

Ευφυή δίκτυα ύδρευσης με αξιοποίηση του διαδικτύου των πραγμάτων και της μηχανικής μάθησης

Γιώργος Μιλής (PhD)

PHOEBE Research and Innovation Ltd / EUROCY Innovations Ltd

george.milis@phoebeinnovations.com / george.milis@eurocyinnovations.com

www.phoebeinnovations.com / www.eurocyinnovations.com

Ευχαριστίες

PHOEBE
RESEARCH & INNOVATION



Συγχρηματοδότηση από ΙΔΕΚ, Πρόγραμμα RESTART 2016-2020, Έρευνα στις Επιχειρήσεις:

- **WaterAnalytics** (Smart Analytics for Improving Efficiency of Water Distribution Networks) - Enterprises/0916/0023
- **DigiWATER** (A Digital Twin for AI-enabled water quality monitoring and actionable decision support in Water Distribution Networks) - Enterprises/0521/0081

και από EU Horizon 2020 - Research and Innovation Action programme:

- **PathoCERT** (Pathogen Contamination Emergency Response Technologies) - GA No. 883484. – www.pathocert.eu
- **WQeMS** (Copernicus Assisted Lake Water Quality Emergency Monitoring Service) – GA No 101004157 – www.wqems.eu
- **WATERVERSE** (WATER DATA MANAGEMENT ECOSYSTEM FOR WATER DATA SPACES) - <https://waterverse.eu/>

και:

- Δρ Δημήτριος Ηλιάδης - <https://www.kios.ucy.ac.cy/people/demetrios-eliades/>
- Όλοι οι συνεργάτες μου



DigiWATER



ΙΔΡΥΜΑ
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ



Οι στόχοι μας για σήμερα...

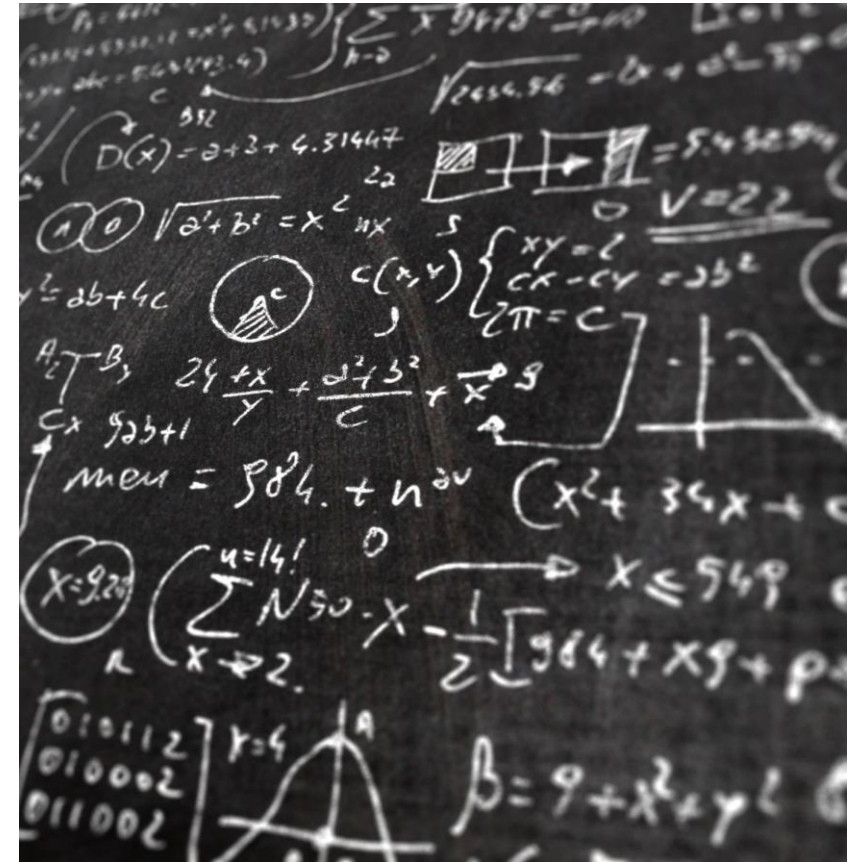
- Γνωριμία
- Κατανόηση όρων:
 - Ευφυή, διαδίκτυο των πραγμάτων, μηχανική μάθηση, δίκτυα ύδρευσης.
- Κατανόηση προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι οργανισμοί παροχής νερού, σε σχέση με τα δίκτυα ύδρευσης.
- Κατανόηση δυναμικής των νέων τεχνολογιών και υποσχόμενων λύσεων.
- Έρευνα και Καινοτομία
- Συζήτηση και προβληματισμοί.

Γνωριμία

Πολύ σύντομα ο καθένας:

- Όνομα
- Προφίλ εκπαίδευσης
- Προφίλ επαγγελματικό
- Όραμα για το επάγγελμα του Μηχανικού στην Κύπρο

Έξυπνο, ευφυές...;



Έξυπνο, ευφυές...;

Η «εξυπνάδα» ή «ευφυία» γενικά προϋποθέτει κάποιας μορφής ενσωματωμένη νοημοσύνη. Δηλαδή, την ικανότητα πρόσληψης/συλλογής δεδομένων (**αίσθηση**), ανάλυσης των δεδομένων (**σκέψη**), παραγωγής νέας γνώσης (**μάθηση**) και λήψης λογικών και εφαρμόσιμων αποφάσεων (**αυτόνομη δράση**).

Οι όροι «έξυπνος» και «ευφυής» (smart, intelligent) χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις με αρκετή υπερβολή.

Τα σημερινά συστήματα αυτοματισμού κάνουν τα πρώτα τους βήματα προς τη μετατροπή των υποδομών σε «έξυπνες».



Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)





Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

Το “Διαδίκτυο των Πραγμάτων” (Internet of Things) είναι ένα γιγαντιαίο δίκτυο από συνδεδεμένα “πράγματα” (“things”).

Αυτά τα πράγματα μπορεί να είναι: **άνθρωποι** (ακόμα μέσα από προσωπικές συσκευές επικοινωνίας), **φυσικές συσκευές** (π.χ., φορητές συσκευές-τηλέφωνα, καφετιέρες, πλυντήρια, λάμπες, συσκευές παρακολούθησης παραμέτρων υγείας, κτλ), και **εικονικά πράγματα** (π.χ., υπηρεσία πρόβλεψης καιρικών συνθηκών, υπηρεσία κρατήσεων για ξενοδοχεία-αεροπορικά εισιτήρια, κτλ.).

Γενικά, οτιδήποτε μπορεί να συνδεθεί στο internet και/ή με άλλα «πράγματα» και να ανταλλάξει δεδομένα-πληροφορίες.



Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

Σύμφωνα με το Smart-America Global Cities Challenge:

"Το IoT είναι ένα «Διαδικτυακό-Φυσικό Σύστημα (Cyber-Physical System - CPS)» το οποίο περιλαμβάνει τη σύνδεση έξυπνων συσκευών και συστημάτων σε διάφορους τομείς, όπως η μεταφορά, η ενέργεια, η κατασκευή και η υγειονομική περίθαλψη με θεμελιωδώς νέους τρόπους."

(NIST, "Global City Teams," 2014)

Τι είναι ένα "**Cyber-Physical System (CPS)**";

Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)



Σύμφωνα με το "OASIS" (μη κερδοσκοπική κοινοπραξία που οδηγεί στην ανάπτυξη, σύγκλιση και υιοθέτηση ανοικτών προτύπων για την παγκόσμια κοινωνία των πληροφοριών):

Ένα CPS είναι ένα σύστημα όπου το Διαδίκτυο συνδέεται με τον φυσικό κόσμο μέσω αισθητήρων. Οι αισθητήρες υπάρχουν σε κάθε κινητό, αυτοκίνητο, πόρτα, δωμάτιο, μέρος, αισθητήρα, συσκευή, σπίτι, γραφείο, κτίριο ή νοσοκομείο, πόλη και χωριό στη Γη.

(OASIS, "Open Protocols", 2014)



Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

Σύμφωνα με το W3C (μια διεθνής κοινότητα όπου οι οργανώσεις-μέλη συνεργάζονται για την ανάπτυξη προτύπων διαδικτύου):

Το W3C τοποθετεί το IoT στην κατηγορία του Ιστού των Πραγμάτων (Web of Things)

Ο Ιστός των Πραγμάτων σχετίζεται με το IoT από την άποψη της εφαρμογής και των τεχνολογιών Web.

Το W3C ορίζει το "Web of Things" ως εξής:

"... είναι ουσιαστικά ο **ρόλος των τεχνολογιών Web** για τη διευκόλυνση της **ανάπτυξης εφαρμογών και υπηρεσιών για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων**, δηλαδή των φυσικών αντικειμένων και της εικονικής τους εκπροσώπησης.

Η ιστορία του “Internet of Things” (IoT)

Η πρώτη χρήση του όρου “Internet of Things” ήταν από τον Kevin Ashton, τον συνιδρυτή του Auto-ID Center στο MIT, κατά τη διάρκεια μιας παρουσίασης που έδωσε προς τους Procter & Gamble (P&G), το 1999.

- Ο Kevin Ashton “πουλούσε” την τεχνολογία «radio frequency ID (RFID)» προς τη διοίκηση της P&G. Έδωσε στην παρουσίαση του τον τίτλο: “Internet of Things”

Παράλληλα, ο Καθηγητής του MIT Neil Gershenfeld, στο βιβλίο του: “When Things Start to Think” (1999), έδωσε ένα σαφές όραμα για το IoT, αν και δεν χρησιμοποιούσε τον ακριβή όρο.

Ωστόσο, η ιδέα υπήρχε από τη δεκαετία του 1970, στον τομέα των ενσωματωμένων συστημάτων (embedded systems).

Η έννοια του οικοσυστήματος του IoT έγινε πραγματικότητα στα μέσα του 2010, όταν η κυβέρνηση της Κίνας δήλωσε ότι θα καθιστούσε το IoT στρατηγική προτεραιότητα στο πενταετές πρόγραμμά της.

Γιατί θέλουμε το IoT;

Γιατί θέλουμε τόσες συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο και να επικοινωνούν η μια με την άλλη; Ποια είναι η αξία για εμάς;

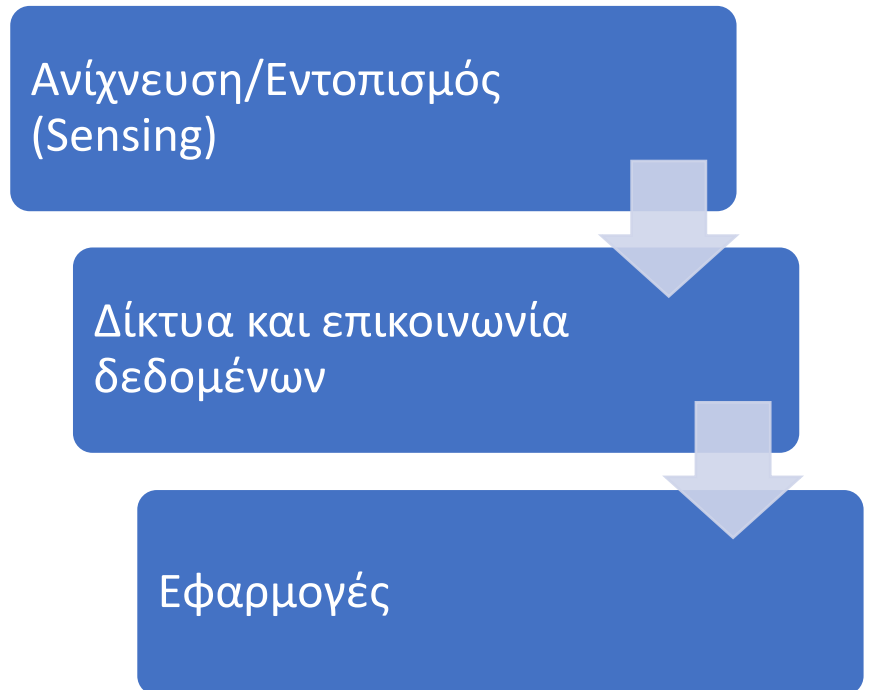
- Το αυτοκίνητό σας μπορεί να βρει την καλύτερη διαδρομή για να μεταβεί σε έναν προορισμό, «μιλώντας» στο ημερολόγιό σας και στο σύστημα πλοήγησης.
- Τα φώτα του σπιτιού σας μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη μέτρηση της φωτεινότητας στο κινητό σας τηλέφωνο και να ανάψουν όταν είναι ώρα.
- Η φορητή συσκευή παρακολούθησης της καρδιάς σας μπορεί να επικοινωνήσει με το γιατρό σας όταν χρειάζεται.
- Ένα φυτό μπορεί να ενημερώσει τον αγρότη όταν κάτι πάει στραβά με το υπέδαφος.

Εκτιμάται ότι μέχρι το 2030 ο αριθμός των "πραγμάτων" (συσκευές με σύνδεση στο διαδίκτυο και δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων) σε όλο τον κόσμο μπορεί να ανέλθει σε 125 δισεκατομμύρια

Πώς λειτουργεί το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων»

Ένα οικοσύστημα IoT αποτελείται από ευφυείς συσκευές που χρησιμοποιούν ενσωματωμένους επεξεργαστές, αισθητήρες και συσκευές επικοινωνίας για τη συλλογή, την αποστολή και την επεξεργασία δεδομένων που αποκτούν από το περιβάλλον τους.

- Οι συσκευές IoT επικοινωνούν τα δεδομένα που συλλέγουν είτε απευθείας είτε μέσω "IoT gateways" ή άλλων συσκευών που βρίσκονται κοντά τους.
- Τα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν τοπικά ή να σταλούν στο «cloud» για περαιτέρω ανάλυση.
- Μερικές φορές, οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους και ενεργούν με βάση τις πληροφορίες που ανταλλάσσουν.



Συστατικά του IoT

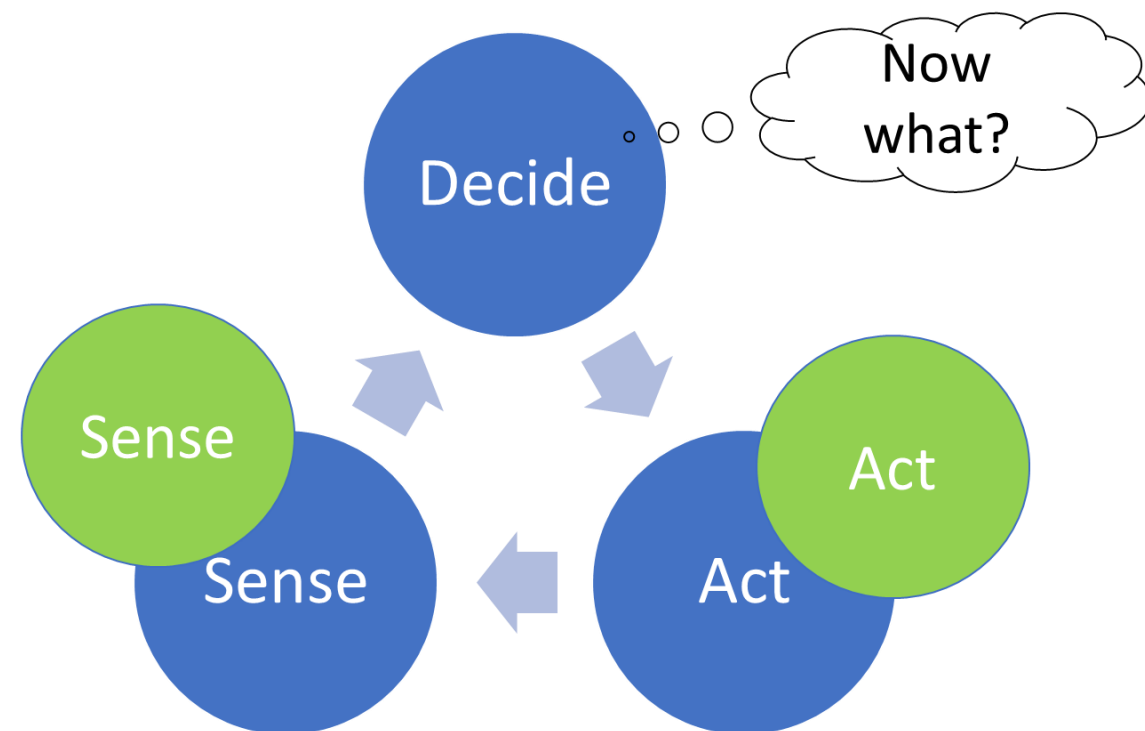
IoT Αισθητήρες/Μετρητές

Υδραυλικές παραμέτροι (ροή, πίεση),
παραμέτροι ποιότητας (pH, chlorine
residual),...

