Αξιολόγηση τεχνολογιών και δυνατοτήτων τηλεματικής στο δίκτυο του Συμβουλίου Υδατοπρομήθειας Λευκωσίας

(AMR, PRV, WQS, PRESSURE LOGGERS)

Το έργο συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαική Ένωση και Εθνικούς Πόρους των χωρών που συμμετέχουν

Δρ. Συμεών Χριστοδούλου
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ | NIREAS-IWRC

® Dr. Symeon Christodoulou
University of Cyprus
Nireas International Water Research Center

August 2020

Όροι Εντολής

Το Συμβούλιο Υδατοπρομήθειας Λευκωσίας (ΣΥΛ), στην προσπάθεια του να βελτιώσει τις υπηρεσίες που προσφέρει στους καταναλωτές του και στο ευρύ κοινό, επιθυμεί να ενημερώνεται και να συμβουλεύεται από την επιστημονική κοινότητα και τους ειδικούς στα θέματα διαχείρισης νερού για τις τεχνολογικές εφαρμογές και καινοτομίες που θα συμβάλουν στην προσπάθεια αυτή.

Το ΣΥΛ, στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του, ανάθεσε στο Ερευνητικό Κέντρο Νερού «Νηρέας» την παροχή των πιο κάτω υπηρεσιών εξωτερικής εμπειρογνωμοσύνης για τις ανάγκες του ερευνητικού προγράμματος *WATenERgy*, στο οποίο το ΣΥΛ συμμετέχει ως εταίρος και αφορά στην εφαρμογή καινοτομιών στο δίκτυο υδροδότησης. Το πρόγραμμα συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το ΣΥΛ.

- Αξιολόγηση/αξιοποίηση των πιο κάτω πιλοτικών εφαρμογών του ΣΥΛ, για περίοδο 4 μηνών:
    - Σύστημα AMR 720 περίπου οικιακών και κεντρικών υδρομετρητών στη κοινότητα και στη βιομηχανική περιοχή Εργατών, και διάταξη 5 καταγραφικών πίεσης.
    - Σύστημα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας σε 5 σημεία του δικτύου.
    - Διάταξη παρακολούθησης ποιοτικών χαρακτηριστικών στο δίκτυο.
    - «Έξυπνος» ρυθμιστής πίεσης σε περιοχή ύδρευσης κοντά στο Πανεπιστήμιο Κύπρου.
- Παρακολούθηση σε συνεργασία με την Υπηρεσία του ΣΥΛ της λειτουργίας των εφαρμογών, ανάλυση και αξιολόγηση δεδομένων που λαμβάνονται από τις εφαρμογές αυτές κατά πόσο θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην διαχείριση συστημάτων ύδρευσης, και ενημέρωση του ΣΥΛ ανάλογα με τις απαιτούμενες ενέργειες σωστής διαχείρισης της λειτουργίας του συστήματος ύδρευσης. Σημειώνεται ότι τα συστήματα έχουν τη δυνατότητα αποστολής προειδοποίησης για πιθανές αστοχίες ή παρεκκλίσεις από τις απαιτούμενες παραμέτρους.
- Υποβολή εισηγήσεων για βελτιώσεις που θα βοηθούσαν στην αναβάθμιση των εφαρμογών.
- Καταγραφή πιθανών αδυναμιών/μειονεκτημάτων των εφαρμογών.
- Υποβολή σχετικής έκθεσης με τη λήξη της περιόδου αναφοράς.
- Ετοιμασία επιστημονικού υλικού για τα ευρήματα από τις εφαρμογές για σκοπούς έκθεσης και διάχυσης του προγράμματος, και παρουσίαση τους σε εκδήλωση εργαστήρι/συνέδριο που θα διοργανωθεί στα πλαίσια του προγράμματος.

Σημειώνεται ότι, όλες οι εφαρμογές έχουν ήδη ολοκληρωθεί και τα δεδομένα μπορούν να παρακολουθούνται από το διαδίκτυο. Σημειώνεται επίσης ότι τα λογισμικά των εφαρμογών έχουν τη δυνατότητα να εισάγουν παραμέτρους παρακολούθησης ανάλογα με τις ανάγκες που εξυπηρετούν και αποστέλλουν μηνύματα για αποκλίσεις.

