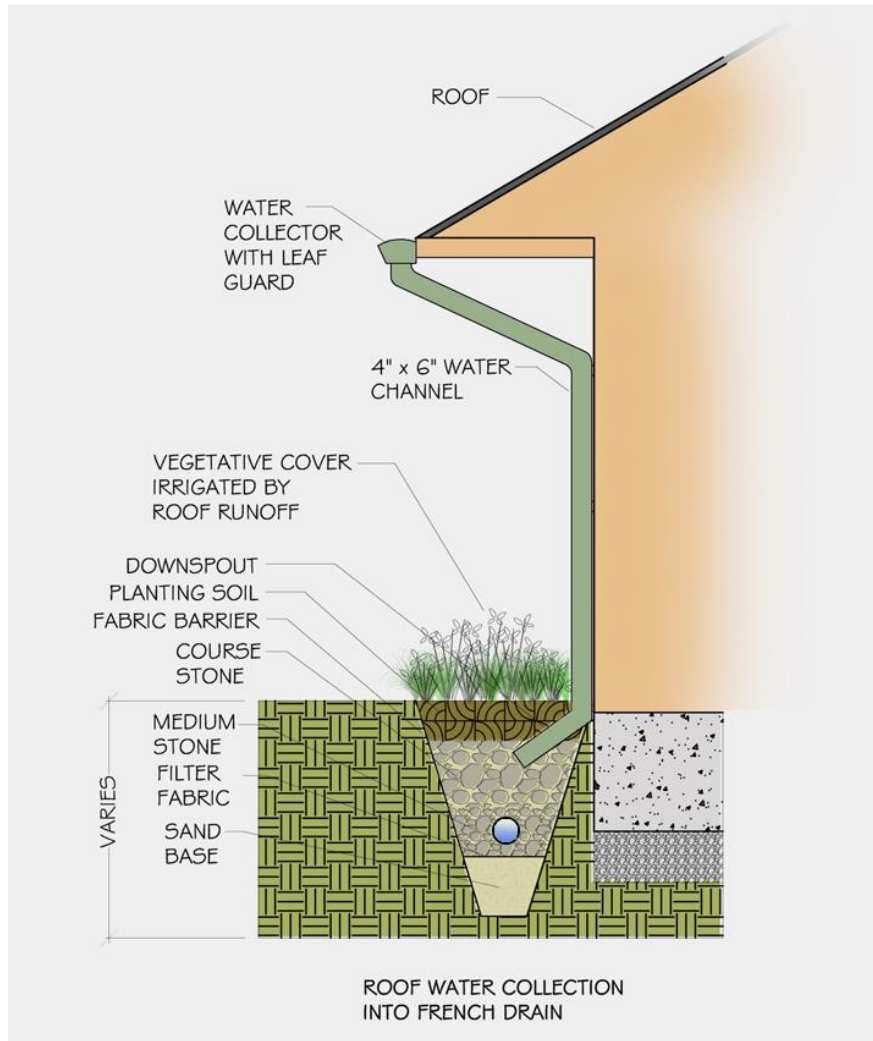


# Συστήματα διήθησης

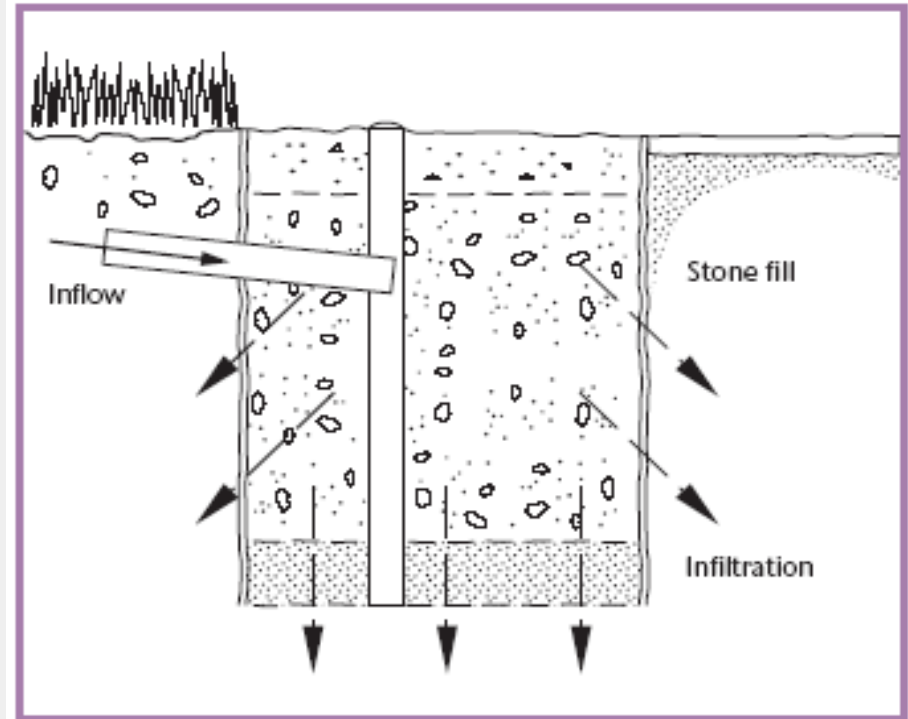
- **Αποσύνδεση υδρορροών**
  - Απορροή σε κήπους
  - Διήθηση σε λεκάνες διήθησης
- **Περατά Πεζοδρόμια**
- **Τάφροι διήθησης (και με αγωγό – French drains)**