Δίκτυα-Πύλες (Gateways)

IoT Actuators (ενεργοποιητές)

Ενεργοποιητές IoT
Διακόπτες, μηχανοκίνητες βαλβίδες, αντλίες,
ανεμιστήρες,...



Βασικές τεχνολογίες

- Artificial Intelligence (AI)
- Machine Learning
- Mobile Edge Computing
- Big Data
- Fault Detection and Diagnostics
- Predictive analytics
- Real-time visualisations
- Interoperability



Η τεχνολογία από μόνη της δεν είναι αρκετή.

Το κλειδί για την επίτευξη πραγματικής αξίας είναι οι κατάλληλες αλλαγές στις **διαδικασίες** και στην **κουλτούρα**!



Συνοπτική παρουσίαση τεχνολογιών IoT

Στοιχεία IoT		Δείγματα
Ταυτοποίηση	Ονομασία	EPC, uCode
	Διεύθυνση	IPv4, IPv6
Αισθητήρες		Smart Sensors, Wearable sensing devices, Embedded sensors, Actuators, RFID tag
Επικοινωνία		RFID, NFC, UWB, Bluetooth, BLE, IEEE 802.15.4, Z-Wave, WiFi, WiFiDirect, LTE-A
Υπολογισμός	Υλισμικό	SmartThings, Arduino, Phidgets, Intel Galileo, Raspberry Pi, Gadgeteer, BeagleBone, Cubiboard, Smart Phones
	Λογισμικό	OS (Contiki, TinyOS, LiteOS, Riot OS, Android); Cloud (Nimbits, Hadoop, etc.)
Υπηρεσίες		Identity-related (shipping), Information Aggregation (smart grid), Collaborative-Aware (smart home), Ubiquitous (smart city)
Σημασιολογία		RDF, OWL, EXI

Κοινά πρότυπα IoT

Τα πρωτόκολλα IoT ταξινομούνται σε: πρωτόκολλα εφαρμογής, πρωτόκολλα εντοπισμού υπηρεσιών, πρωτόκολλα υποδομής και άλλα...

Με βάση τη φύση της εφαρμογής του IoT, τα κατάλληλα πρωτόκολλα και πρότυπα πρέπει να επιλεγούν για υλοποίηση.



Κοινά πρότυπα IoT

Προτείνονται πολλά πρότυπα IoT για τη διευκόλυνση και την απλούστευση της εργασίας των προγραμματιστών εφαρμογών και των παρόχων υπηρεσιών.

Ομάδες που παρέχουν πρωτόκολλα για την υποστήριξη του IoT:

- Η Κοινοπραξία World Wide Web (W3C)
- Η Ομάδα Εργασίας των Μηχανικών Διαδικτύου (IETF)
- Το EPCglobal for industry-driven standards
- Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE)
- Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI)



Σύνοψη πρωτοκόλλων και προτύπων

Πρωτόκολλο Εφαρμογής		DDS	CoAP	AMQP	MQTT	MQTT-SN	XMPP	HTTP REST
Πρωτόκολλα εντοπισμού υπηρεσιών		mDNS				DNS-SD		
Πρωτόκολλα υποδομής	Πρωτόκολλο Δρομολόγησης	RPL						
	Επίπεδο Δικτύου	6LoWPAN				IPv4/IPv6		
	Επίπεδο Συνδέσμου	IEEE 802.15.4						
	Επίπεδο Συσκευής	LTE-A	EPCglobal		IEE 802.15.4		Z-Wave	
Πρωτόκολλα Επιρροής		IEEE 1888.3, IPSec				IEEE 1905.1		

Πλεονεκτήματα του IoT

Μερικά από τα πλεονεκτήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων περιλαμβάνουν:

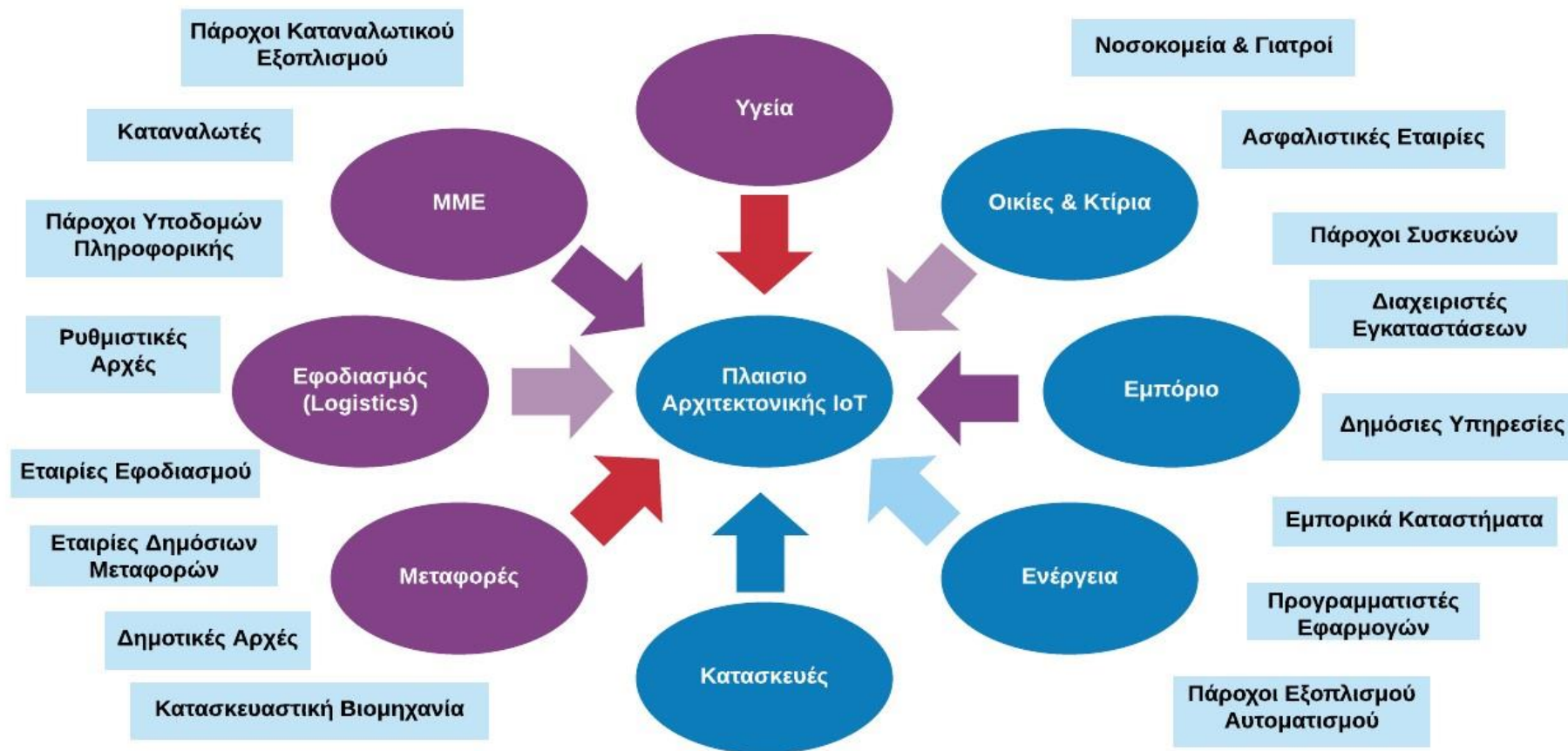
- Δυνατότητα **πρόσβασης σε πληροφορίες** από οπουδήποτε, ανά πάσα στιγμή σε οποιαδήποτε συσκευή.
- **Βελτιωμένη επικοινωνία** μεταξύ των συνδεδεμένων ηλεκτρονικών συσκευών.
- Η **αυτοματοποίηση των καθηκόντων** συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών ενός οργανισμού και μειώνει την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση.

Μειονεκτήματα του IoT

Ορισμένα μειονεκτήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων περιλαμβάνουν:

- Καθώς ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών αυξάνεται και περισσότερες πληροφορίες μοιράζονται μεταξύ συσκευών, αυξάνεται επίσης η πιθανότητα ότι ένας χάκερ θα μπορούσε να κλέψει εμπιστευτικές πληροφορίες.
- Οι επιχειρήσεις ενδέχεται τελικά να αντιμετωπίσουν τεράστιους αριθμούς - ίσως ακόμη και εκατομμύρια - συσκευών IoT και η συλλογή και διαχείριση των δεδομένων από όλες αυτές τις συσκευές θα αποτελέσει πρόκληση.
- Εάν υπάρχει κάποιο σφάλμα στο σύστημα, είναι πιθανό κάθε συνδεδεμένη συσκευή να καταστραφεί.
- Δεδομένου ότι δεν υπάρχει διεθνές πρότυπο συμβατότητας για το IoT, είναι δύσκολο για συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Αγορές και τομείς του IoT



Σενάρια IoT

Μπορείτε να σκεφτείτε τα δικά σας σενάρια εφαρμογής IoT;

Μόλυνση του Αέρα	Διαρροές Νερού	Διαρροές Νερού
Ανίχνευση Πυρκαγιών	Ποιότητα Νερού	Ποιότητα Νερού
Βελτίωση Ποιότητας Κρασιού	Υγεία	Φροντίδα Παιδιών
Μαθήματα Γκολφ	Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Περιμετρική Πρόσβαση
Φροντίδα Αθλητών	Έξυπνοι Δρόμοι	Επίπεδα Ακτινοβολίας
Ποιότητα Συνθηκών Μεταφορών	Έξυπνος Φωτισμός	Αυτοδιάγνωση Οχημάτων
Τοποθεσία Προϊόντων	Διαχείριση Αποβλήτων	Έξυπνα Ψώνια

Βασικές προκλήσεις

- Η **ασφάλεια** είναι μια μεγάλη πρόκληση: Με δισεκατομμύρια συσκευές που συνδέονται μεταξύ τους, τι μπορούμε να κάνουμε για να διασφαλίσουμε ότι τα δεδομένα μας παραμένουν ασφαλή; Π.χ., θα μπορέσει κάποιος να εισβάλει στο χώρο μας και να αποκτήσει πρόσβαση στα ευαίσθητα δεδομένα μας;
- Πρόκληση **απορρήτου και κοινής χρήσης δεδομένων**: πώς να διατηρήσουμε το απόρρητο των δεδομένων σε μια κατάσταση όπου είναι συνδεδεμένες πολλά δισεκατομμύρια συσκευές;
- Πρόκληση **«μεγάλων δεδομένων» (big data)**: τεράστιες ποσότητες, μεγάλη ποικιλία/ετερογένεια και πολύ γρήγορα δεδομένα που παράγονται από συνδεδεμένες συσκευές. Πώς να αποθηκεύσετε, να παρακολουθήσετε, να αναλύσετε και να εξάγετε πληροφορία και γνώση μέσα από τέτοια δεδομένα;
- Πρόκληση **«διαλειτουργικότητας»**: Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κάποιο καθορισμένο διεθνές πρότυπο συμβατότητας για το IoT, είναι δύσκολο για συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Κριτήρια ποιότητας υπηρεσίας (Qos)

Τα σενάρια εφαρμογής IoT έχουν κατά κανόνα σημαντικά θετικά αποτελέσματα όταν τα αποτελέσματα λειτουργίας τους μετρούνται σε σχέση με ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω κριτήρια ποιότητας υπηρεσίας.

Μείωση κόστους: π.χ. μείωση του χρόνου στάθμευσης σε αυτοκίνητα που κινούνται μέσα σε μια πόλη, προσφέρει σημαντική μείωση του κόστους καυσίμων και χρόνου για τους οδηγούς, καθώς και το κόστος της ρύπανσης για την πόλη.

Η ενεργειακή απόδοση: π.χ. η δυνατότητα ενός ξενοδοχείου να επιλέγει τις συσκευές θέρμανσης με βάση τις παραμέτρους κατανάλωσης ενέργειας τη συγκεκριμένη ώρα, μειώνει σημαντικά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Η άνεση των χρηστών (συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων χρόνου και απόδοσης): π.χ. ένα ηλικιωμένο άτομο, του οποίου το σπίτι είναι αρκετά έξυπνο για να επικοινωνήσει με τον γιατρό και να παράσχει πληροφορίες σχετικά με ζωτικά σήματα, θα βοηθήσει το άτομο να νιώθει πολύ πιο άνετα μέσα στο δικό του περιβάλλον.

Άλλα παραδείγματα;

Δίκτυα Ύδρευσης

Μια σύντομη ιστορία

Mohenjo Daro, Pakistan, 2500 BCE



Crete, Greece, 1500BCE



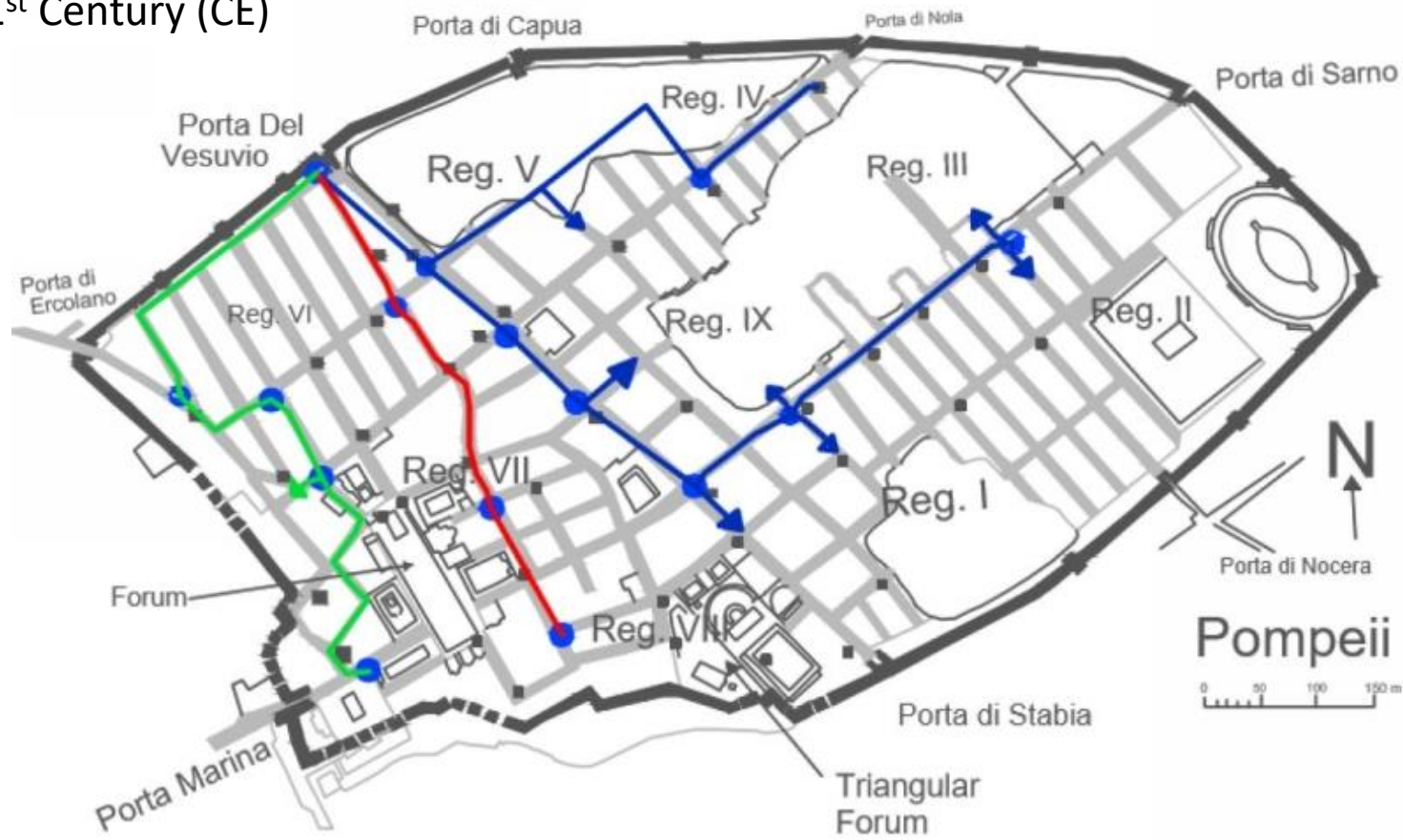
Pipes in Crete, Greece ~1500BCE

Kourion, Cyprus, 3 CE



Pompeii, Italy, 1 CE,

1st Century (CE)