Σύνοψη

Είναι γενικά αποδεκτό ότι το Συμβούλιο Υδατοπρομήθειας Λευκωσίας (ΣΥΛ) διαχρονικά πρωτοπορεί σε εθνικό και διεθνές επίπεδο όσον αφορά πρακτικές αύξησης της αξιοπιστίας του δικτύου του, της μείωσης του ατιμολόγητου νερού (*non-revenue water, NRW*) και των διαρροών (*water leaks*) σε αυτό. Τα τελευταία χρόνια, το ΣΥΛ διερευνά επέκταση των πρακτικών του και είναι σε διαρκή αναζήτηση νέων τεχνολογιών για πιλοτική εφαρμογή και ει δυνατόν ευρεία υιοθέτηση τους. Ανάμεσα στις τεχνολογίες που αξιολογούνται προς υιοθέτηση είναι οι 'έξυπνοι υδρομετρητές' και πλατφόρμα τηλεδιαχείρισης τους (*automatic meter reading, AMR, platform*), οι 'έξυπνες βαλβίδες πίεσης' (*pressure-reducing valves, PRV*) και τα καταγραφικά πίεσης (*pressure loggers, PL*), και οι αισθητήρες για εξ αποστάσεως παρακολούθηση δεικτών απόδοσης του δικτύου (π.χ. πίεσης, χλωρίου, ποιότητας νερού, κλπ.).

Η παρούσα έκθεση αξιολογεί κάποιες από αυτές τις πιλοτικές εφαρμογές στο ΣΥΛ, **εστιάζοντας πρωτίστως στη πλατφόρμα AMR** που το ΣΥΛ λειτουργεί πιλοτικά τα τελευταία δύο χρόνια σε περιοχή του δικτύου του. Η εστίαση στη πλατφόρμα AMR έγινε πρωτίστως για δύο λόγους: (1) λόγω του βαθμού ωρίμανσης της πιλοτικής εφαρμογής (δηλαδή της μεγάλης σχετικά περιόδου εφαρμογής), και (2) λόγω της κλίμακας εφαρμογής της (δηλαδή τον αριθμό υδρομετρητών και διαθέσιμων δεδομένων[1]). Οι σχετικές αναλύσεις (και συμπεράσματα), όμως, είναι σε γενικές γραμμές μεταφέρσιμες και εφαρμόσιμες και στις άλλες τεχνολογίες υπό αξιολόγηση.

Οι αναλύσεις και συμπεράσματα βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα από το σύνολο των μετρητών AMR, για δύο χρονικές περιόδους: (1) περίοδος 01/07/2019 – 30/11/2019 : Τα δεδομένα αφορούν 400,000 περίπου εγγραφές (ανά 30-λεπτο), (2) περίοδος 01/01/2020 – 30/06/2020 : Τα δεδομένα αφορούν 4,530,000 περίπου εγγραφές (ανά 15-λεπτο).

- **Βασικές λειτουργίες του πιλοτικού συστήματος AMR**
    - Το υπό λειτουργία σύστημα AMR είναι, σε γενικές γραμμές, καλό όσον αφορά τις βασικές λειτουργίες του: Συνεχή καταμέτρηση κατανάλωσης, καταγραφή δεδομένων για μεγάλη χρονική περίοδο (1-2 έτη περίπου) και δυνατότητα εξαγωγής τους, εξ αποστάσεως παρακολούθηση του συστήματος, και δυνατότητα εντοπισμού γεγονότων ενδιαφέροντος στο δίκτυο (όπως, την μη λειτουργία ή τη πιθανή επέμβαση σε μετρητή, ή πιθανή βλάβη/διαρροή στο δίκτυο). Πέραν από αυτές τις βασικές λειτουργίες, όμως, ορισμένες πτυχές του συστήματος χρήζουν βελτίωσης με σκοπό την αύξηση της πρόσθετης αξίας του για το ΣΥΛ.