# 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!**)

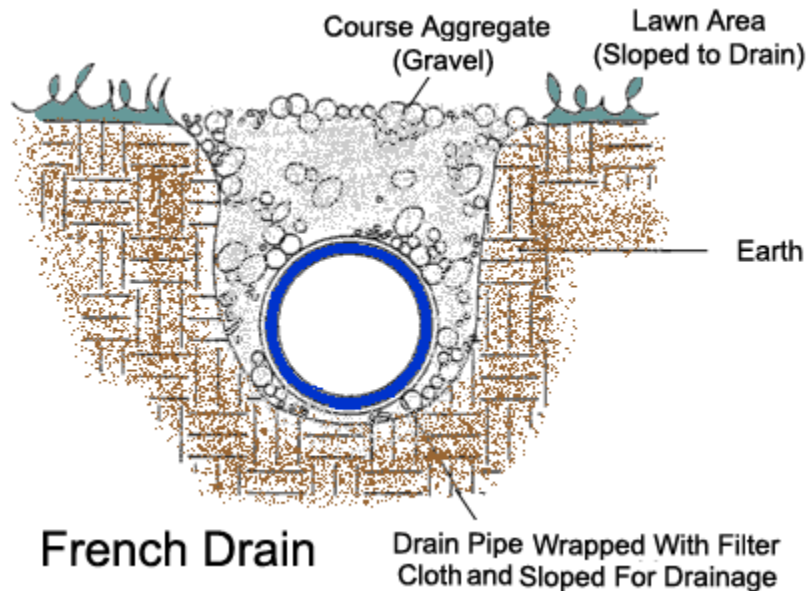


# Περατά Πεζοδρόμια (Permeable Pavements)



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...

# Ταφροι απορροής (grass swales)



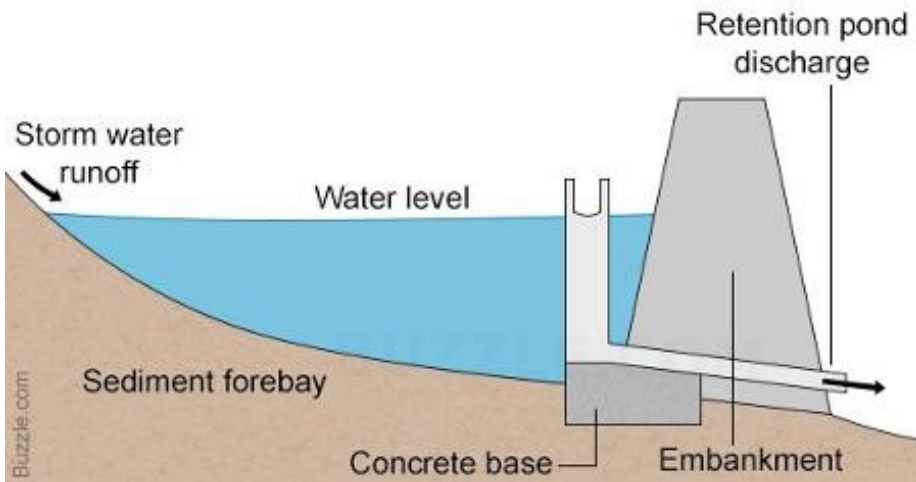
Swale on A8000 near Edinburgh. No kerbs or gullies are required.