<http://www.romanaqueducts.info/aquasite/pompeii/index.html>

Αρχαίες βρύσες



<http://www.romanaqueducts.info/aquasite/pompeii/index.html>

Μοντέρνα εκδοχή της παροχής νερού

Παροχή και χρήση νερού στην Κύπρο

- Πηγές νερού
 - Φράγματα (με επεξεργασία ή χωρίς)
 - Υπόγεια ύδατα
 - Αφαλατωμένο νερό
 - Ανακυκλωμένο νερό
- Χρήσεις νερού
 - Κατανάλωση (όλες εκτός από ανακυκλωμένα)
 - Άρδευση (ανακυκλωμένο, μη επεξεργασμένο νερό)

Πηγές νερού



Πηγές νερού



Επεξεργασία νερού



Αποθήκευση νερού – Δεξαμενές στη Λευκωσία



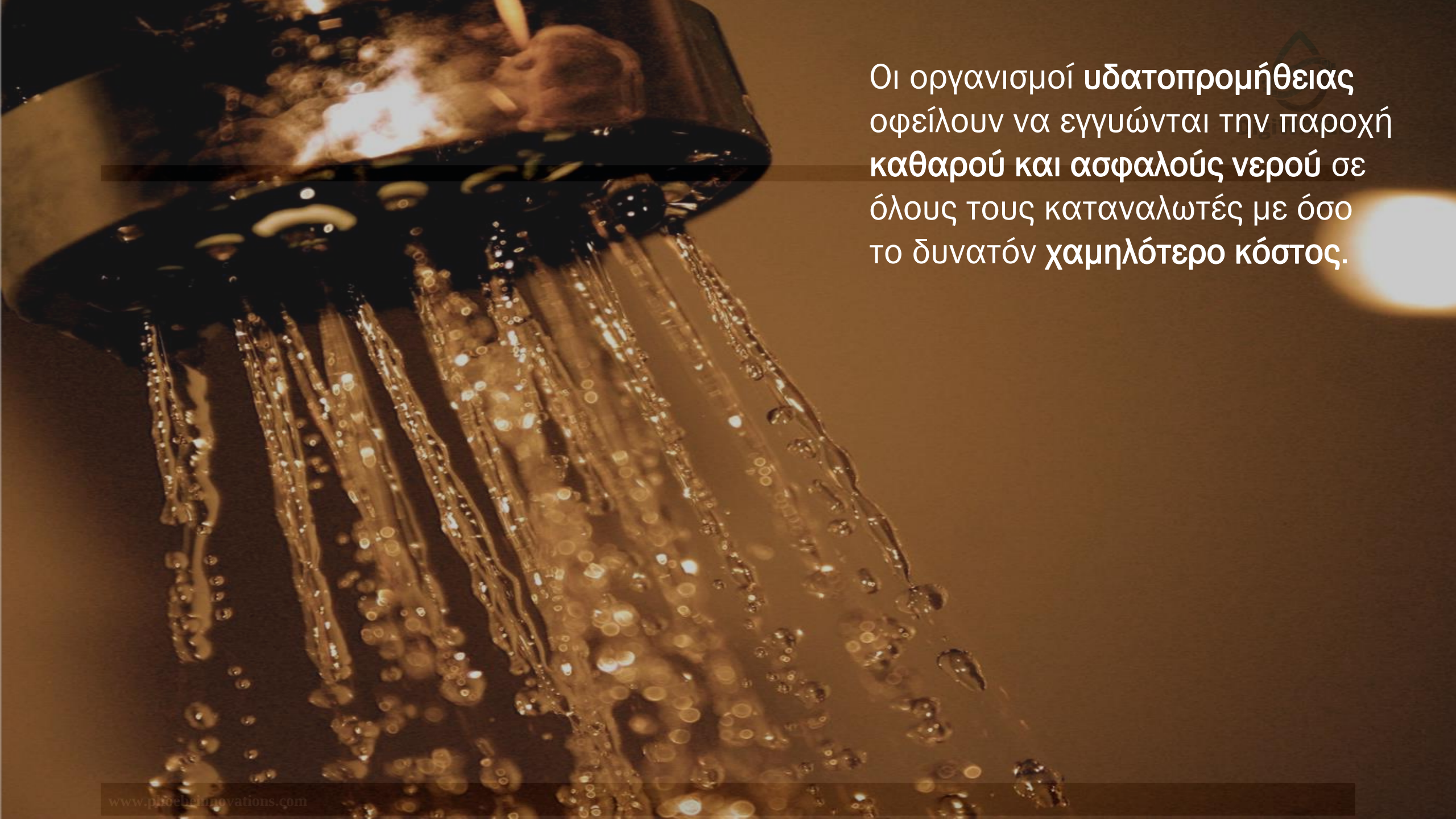
<https://city.signalive.com/article/2016/5/27/mpikame-sto-manitari-eikones/>

Δίκτυο μεταφοράς νερού

- Χρησιμοποιείται για επεξεργασμένο και μή επεξεργασμένο νερό
- Δεν φτάνει στους καταναλωτές
- Διαθέτει τις μεγάλες δεξαμενές
- Πιθανόν να χρειάζεται μηχανική άντληση
- Κυρίως τοπολογία κλάδου
- Συνήθως σε αγροτικές περιοχές

Δίκτυο διανομής νερού

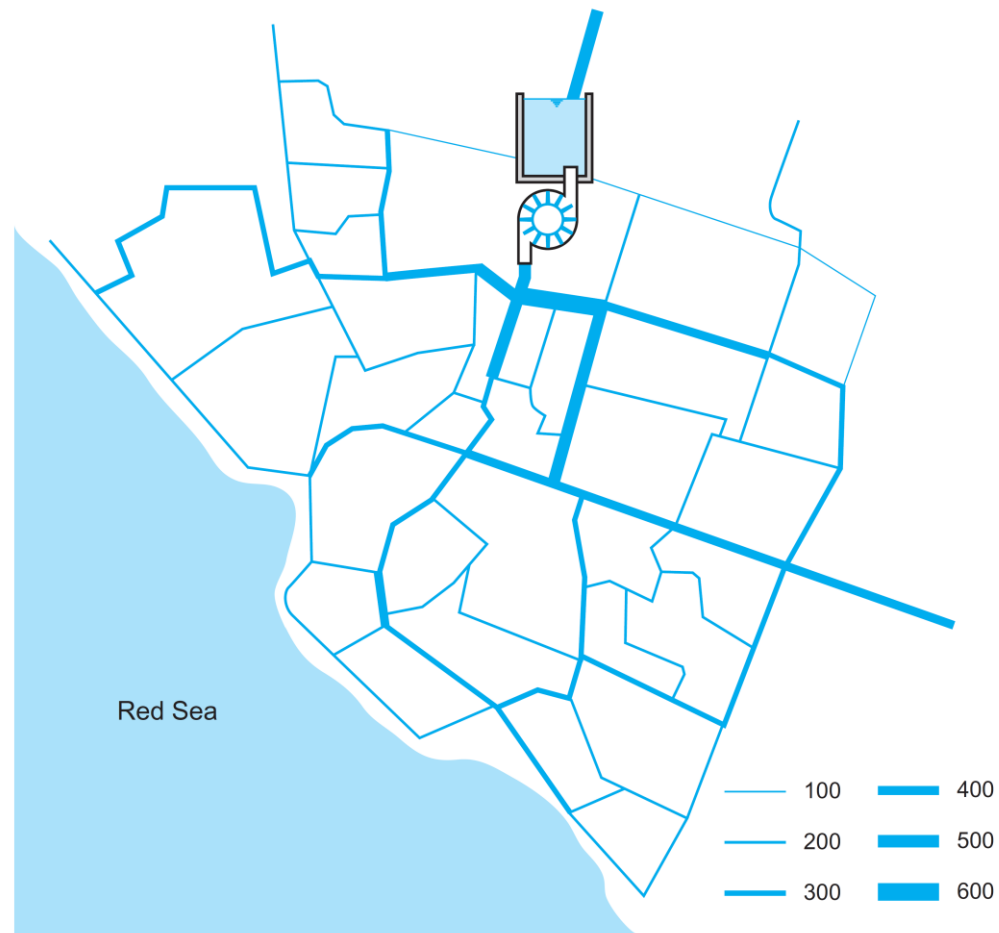
- Μικρότεροι σωλήνες
- Πολυάριθμες συνδέσεις
- Με γνώμονα τις απαιτήσεις των καταναλωτών
- Απαιτεί πολλά στοιχεία για τη διαχείριση του (αντλιοστάσια, βαλβίδες, πύργοι/δεξαμενές νερού)
- Συνήθως σε αστικές περιοχές



Οι οργανισμοί υδατοπρομήθειας
οφείλουν να εγγυώνται την παροχή
καθαρού και ασφαλούς νερού σε
όλους τους καταναλωτές με όσο
το δυνατόν χαμηλότερο κόστος.

Αγωγοί - σωλήνες

- Δίκτυο κορμού (μετακίνηση νερού στην περιοχή διανομής)
- Δευτερεύον δίκτυο (βασικός σκελετός)
- Δίκτυα διανομής (κατά μήκος των δρόμων)
- Αγωγός εξυπηρέτησης (προς καταναλωτές)

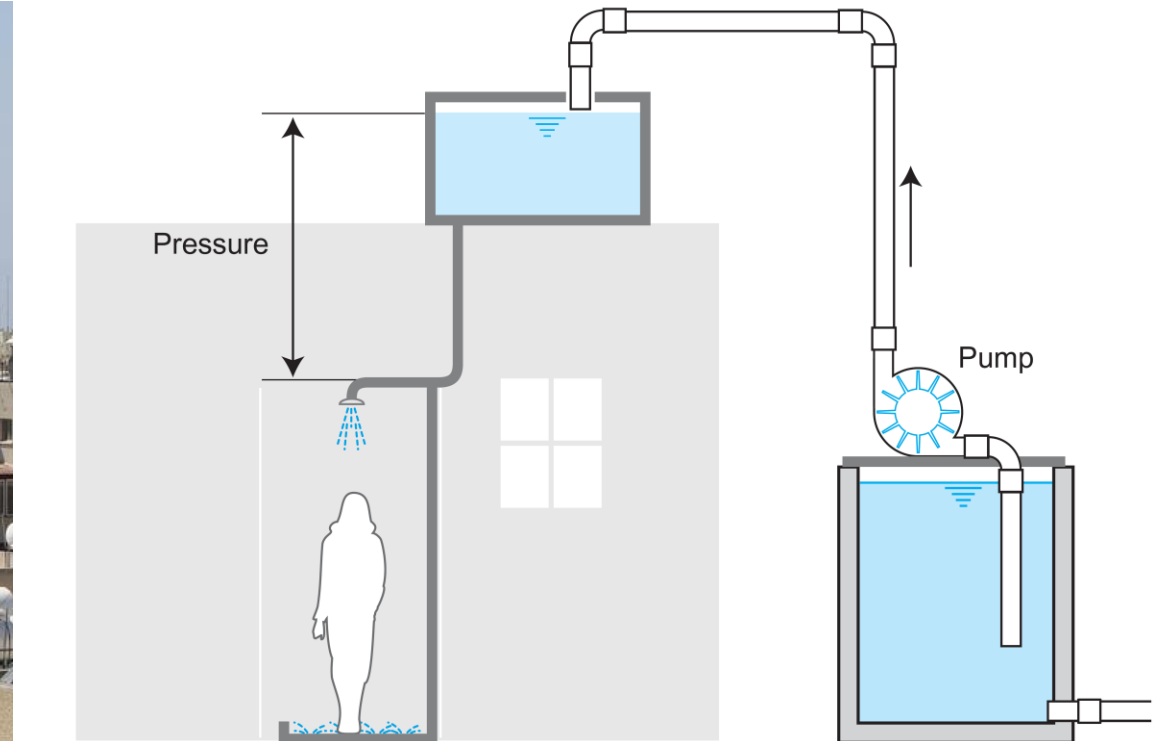


Αποθήκευση νερού

- Η προσφορά δεν ισούται με τη ζήτηση!
- Απαιτείται ένα buffer για αποθήκευση.
- Ικανοποίηση της μεταβλητής ζήτησης
- Παροχή τροφοδοσίας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (π.χ., πυρκαγιά)
- Διατήρηση σταθερής πίεσης
- Αποθέματα νερού για ασφάλεια



Αποθήκευση στους καταναλωτές στην Κύπρο



Αντλίες νερού

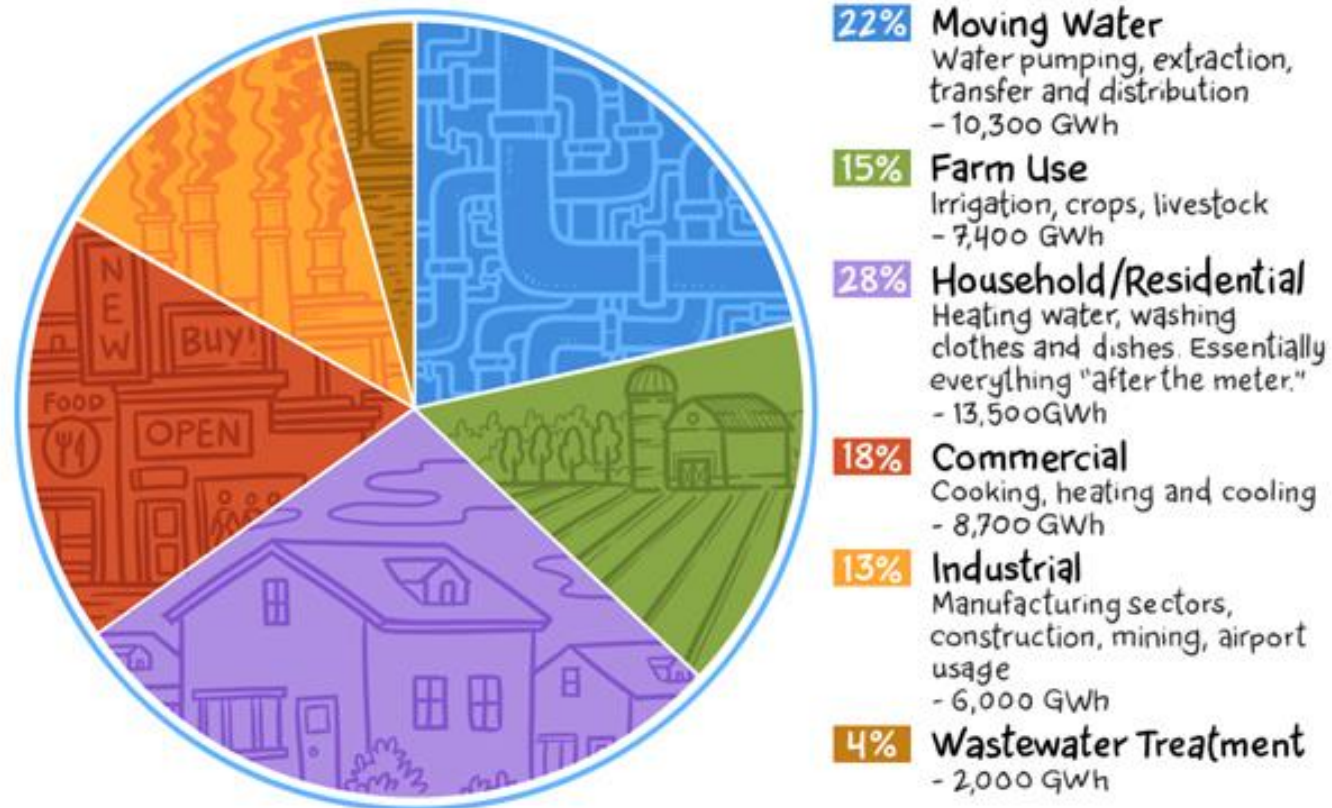
- Προσθέτουν ενέργεια στο σύστημα υπό μορφή πίεσης
- Σημαντική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
 - ~4% της συνολικής εθνικής κατανάλωσης



Κατανάλωση ενέργειας από τα δίκτυα νερού

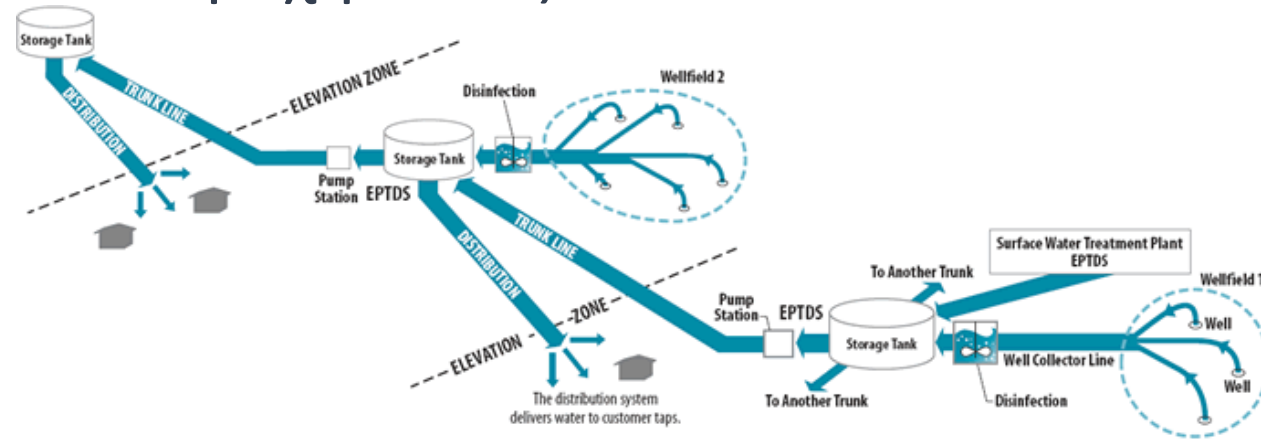
WATER-RELATED ENERGY USE

Nineteen percent of California's electricity goes to water-related uses



Σχήματα διανομής νερού

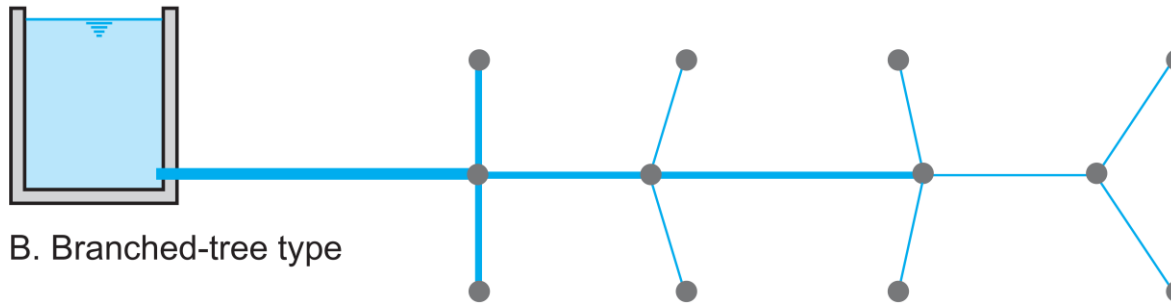
- Με βαρύτητα
 - Χωρίς κατανάλωση ενέργειας, απλά, σημεία καθυστέρησης
- Άντληση
 - Ελεγχόμενη πίεση, απαιτούνται πιο πολύπλοκες διαδικασίες
- Άντληση στις δεξαμενές και μετά παροχή στους καταναλωτές
- Ζώνες ελέγχου πίεσης



Διαφορετικά ήδη δικτύων



A. Serial network



B. Branched-tree type



C. Branched-parallel type

Διαφορετικά ήδη δικτύων

Σειριακό

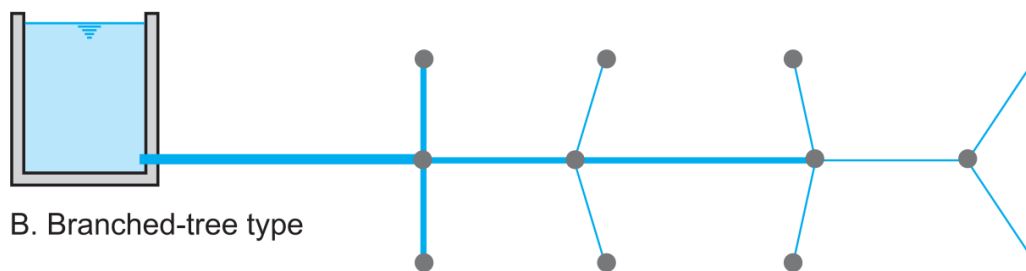
- Χαμηλή αξιοπιστία

Κλαδωτό

- Χαμηλή αξιοπιστία
- Χαμηλή ποιότητα λόγω «αδιεξόδων»
- Υψηλής πίεσης ταλαντώσεις λόγω ζήτησης



A. Serial network



B. Branched-tree type



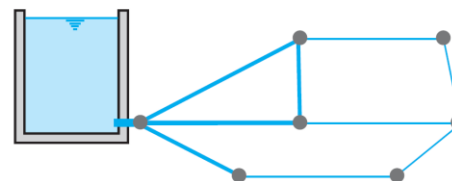
C. Branched-parallel type

Διαφορετικά ήδη δικτύων

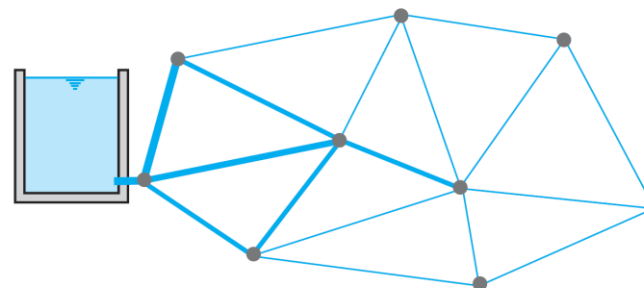
Πλέγμα

- Το νερό ρέει από διαφορετικές κατευθύνσεις
- Δεν διακόπτει την κατανάλωση
- Λιγότερες διακυμάνσεις πίεσης λόγω απαιτήσεων
- Πιο περίπλοκο

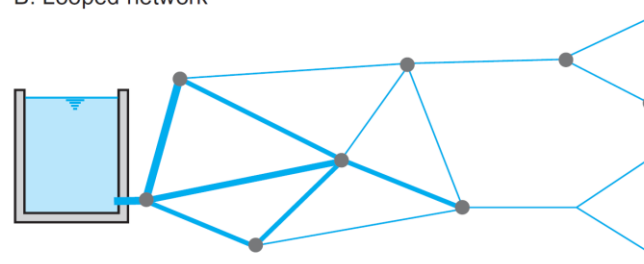
Συνδυασμός



A. Connected parallel type

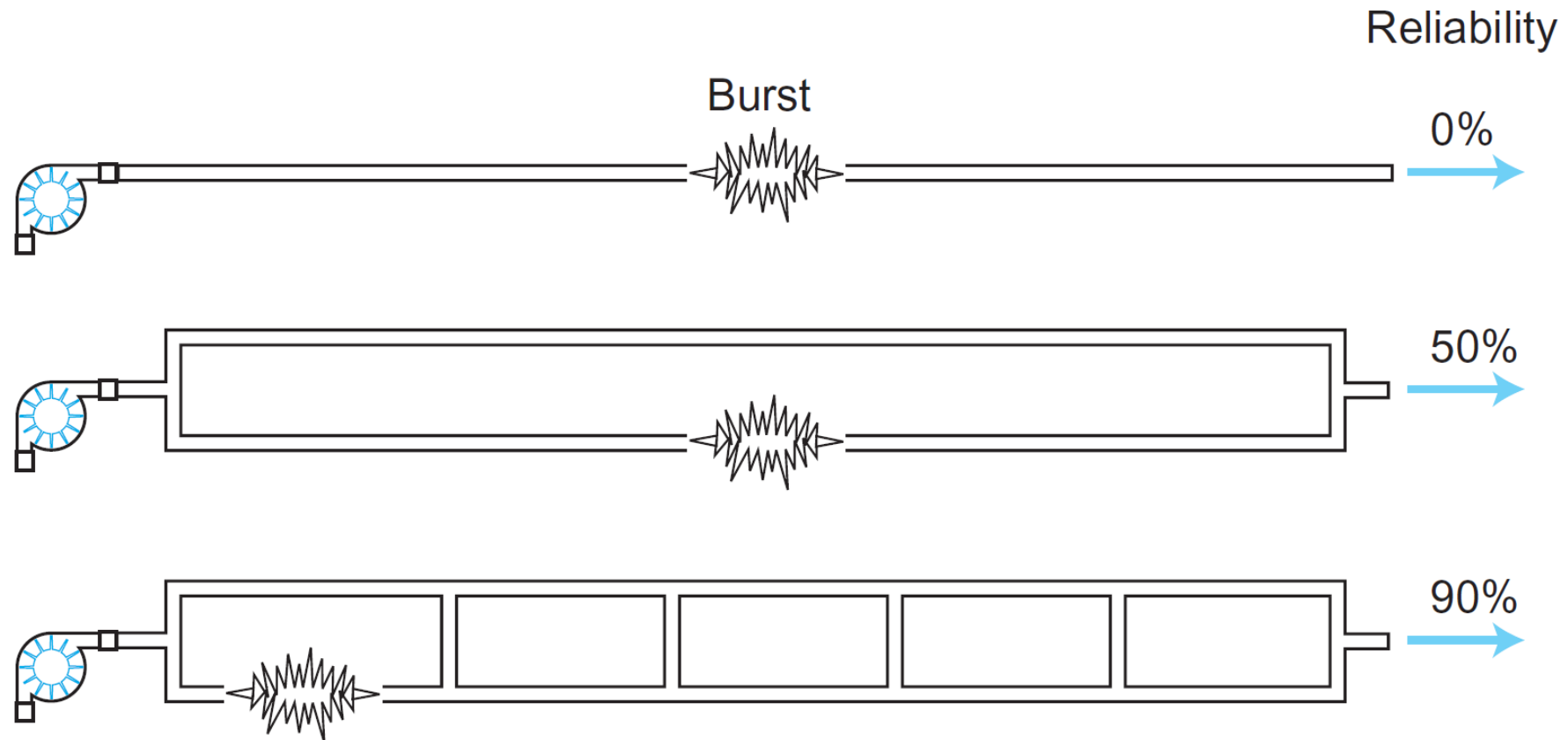


B. Looped network



C. Combined network

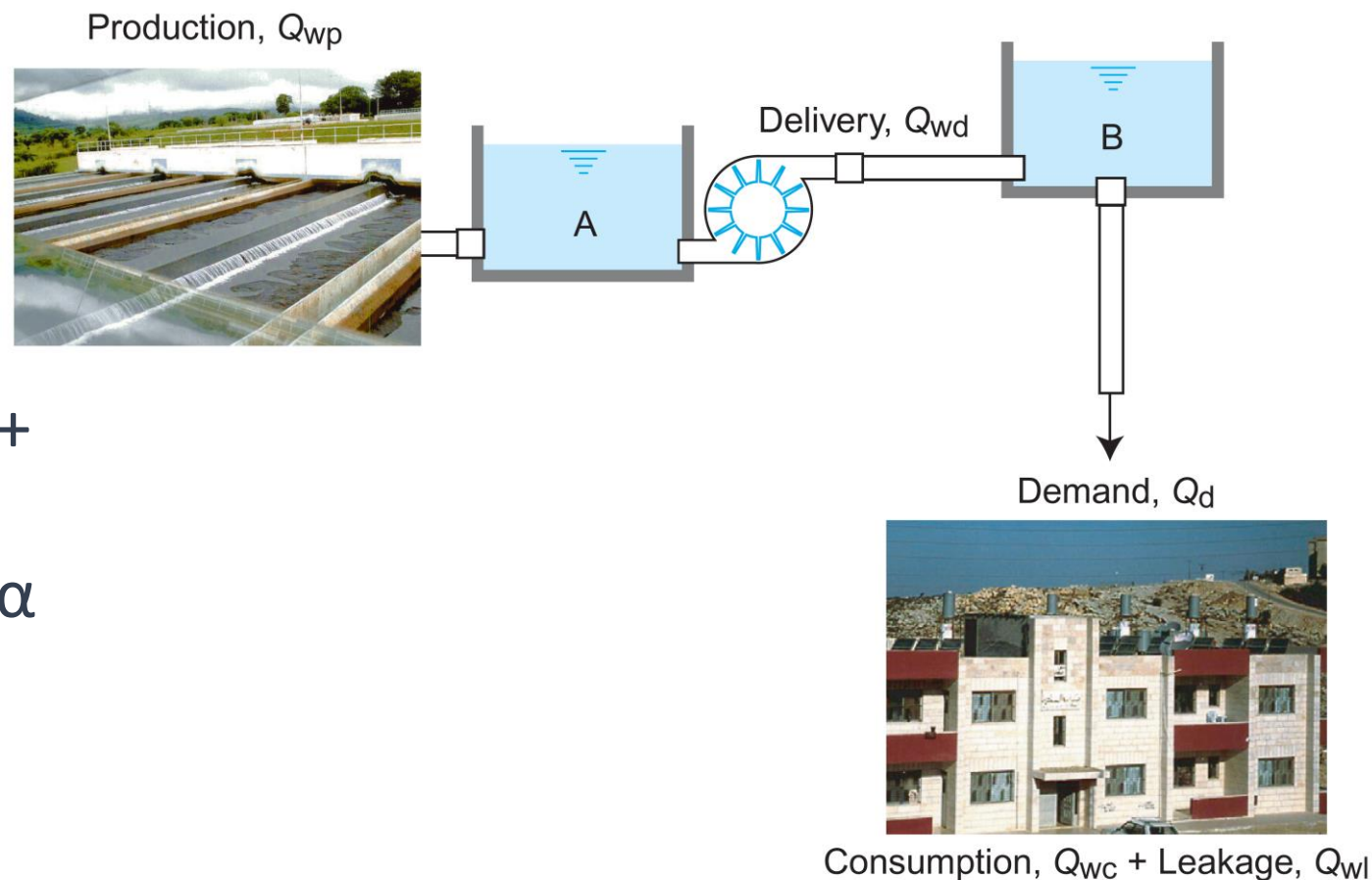
Βρόγχοι για αξιοπιστία



Ζήτηση νερού

Ροή νερού στο δίκτυο

- Η ζήτηση είναι η πραγματική κατανάλωση + διαρροές
- Διαρροές είναι η ποσότητα νερού που χάνεται με φυσικό τρόπο από το σύστημα.



Μονάδες μέτρησης ροής και ζήτησης

- Κυβικά μέτρα ανά ημέρα ($m^3/\text{ημέρα}$)
- Κυβικά μέτρα ανά ώρα (m^3/h)
- Κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m^3/s)
- Λίτρα ανά δευτερόλεπτο (l/s)

Χρήσιμο για τον υπολογισμό αυτών των απαιτήσεων κατά κεφαλήν
(συνήθως λίτρα κατά κεφαλήν ανά ημέρα)

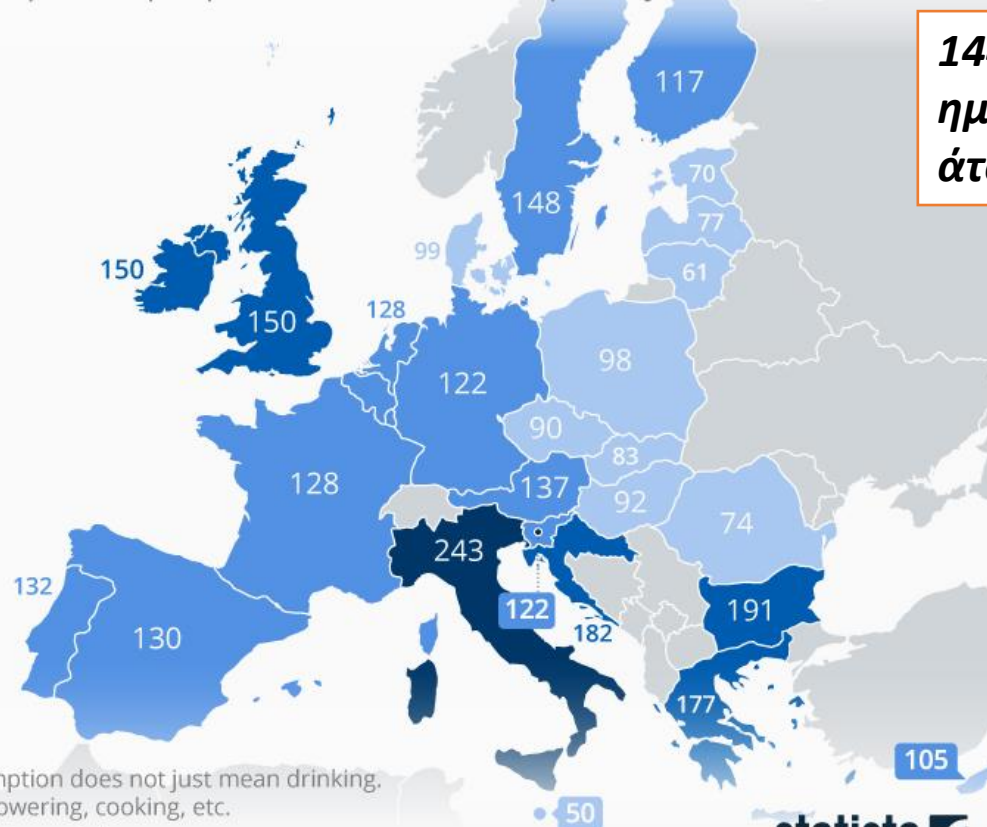
Ημερήσια κατανάλωση

Πόσα λίτρα νερό (νομίζετε) καταναλώνετε, σε καθημερινή βάση;

Ημερήσια κατανάλωση

Where Europeans Consume The Most Tap Water

Average consumption of tap water per person in the EU (litres per day)*



**144 λίτρα την
ημέρα ανά
άτομο!**

Απαισιόδοξος σχεδιασμός!