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)

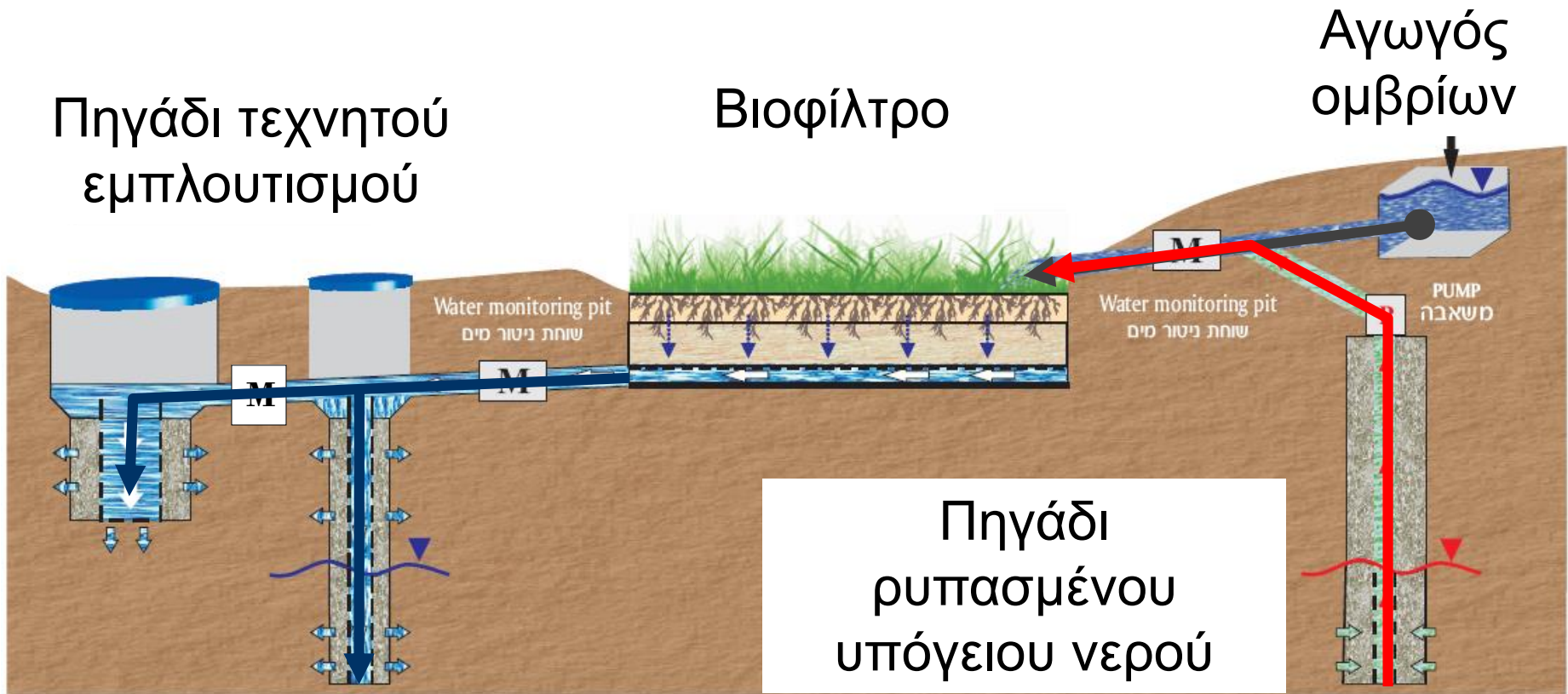


Bioretention in Perth

# Βιοφίλτρο στη Σιγκαπούρη



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