Τα δίκτυα σχεδιάζονται για το χειρότερο σενάριο:

Η πιο πολυσύχναστη ώρα της ημέρας κατά τη διάρκεια της πιο πολυσύχναστης ημέρας της εβδομάδας του λιγότερο ευνοϊκού μήνα με τον μεγαλύτερο πληθυσμό που δύναται να εξυπηρετηθεί (σε 30 χρόνια).

Υποθέτουμε ότι εάν είναι σε θέση να λειτουργήσει τη στιγμή της μεγαλύτερης ζήτησης, θα το κάνει χωρίς προβλήματα τον υπόλοιπο χρόνο.

$$f_{\text{Global}} = f_{\text{Daily}} \times f_{\text{Weekly}} \times f_{\text{Monthly}} \times f_{\text{Consumption not measured}}$$

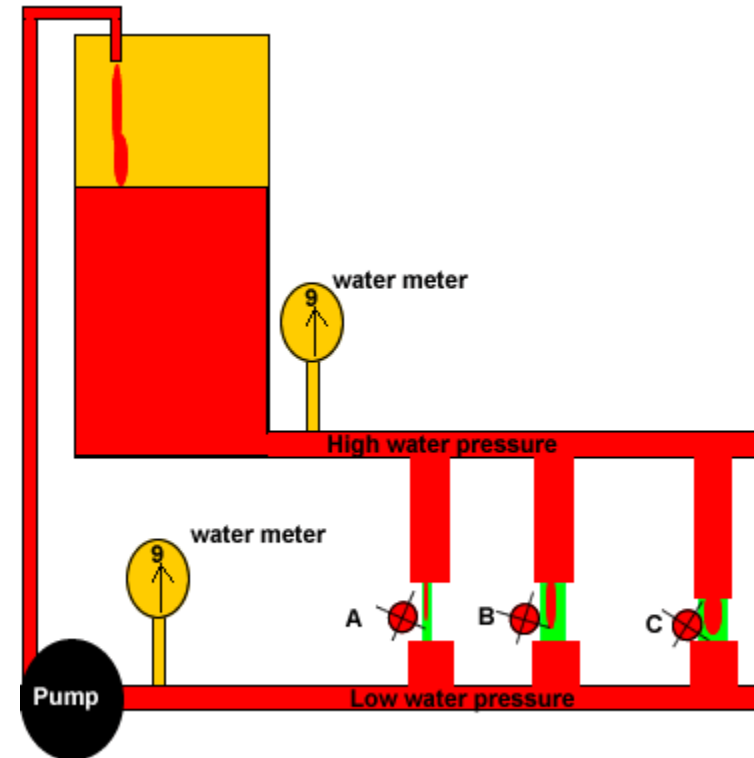
Υδραυλικά χαρακτηριστικά

Ποια μαθηματικά χρησιμοποιούμε;

- Διαφορικές εξισώσεις
 - Μοντέλο του πώς γεμίζουν οι δεξαμενές
- Αλγεβρικές εξισώσεις
 - Περιγραφή σχέσεων μεταξύ ροών και πιέσεων
- Μερικές διαφορικές εξισώσεις
 - Περιγράφουν πώς κινούνται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά
 - Περιγράφουν πώς αλλάζει η ποιότητα του νερού στο δίκτυο

Αντιστοίχιση με ηλεκτρικά κυκλώματα (όχι με ακρίβεια)

- Διαφορά πίεσης -> Τάση
- Ροή -> Ρεύμα
- Μπαταρία -> Αντλία
- Σωλήνας -> Καλώδιο με αγωγιμότητα
- Τραχύτητα αγωγού -> Αντίσταση από σύρματα
- Βαλβίδες -> Αντίσταση
- Δεξαμενή -> Πυκνωτής
- Τραχύτητα -> Αντίσταση
- Ισοδύναμοι νόμοι Kirchhoff



[https://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic analogy](https://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_analogy)

Νόμος διατήρησης της μάζας-ενέργειας

- Νόμος διατήρησης της μάζας (εξίσωση συνέχειας)
 - Οποιαδήποτε μάζα εισέρχεται στο σύστημα πρέπει να αποθηκευτεί ή να φύγει
- Νόμος εξοικονόμησης ενέργειας (Energy eq)
 - Η ενέργεια δεν χάνεται, αλλά μπορεί να μετασχηματιστεί, π.χ., λόγω τριβής
- Νόμος διατήρησης ορμής (Εξίσωση ορμής)
 - Το άθροισμα των εξωτερικών δυνάμεων ισούται με τη μεταβολή του ρυθμού ορμής

Υδραυλικές απώλειες

- Πολύ σημαντικές στη μοντελοποίηση δικτύων διανομής νερού
- Τριβή λόγω αντίστασης
- Μικρές απώλειες λόγω αναταράξεων που προκαλούνται από εμπόδια (όπως κάμψεις σωλήνων)
- Οι εκθέτες εξαρτώνται από τη μεθοδολογία

$$\Delta E = h_f + h_m = R_f Q^{n_f} + R_m Q^{n_m}$$

Παρακαλούθηση δικτύου

- Τηλεμετρία, SCADA
 - Πίεση, στάθμη νερού, ροή
 - Χλώριο, pH
- Καταγραφείς δεδομένων
- Τοπική ανάγνωση
- Δειγματοληψία



Μη τιμολογημένο νερό (Non-Revenue Water - NRW)

Authorised consumption	Billed authorized consumption	Billed metered consumption (including exported water)	Revenue water
		Billed unmetered consumption	
Water losses (UFW)	Unbilled authorized consumption	Unbilled metered consumption	Non-revenue water
		Unbilled unmetered consumption	
	Apparent losses (Commercial losses)	Unauthorised consumption	
		Metering inaccuracies	
	Real losses (Physical losses)	Leakage in transmission and distribution lines	
		Leakage and overflows at storage tanks	
		Leakage on service connections up to customer meters	

Μεθόδοι εντοπισμού διαρροών

- Αλγοριθμικά
 - Μέθοδος ελάχιστης νυχτερινής ροής
 - Άλλοι με βάση την πίεση
- Τεχνολογικά
 - Ακουστικοί ανιχνευτές
 - Σύσχετιση θορύβου διαρροής
 - Μέθοδος ανίχνευσης (π.χ., οξείδιο του αζώτου N_2O)

Προκλήσεις και ευκαιρίες

Τυπικές προκλήσεις

Παρατεταμένες ανομβρίες

Υψηλό κόστος παραγωγής
πόσιμου νερού

Μεγάλη ζήτηση
(αστικοποίηση, τουρισμός)

Νερό χωρίς έσοδα, απώλειες,
μόλυνση του νερού



Οι νέες τεχνολογίες παράγουν μεγάλο όγκο δεδομένων

Αισθητήρες (ροές, πιέσεις, παράμετροι
ποιότητας νερού)

Έξυπνοι μετρητές

Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
(GIS)



Ανάγκη παροχής λύσεων για να γίνει η λειτουργία του συστήματος πιο αποτελεσματική και αποδοτική



Ανάλυση δεδομένων και λήψη αποφάσεων

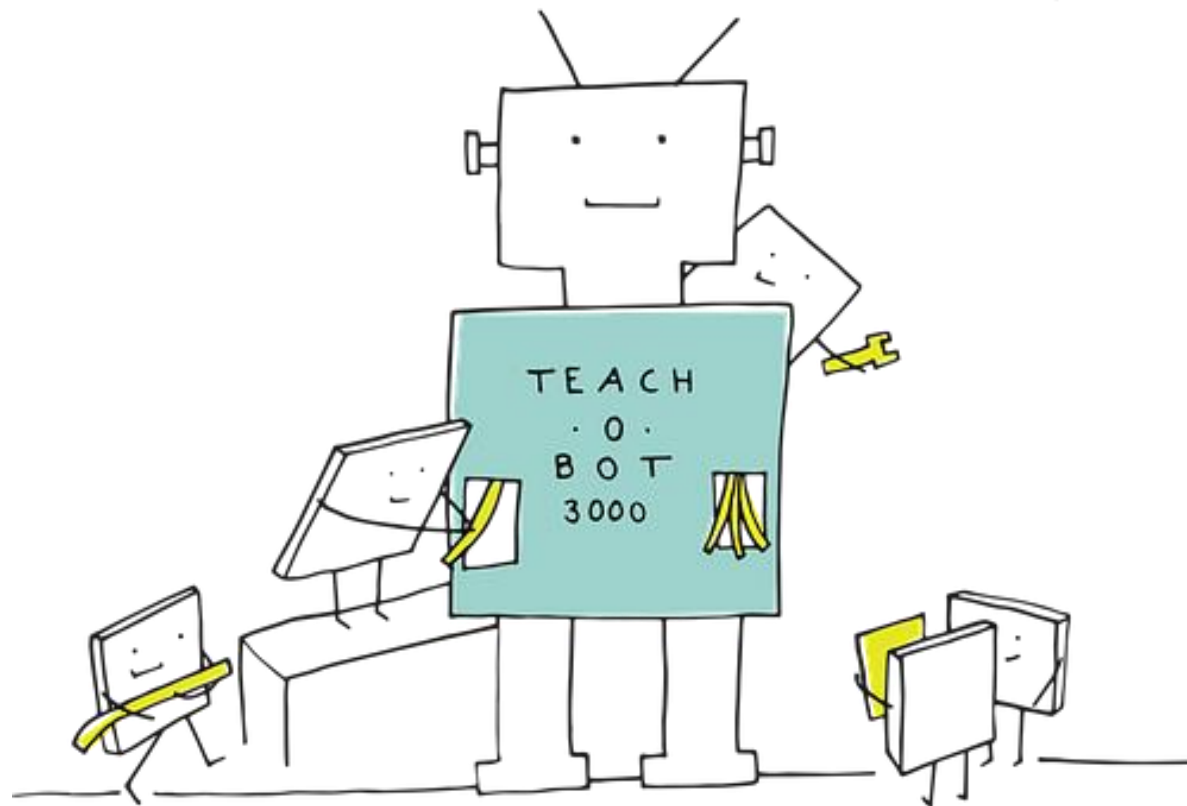


Προκλήσεις σε αποφάσεις



- Πρέπει να επισκευάσουμε μερικές βαλβίδες. Ποιους θα επηρεάσουμε;
- Σκοπεύουμε να συνδέσουμε δύο DMAs. Πώς θα αλλάξει η πίεση;
- Έχει εντοπιστεί μόλυνση του νερού. Από πού ξεκίνησε;
- Πού πρέπει να μετρήσουμε την πίεση, για να μπορέσουμε να μειώσουμε τις διαρροές;
- Πού να εγκαταστήσουμε τους αισθητήρες ποιότητας νερού που μόλις αγοράσαμε;
- Τι θα συμβεί στη λειτουργία του συστήματος μας εάν επεκτείνουμε το δίκτυο ώστε να καλύψει μια νέα περιοχή;

Μηχανική Μάθηση / Τεχνητή νοημοσύνη



Παράδειγμα χρήσης μηχανικής μάθησης

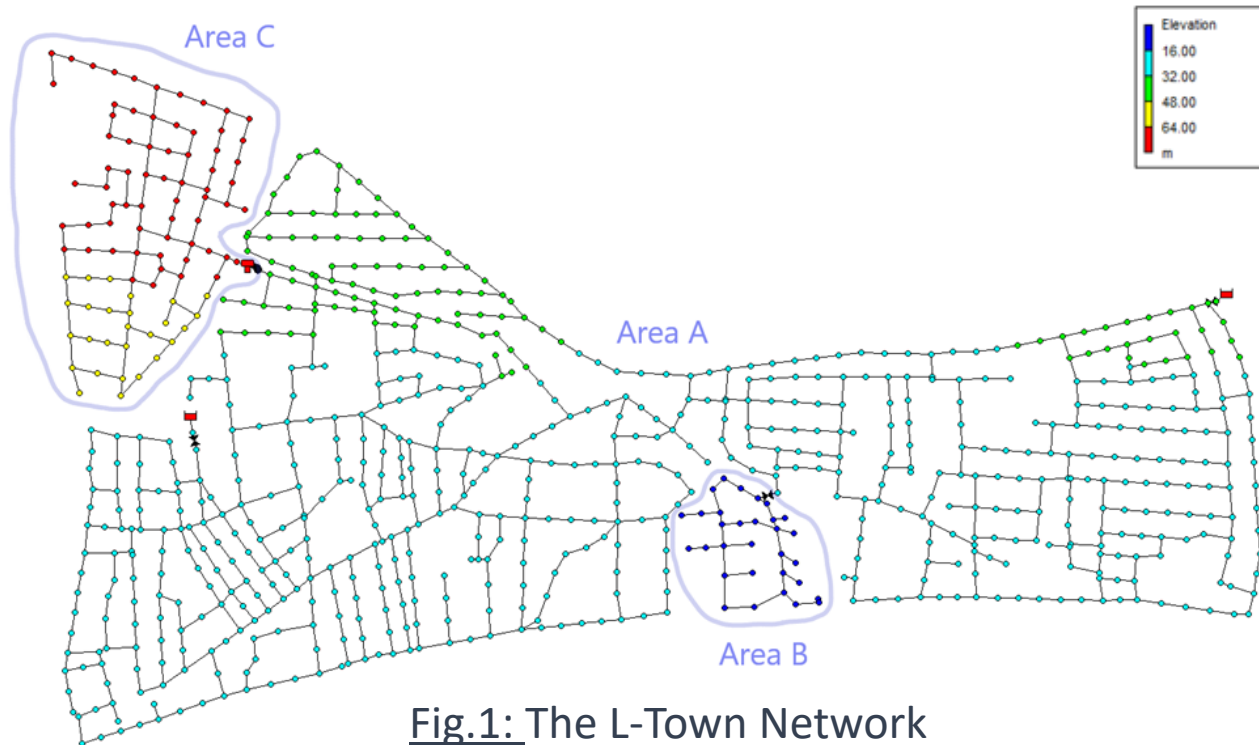


Fig.1: The L-Town Network

L-Town δίκτυο διανομής νερού ¹

Μια μικρή υποθετική πόλη, βασισμένη σε πραγματικό δίκτυο από την Κύπρο.

≈10,000 πληθυσμός

≈ 42 km μήκος αγωγών

782 συνδέσεις, 2 μονάδες αποθήκευσης, 1 δεξαμενή

905 αγωγοί, 1 αντλία, 3 PRVs (βαλβίδες ελέγχου πίεσης)

- Μας απασχολεί η “Area C” (βλ. Fig. 1).

1) S. G. Vrachimis, D. G. Eliades, R. Taormina, Z. Kapelan, A. Ostfeld, S. Liu, M. Kyriakou, P. Pavlou, M. Qiu, and M. M. Polycarpou. Forthcoming. “Battle of the Leakage Detection and Isolation Methods,” Journal of Water Resources Planning and Management, 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001601

Παράδειγμα χρήσης μηχανικής μάθησης

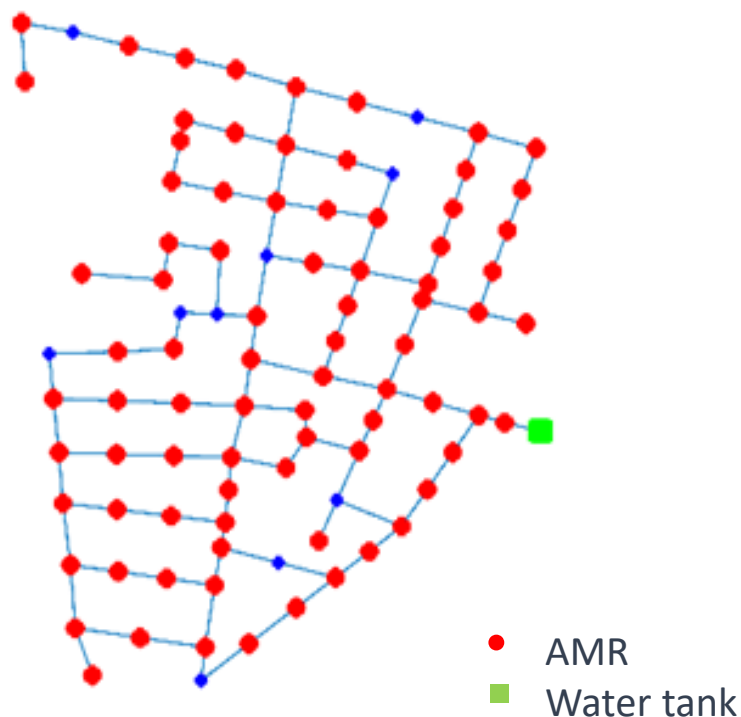


Fig.2: AMR locations in “Area C” of L-Town. Nodes coloured in blue do not have AMRs installed.