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

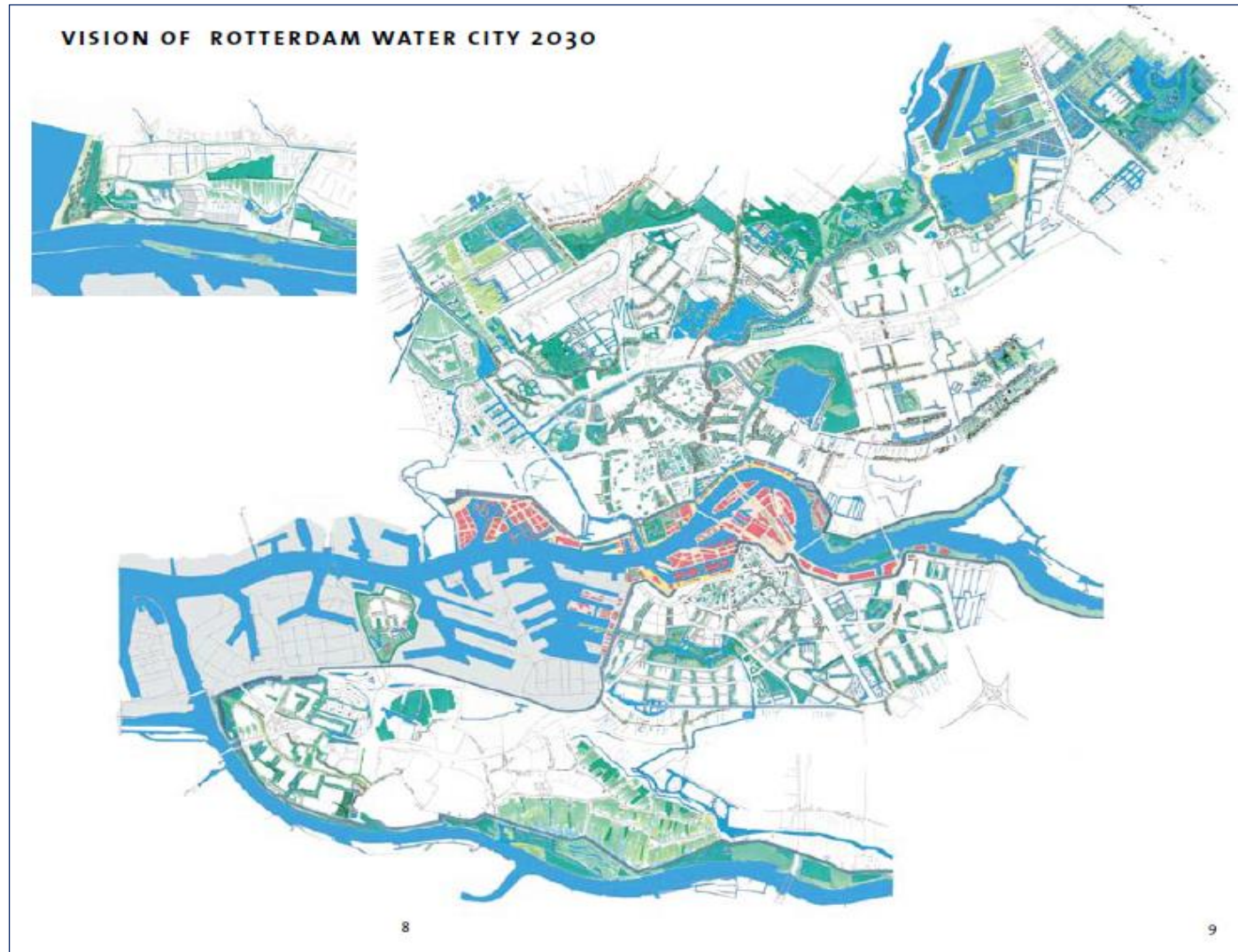


Και βέβαια υπάρχουν και άλλες «υπηρεσίες» που προσφέρουν οι «υποδομές» αυτές: υπηρεσίες οικοσυστημάτων (ecosystem services)



Tanner Springs Park at Pearl District in Portland, US

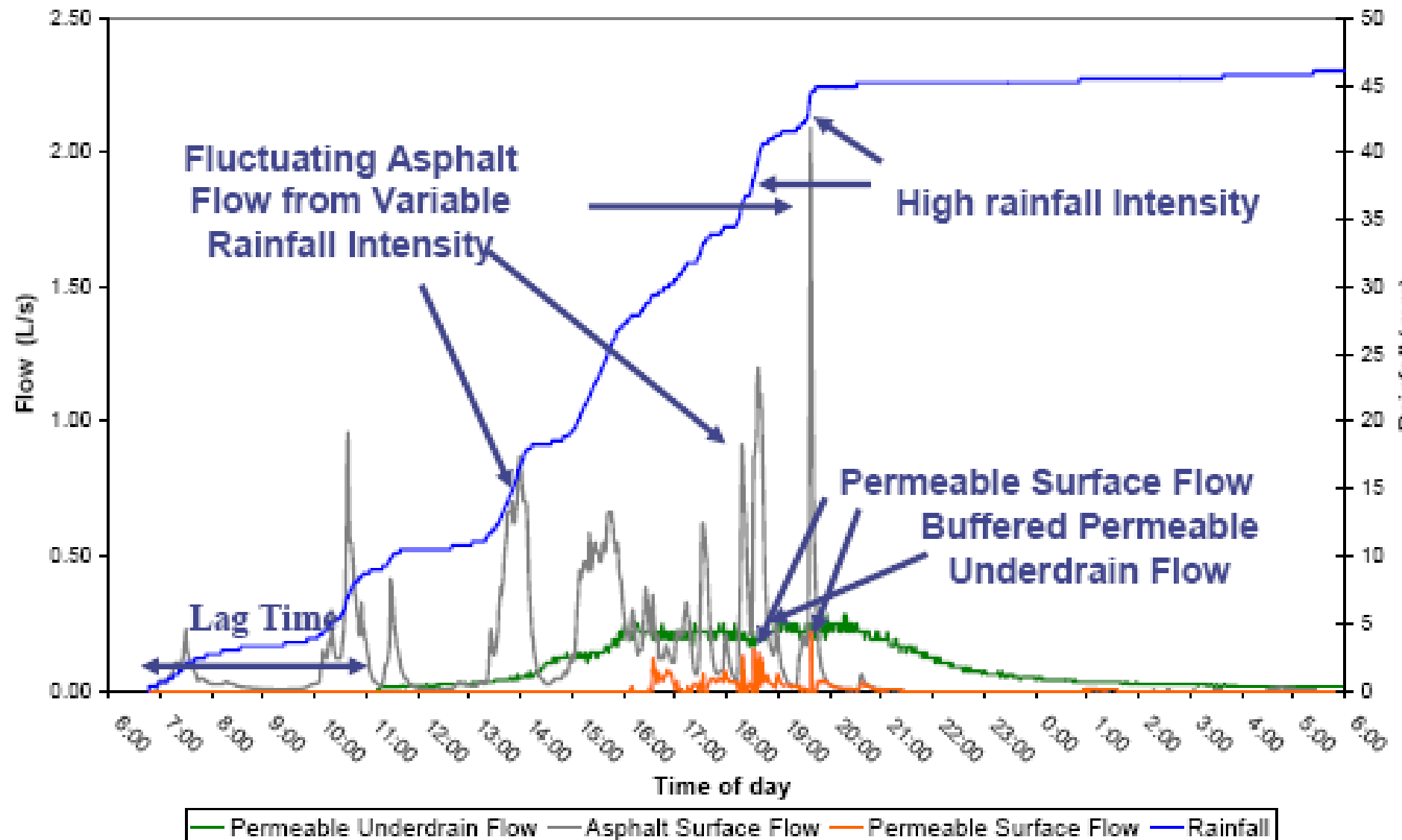
Και βέβαια όλα αυτά είναι πάντα καλύτερο να  
σχεδιάζονται σε επίπεδο πόλης



**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  $< 0.5$  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. οχι  $< 30$  m )
  - Η διήθηση μπορεί να επηρεάσει θεμελιώσεις (πχ σε περιοχές μπαζομένες)
  - Η διήθηση μπορεί να επηρεάσει υπόγεια ( $> 3$ μ 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 ξερούμε 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 δομή και προϋπολογισμός για συντήρηση (**iphone!**)