Area C of L-Town

Διαθέτει τους πιο κάτω αισθητήρες-μετρητές:

- 1 αισθητήρας στάθμης νερού δεξαμενής
- 1 αισθητήρας ροής
- 3 αισθητήρες πίεσης
- 82 έξυπνοι μετρητές(AMR) (βλ. Εικ. 2).

Μετάδοση κάθε 5 λεπτά στο SCADA.

Παράδειγμα χρήσης μηχανικής μάθησης

Στόχος:

Ανάλυση δεδομένων με εργαλεία που βασίζονται σε AI, χρησιμοποιώντας μετρήσεις από αισθητήρες και την τοπολογία του δικτύου διανομής νερού.

Χρήση:

- > Υφιστάμενο μοντέλο δικτύου (EPANET)
- > Ιστορικά δεδομένα του 2018 από πραγματικές μετρήσεις.
- > Γλώσσα προγραμματισμού Python



Παράδειγμα χρήσης μηχανικής μάθησης

- Φόρτωση μοντέλου (EPANET file).

Λήψη ιστορικών δεδομένων από SCADA.

Επικύρωση και ανακατασκευή δεδομένων.

Υπολογισμός κατάστασης (state) του δικτύου χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες μετρήσεις.

Υπολογισμός «ψευδομετρήσεων» για κόμβους που δεν μετράμε.

Εκτίμηση κατάστασης με επίλυση υδραυλικών εξισώσεων. (Μέθοδος Todini και Pilati)

```
In [1]: import Load_model as lm

# Filename of network (inp file)
network_inp = 'Data/L-TOWN.inp'

#Load L-Town model
wn = lm.load_model(network_inp)

#Plot
lm.plot_model(wn)

#Describe
lm.describe_model(wn)
```

Map of the water network



There are total of 785 Nodes and 909 Links in this network.

In particular, Nodes are categorised into:
{ 'Junctions': 782, 'Tanks': 1, 'Reservoirs': 2 }

and Links into:
{ 'Pipes': 905, 'Pumps': 1, 'Valves': 3 }

Παράδειγμα χρήσης μηχανικής μάθησης

- ✓ Φόρτωση μοντέλου (EPANET file).
- Λήψη ιστορικών δεδομένων από SCADA.

Επικύρωση και ανακατασκευή δεδομένων.

Υπολογισμός κατάστασης (state) του δικτύου χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες μετρήσεις.

Υπολογισμός «ψευδομετρήσεων» για κόμβους που δεν μετράμε.

Εκτίμηση κατάστασης με επίλυση υδραυλικών εξισώσεων. (Μέθοδος Todini και Pilati)

```
In [2]: import L_TOWN_data as ltown

# Filenames of SCADA data
demand_filename='Data/2018_SCADA_Demands.csv'
pressure_filename='Data/2018_SCADA_Pressures.csv'
flow_filename='Data/2018_SCADA_Flows.csv'
level_filename='Data/2018_SCADA_Levels.csv'

DMA_name='DMA_C'

#Load L-Town measurements
df_node,df_link=ltown.load_data(demand_filename,pressure_filename,flow_filename,level_filename,DMA_name)
```

```
In [3]: import matplotlib.pyplot as plt

df_node.loc[(df_node.Element=='T1') & (df_node.index<='02-01-2018')].plot(legend=False,title='Measurements of Tank T1')
plt.ylabel("Level (m)")
plt.show()
```

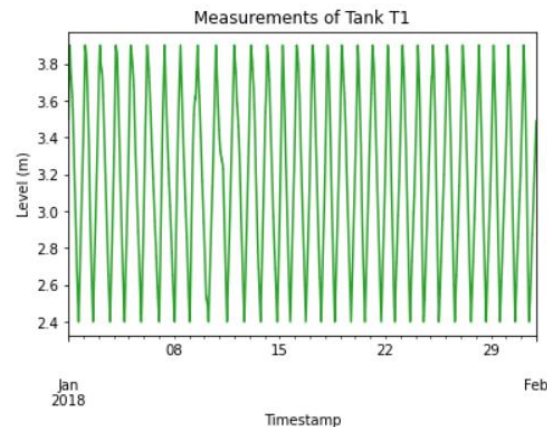


Fig.3: Water tank level sensor of T1 in January 2018. The tank is refilling during the night and emptying to “Area C” during the day.

Παράδειγμα χρήσης μηχανικής μάθησης

- ✓ Φόρτωση μοντέλου (EPANET file).
- ✓ Λήψη ιστορικών δεδομένων από SCADA.
- Επικύρωση και ανακατασκευή δεδομένων.
- Ύπολογισμός κατάστασης (state) του δικτύου χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες μετρήσεις.

Υπολογισμός «ψευδομετρήσεων» για κόμβους που δεν μετράμε.

Εκτίμηση κατάστασης με επίλυση υδραυλικών εξισώσεων. (Μέθοδος Todini και Pilati)

```
In [4]: import Data_reconstruction as dr

# Data validation and reconstruction
t_res=15 # in minutes
df_node=dr.recon(df_node,t_res)
df_link=dr.recon(df_link,t_res)
```

```
In [5]: import Create_state as cs

#Create states of the network
d_state,h_state,q_state=cs.network_states(wn,df_node,df_link)
```

```
In [6]: import matplotlib.pyplot as plt

h_state[['n1']].loc[(h_state.index<='02-01-2018')].plot(legend=False,title='State of junction n1')
plt.ylabel("Pressure head (mH2O)")
plt.show()
```

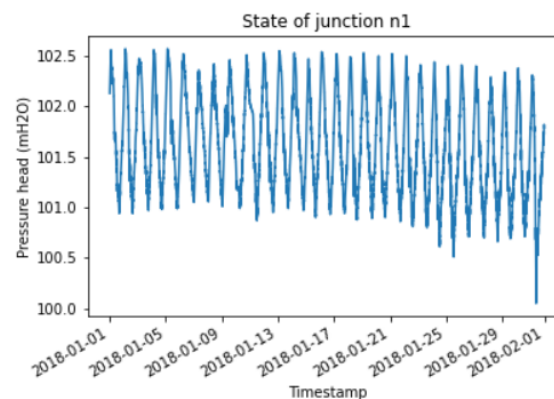


Fig.4: Pressure head (elevation + pressure measurement) of junction n1 in January 2018. A pressure sensor is installed in junction n1.

Παράδειγμα χρήσης μηχανικής μάθησης

- ✓ Φόρτωση μοντέλου (EPANET file).
- ✓ Λήψη ιστορικών δεδομένων από SCADA.
- ✓ Επικύρωση και ανακατασκευή δεδομένων.
- ✓ Υπολογισμός κατάστασης (state) του δικτύου χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες μετρήσεις.
- Υπολογισμός «ψευδομετρήσεων» για κόμβους που δεν μετράμε.
- Εκτίμηση κατάστασης με επίλυση υδραυλικών εξισώσεων. (Μέθοδος Todini και Pilati)

2) E. Todini and S. Pilati, "A Gradient Algorithm for the Analysis of Pipe Networks. Computer Applications in Water Supply, 1988, pp. 1-20.

In [7]:

```
import demand_pseudo as dp

# Use median of nearest measurements in nodes with non demand
mode='Neighbour_median'

# Create demand pseudo-measurements
d_state=median_neighbour(wn,d_state,mode)
```

In [8]:

```
import State_Estimation as se

# State estimation
h_state,q_state=static_estimation(wn,d_state,h_state,q_state)
```

In [10]:

```
import matplotlib.pyplot as plt

h_state[['n2']].loc[(h_state.index<='02-01-2018')].plot(legend=False,title='State estimation of junction n2')
plt.ylabel("Pressure head (mH2O)")
plt.show()
```

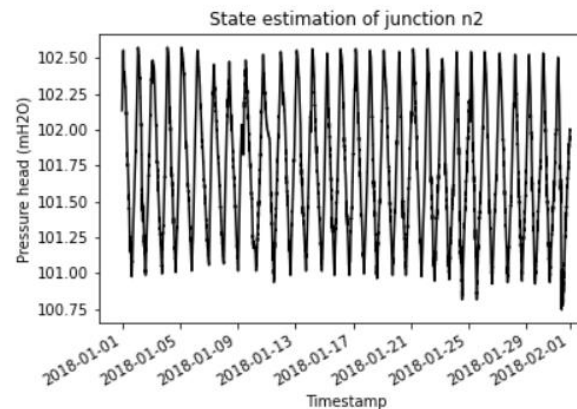
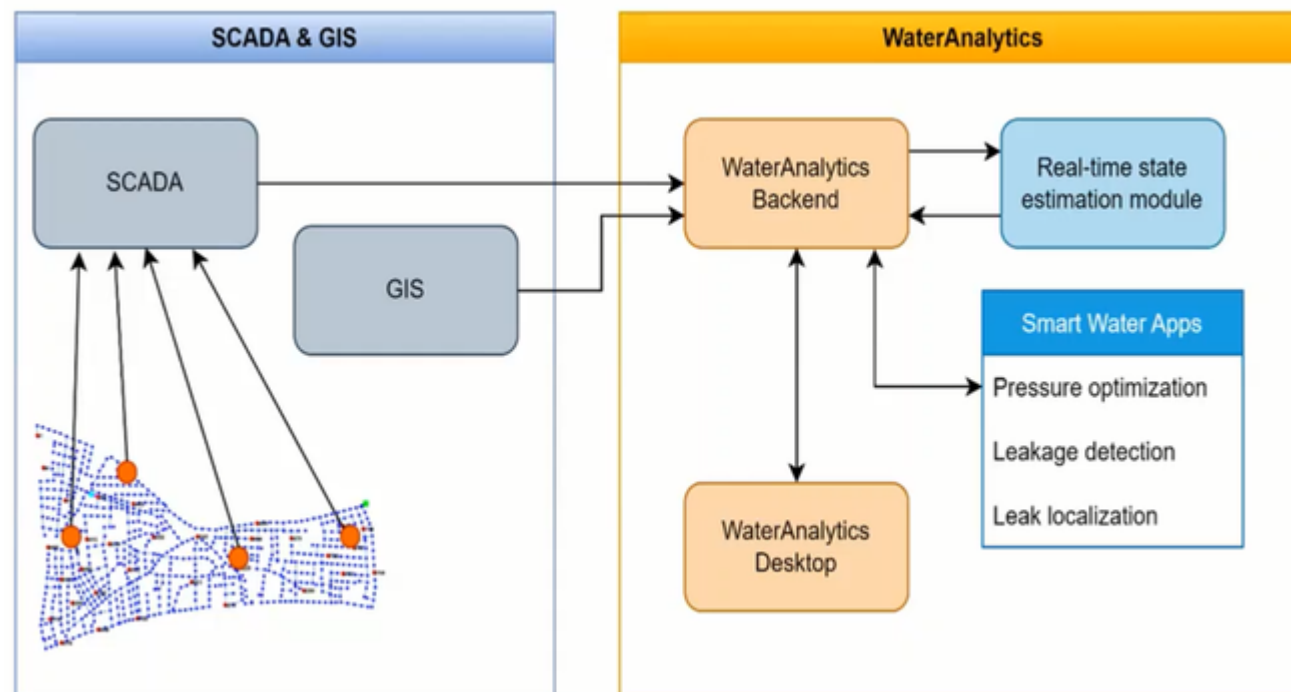


Fig.5: Estimated pressure head (elevation + pressure estimation) of junction n2 in January 2018. No pressure sensor was installed in junction n2.

IoT-based Digital Twin for Water Systems

- Αξιόπιστη λήψη αποφάσεων, βελτιωμένη απόδοση:
 - Εγκατάσταση αισθητήρων στις βέλτιστες θέσεις
 - Ενσωμάτωση μοντέλων GIS και υποδομών ανίχνευσης διαρροών
 - Υπολογισμός κατάστασης δικτύου (υδραυλικά και ποιότητα) σε μη μετρημένες θέσεις → εικονικοί αισθητήρες
 - Δίδυμο μαθηματικό μοντέλο του συστήματος
 - Χρήση έξυπνων εφαρμογών για να απαντήσουμε σε ερωτήσεις διαχείρισης.



Έξυπνες εφαρμογές μηχανικής μάθησης



1. Model reduction
2. Hydraulic state estimation
3. Water quality state estimation
4. Pressure control for leakage reduction
5. Water quality sensor placement
6. Pressure sensor placement
7. Network pipe length (grouped by diameter)
8. Pipe burst risk assessment

Hydraulic state estimation

Οι μετρήσεις των αισθητήρων μπορεί να μην "συμφωνούν" πάντα με το μαθηματικό-τοπολογικό μοντέλο

Βήμα 1

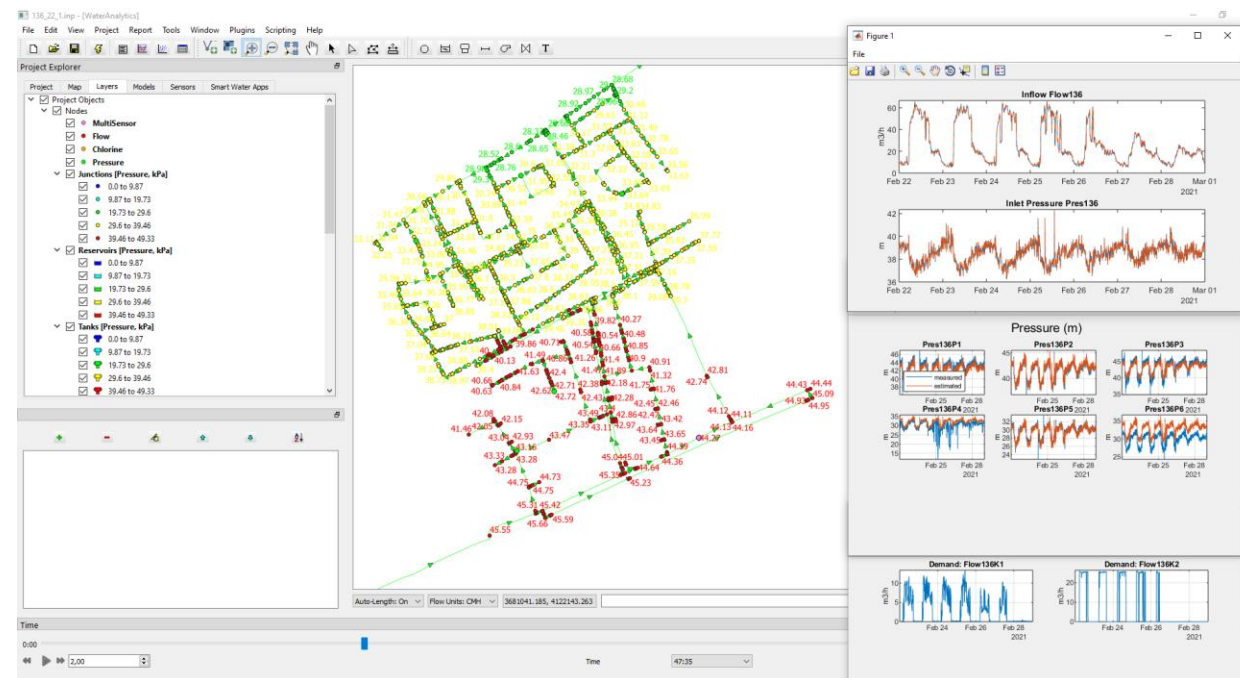
Όλες οι μετρήσεις του αισθητήρα (ροή, πίεση) χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση του μοντέλου



Τα μοντέλα ενημερώνονται αυτόματα!

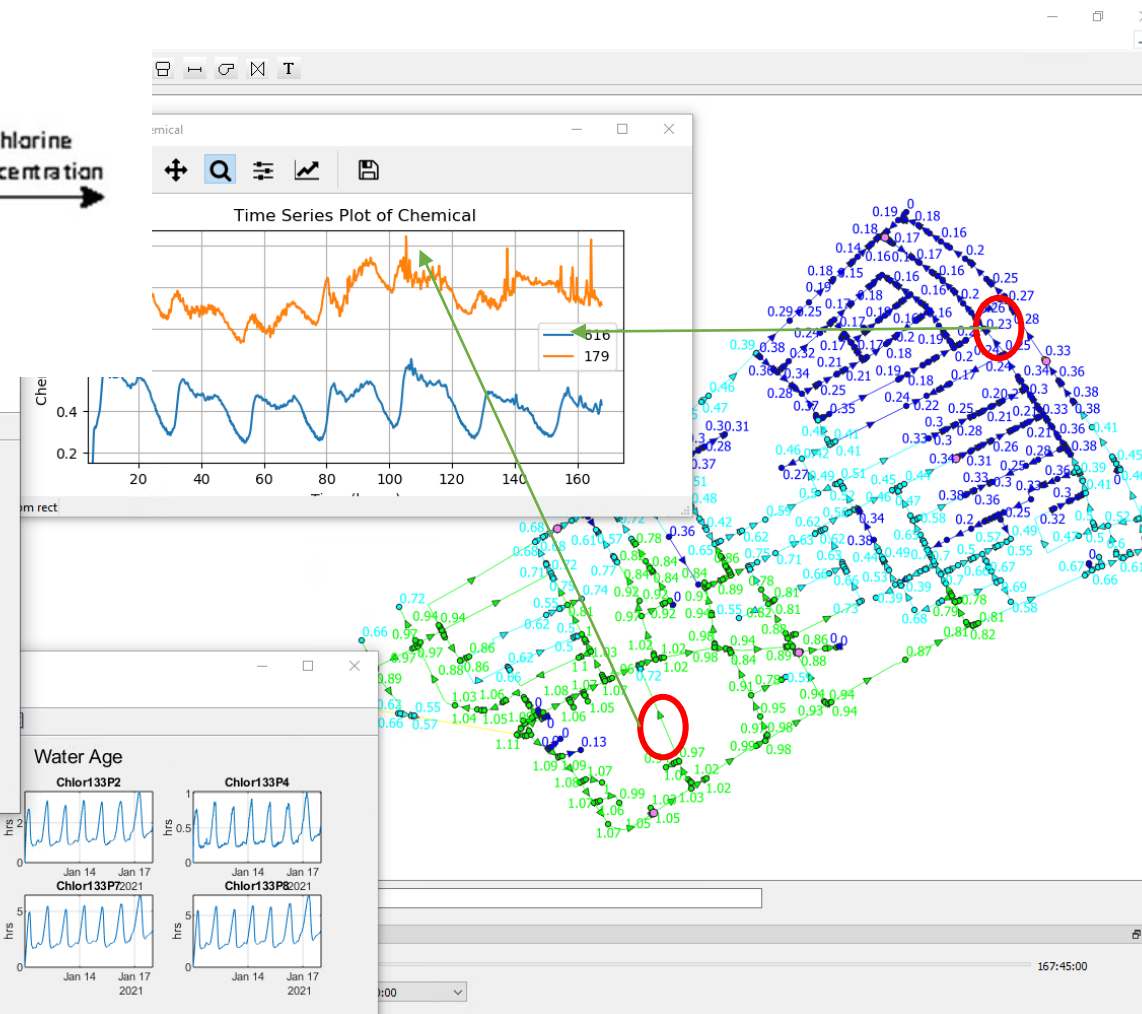
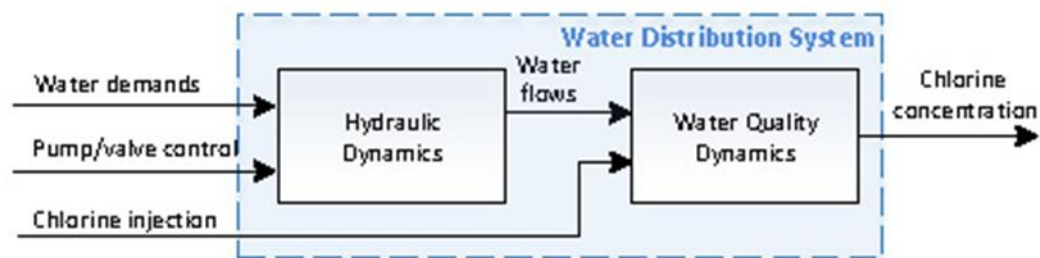
Βήμα 2

Το βαθμονομημένο μοντέλο και οι νέες μετρήσεις αισθητήρων συνδυάζονται για να δώσουν την πλήρη εικόνα του δικτύου (ακόμη και τοποθεσίες χωρίς αισθητήρες)



Water Quality state estimation

133 quality.ino - [WaterAnalytics]



Model segmentation

Μείωση μοντέλου:

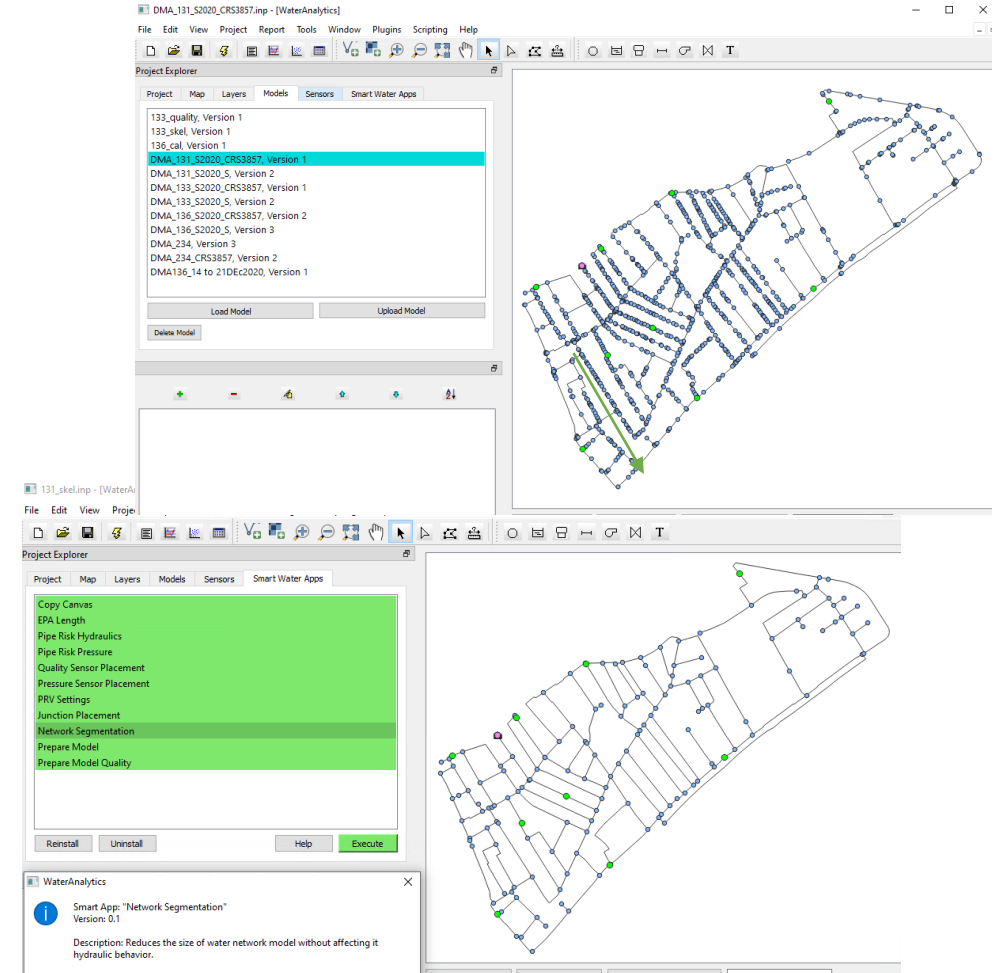
- Διευκολύνει τη διαχείριση μεγάλης κλίμακας δικτύων
- Μειώνει τον χρόνο προσομοίωσης

Σκοπός:

- Μείωση της πολυπλοκότητας χωρίς να επηρεάζονται (σημαντικά) οι υδραυλικές ιδιότητες του μοντέλου και/ή οι ιδιότητες ποιότητας του νερού

Κριτήρια:

- Διατήρηση της κατανομής της ζήτησης
- Διατήρηση των χαρακτηριστικών των αγωγών (π.χ., διάμετρος)
- Διατήρηση χαρακτηριστικών τοπολογίας (π.χ., υψόμετρο)



Sensor placement

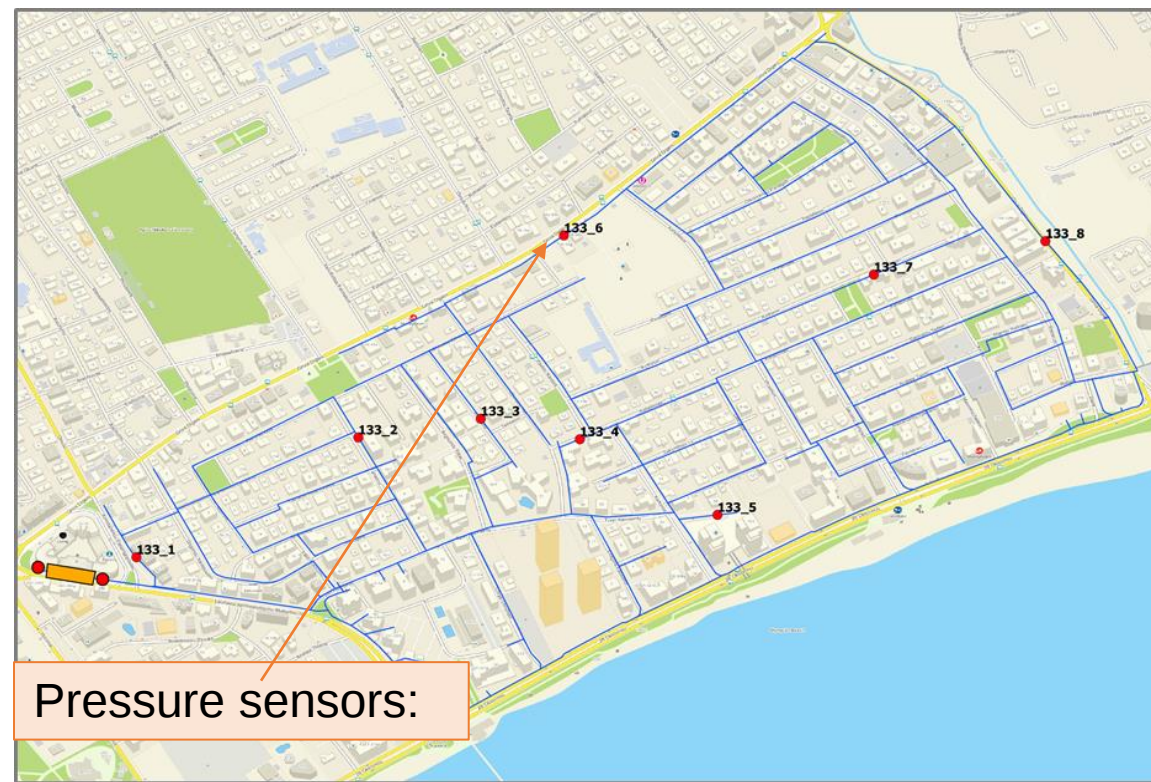
- Βελτιωμένη παρακολούθηση δικτύου για προηγμένες εφαρμογές
- Χρήση του διαθέσιμου υδραυλικού μοντέλου λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα

Στόχοι:

- Ελαχιστοποίηση του αριθμού των αισθητήρων
- Μεγιστοποίηση της ικανότητας παρακολούθησης για ανίχνευση διαρροών

Μεθοδολογία:

- Μοντελοποίηση ευαισθησίας πίεσης δικτύου
- Βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων με χρήση γενετικών αλγορίθμων



Διαδικτυακές πλατφόρμες

Dashboard

Dashboard

Network Management

Component Management

Export

WaterInsights

Tanks

Flow Meters

Loggers

Alarms 3

gmilis

Components

Flow Meter components

Μετρητής Δεξαμενής

01057013

Flow Cubic Meters

Flow rate Cubic meters per hour

Μετρητής Διάτρησης

a1be43b7-f8c8-4e7f-b2b6-7484040570de

Flow Cubic Meters

Flow rate Cubic meters per hour

Μετρητής TAY

c19b1dbe-f965-41ed-a01b-eb39d4adc8b7

Flow Cubic Meters

Flow rate Cubic meters per hour

Level Sensor components

Αισθητήρας στάθμης

28e62a89-1aa7-43a8-8703-ffce8ce8cb3d

Dashboard

Dashboard

[/ Components](#)

Flow Meter components

Μετρητής Δεξαμενής

01057013

Update threshold

Update threshold for Outflow — Flow (Cubic Meters) per hour

Low: High:

☐ Alarm enabled

If enabled, an alarm will be raised when the value is outside the thresholds

Duration:

An alarm is triggered only if the measurement is out of bounds for longer than the duration value (in minutes). If duration is set to 0, then an alarm is triggered immediately.

DeleteUpdate

Μετρητής Διάτρησης

a1be43b7-f8c8-4e7f-b2b6-7484040570de

Flow Cubic Meters **12944.70** an hour ago

Flow rate Cubic meters per hour **0.00** an hour ago

Μετρητής Διάτρησης
a1be43b7-f8c8-4e7f-b2b6-7484040570de

Flow Cubic Meters **12944.70** an hour ago

Flow rate Cubic meters per hour **0.00** an hour ago

20
15
10
5
0

10:15 10:30 10:45 11:00 11:15 11:30 11:45 12:00 12:15 12:30

Μετρητής TAY

c19b1dbe-f965-41ed-a01b-eb39d4adc8b7

Flow Cubic Meters

Flow rate Cubic meters per hour

Διαχείριση τοπολογίας δικτύου

Dashboard
Network Management
Component Management
Export
WaterInsights
Tanks
Flow Meters
Loggers
Alarms 3
gmilis

/ Network Management /
Δεξαμενή

Δεξαμενή

Tank

Search...

Tank fields
elevation: 0.0
max_level: 0.0
diameter: 0.0

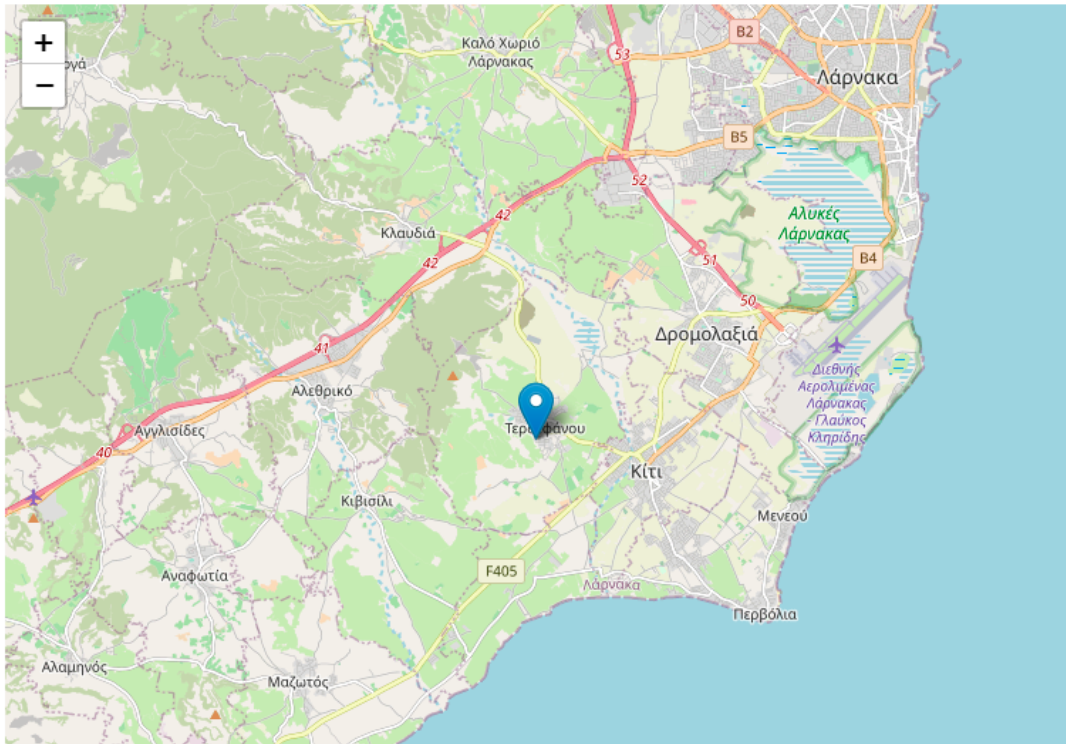
Pipe (starts_from)
-

Pipe (ends_to)
-

Inlet (part_of)
Inlet 1

Outlet (part_of)
Outlet 1

Components

Location


www.phoebeinnovations.com

Έξυπνες εφαρμογές

Dashboard

Network Management

Component Management

Export

WaterInsights

Tanks

Flow Meters

Loggers

/ WaterInsights™

Download reports

Tank flow report

List tank flow measurements and hourly difference. The report outputs hourly records for a specific day.