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



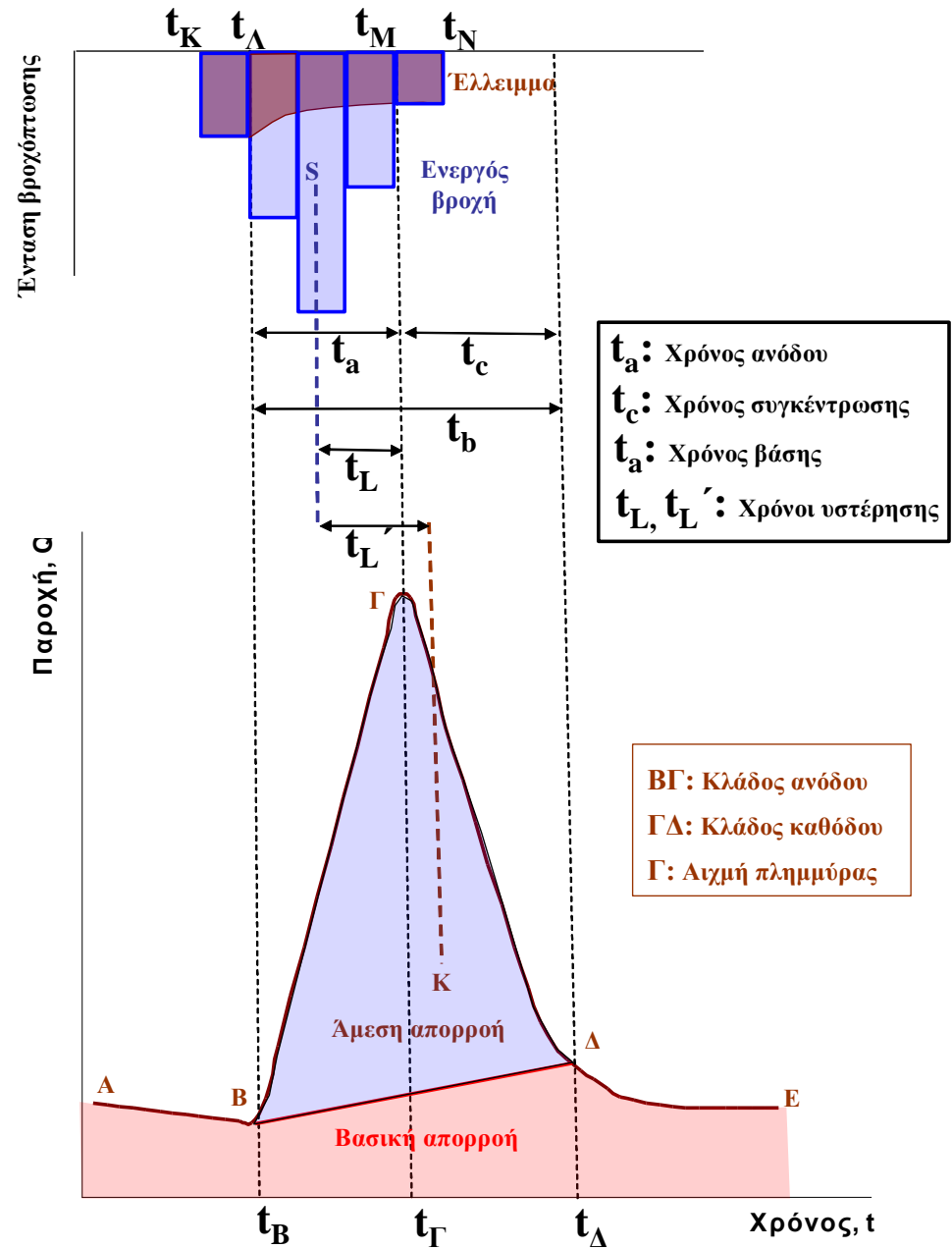
# Τεχνική Βιβλιογραφία

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

# Άσκηση

- 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 του 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. μισογεμάτη)
- 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 ( $h^{-1}$ )

<b>Τύπος επιφάνειας</b>	<b><math>f_o</math> [mm/h]</b>	<b><math>f_c</math> [mm/h]</b>	<b><math>k_2</math> [per h]</b>
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  $100 \text{ m}^2$
- 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 ότι έχω 3 κόστη: μηχανήματα, αδρανή και μεμβράνες φιλτραρίσματος)