[Request report](#)

Water meter flow report

List flow meter readings and daily consumption. The report outputs daily records for a specific month.

[Request report](#)

Water meter flow report (day)

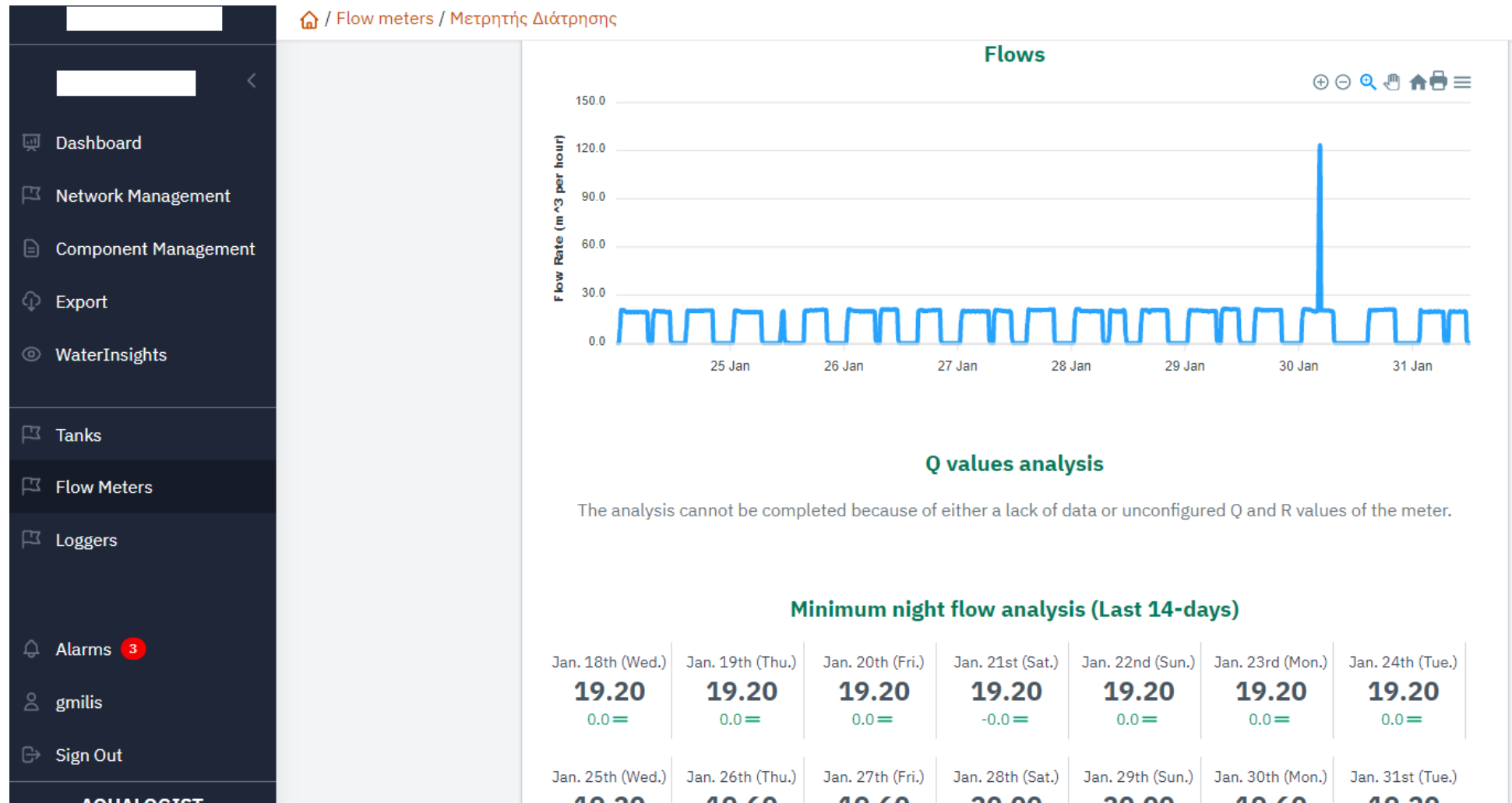
List flow meter readings and consumptions. The report outputs records for a specific day.

[Request report](#)

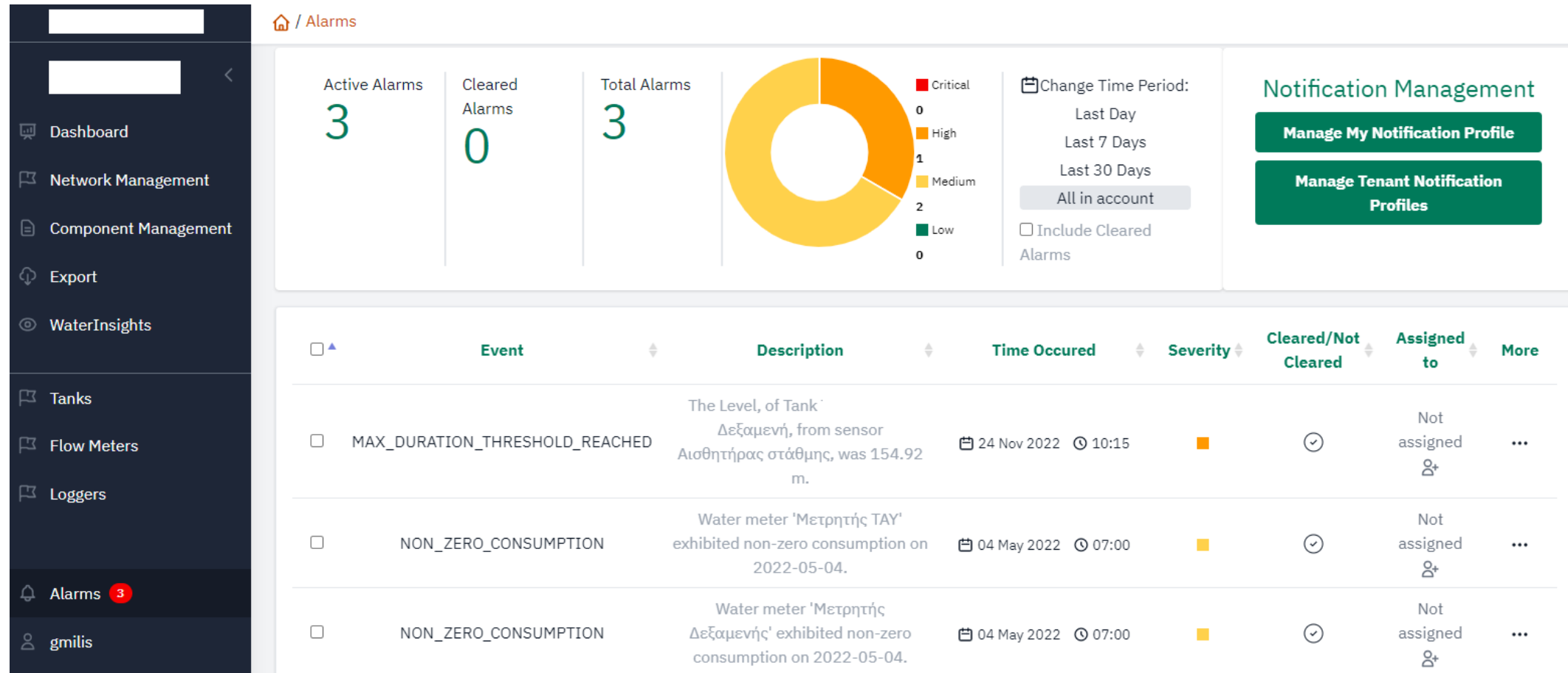
Non-zero con

Set the parameters f consumption algorith

Έξυπνες εφαρμογές



Ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο



Έρευνα στην Ευρώπη



Pathogen Contamination Emergency Response Technologies

Εργαλεία και υποδομές



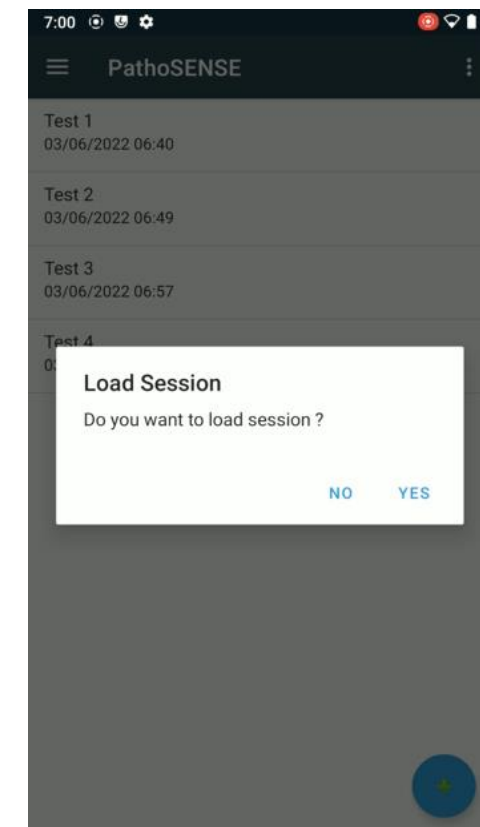
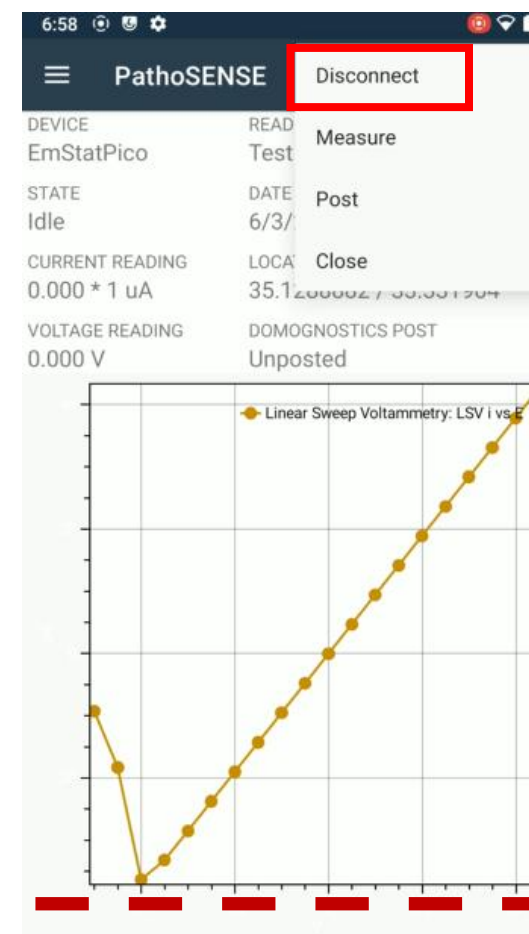
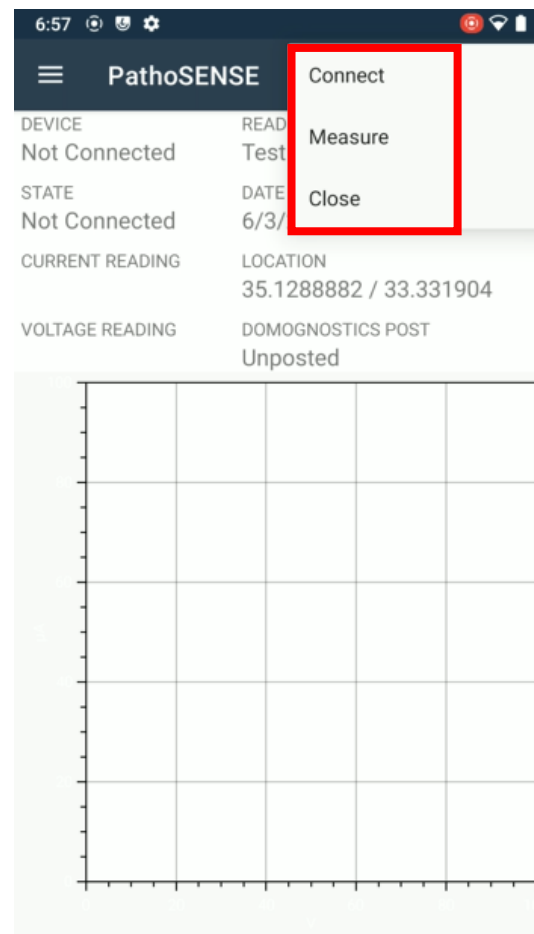
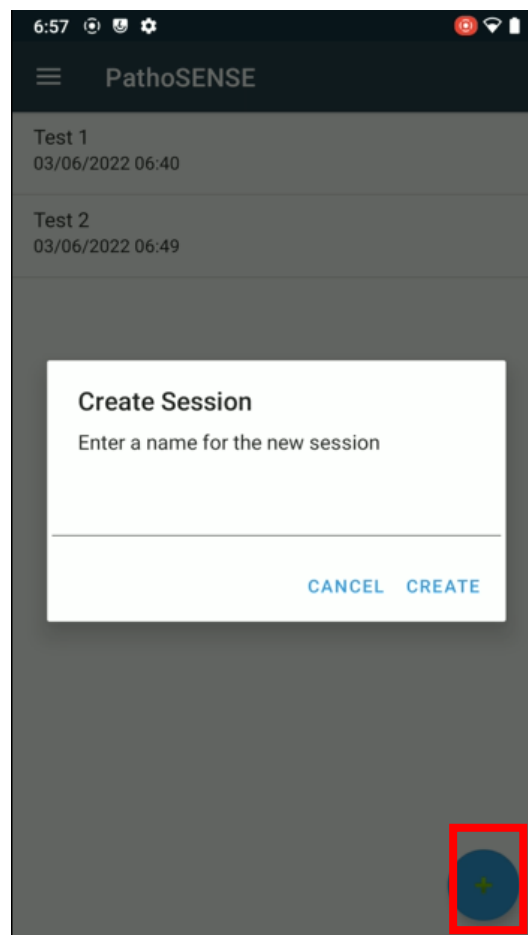
Εξοπλισμός



**WisGate Edge Max
LoRaWAN Outdoor
Gateway 8 channel with
Cat 4 Cellular + GPS for
EU868 region**



Εφαρμογές



Earth Observation

Earth Observation WQeMS



The evolution of Copernicus Services towards a targeted add-on to the EMS for Water Quality Emergency Monitoring for open surface water reservoirs used for the production of drinking water by the water utilities industry



Slow developing phenomena
(business-as-usual scenario), such as geogenic or anthropogenic release of potentially polluting elements through the bedrock or pollutants' leaching in the underground aquifer through human activities

1 **Water quality features' changes**

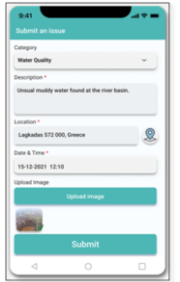
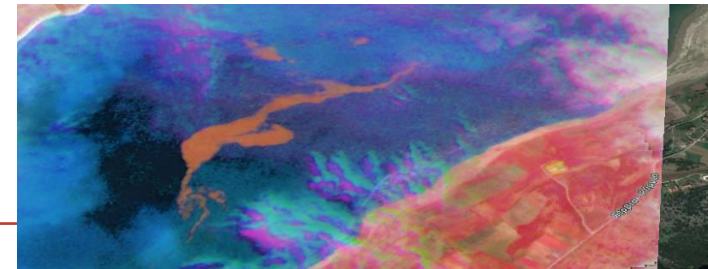
2 **Land-water transition zone change detection**



Fast developing phenomena, such as floods spilling debris and mud or chemicals/ oils spills or algal bloom and potential release of toxins by cyanobacteria at a short time interval bringing sanitation utilities at the edge of their performance capacity

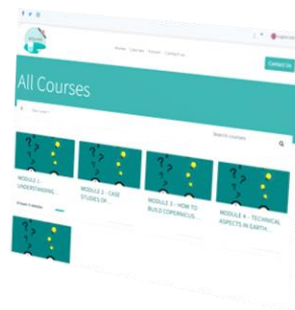
3 **Bloom events detection**

4 **Extreme events detection**



5 **Alerting Module**

6 **User Training**



Water Data Spaces



WATERVERSE

- Συμβολή στο στόχο της ΕΕ να γίνει μια παγκοσμίως ελκυστική, ασφαλής και δυναμική οικονομία δεδομένων
- Πρώτος στο είδος του χώρος δεδομένων για τα συστήματα νερού.
- Ευρωπαϊκή ενιαία αγορά δεδομένων,
- Αξιόπιστα οικοσυστήματα τεχνητής νοημοσύνης
- Τεχνολογίες Smart Water Network.

Αξιολόγηση



Τι σας άρεσε και τι θα θέλατε να το βελτιώσουμε;

Ευχαριστώ για το χρόνο σας!

Επικοινωνία:
george.milis@phoebeinnovations.com