- **Ελλείψεις του πιλοτικού συστήματος AMR**
    - Ο βαθμός διαθεσιμότητας των υδρομετρητών AMR θα πρέπει να βελτιωθεί, έτσι ώστε η αξιοπιστία του συστήματος να αυξηθεί.
        - Επιπρόσθετα, προς αντιμετώπιση τεχνικών προβλημάτων στο σύστημα AMR όπως αυτά που παρουσιάστηκαν τον Ιούλιο 2020 με την μη λειτουργία για μεγάλη περίοδο του '*concentrator*' του συστήματος, θα πρέπει να υπάρχει ως εναλλακτική τεχνολογία η επιλογή '*drive-by data collection*'.

[1] Ο μικρός αριθμός αισθητήρων PRV, WQS και PL σε χρήση από το ΣΥΛ δεν επιτρέπουν την εξαγωγή αξιοποιήσιμων αποτελεσμάτων ή συγκεκριμένων συμπερασμάτων, πέραν από την καταγραφή γενικών παρατηρήσεων.

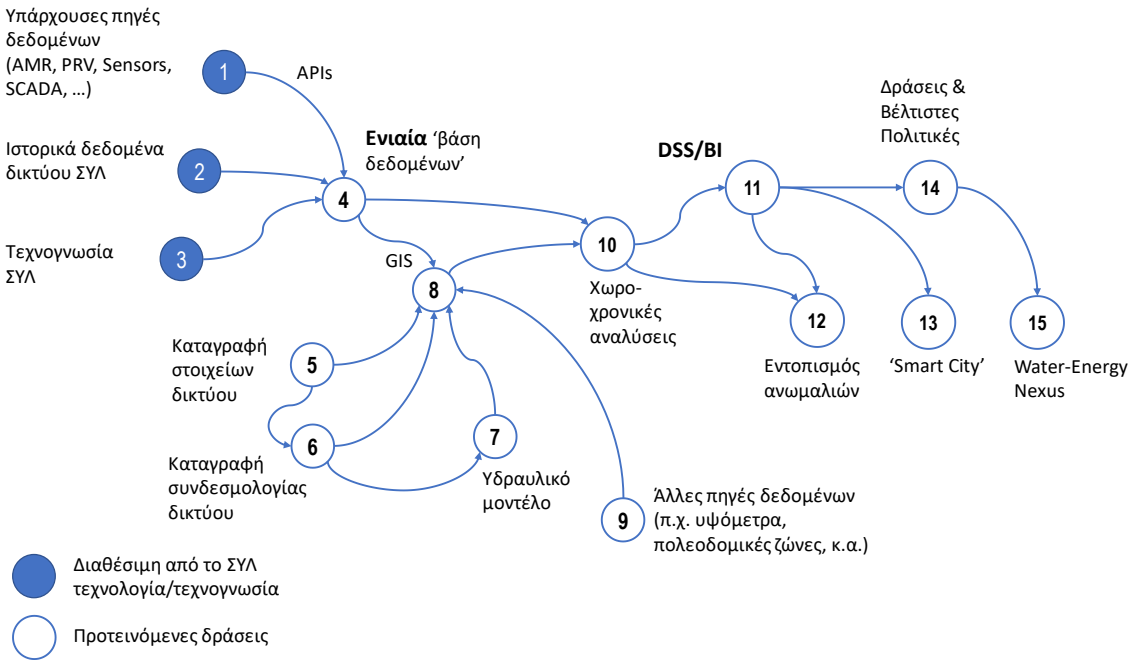
- Η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων από το σύστημα AMR θα πρέπει να βελτιωθεί και ο χρόνος εξαγωγής τους να συντμηθεί.
- Η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων θα πρέπει να αυτοματοποιηθεί και να δοθεί δυνατότητα προγραμματισμού από τους χρήστες μέσω μιας διεπαφής (API), έτσι ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή δεδομένων σε προγραμματισμένες προκαθορισμένες περιόδους ή '*on-demand*'.
- Η ανάλυση για ανίχνευση ανωμαλιών στο δίκτυο, εάν γίνεται στη βάση μεθόδων '*running averages and outlier detection*' χρήζει βελτίωσης, με μετάβαση στη χρήση μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης.
- Ο χάρτης GIS που δίδεται από το σύστημα θα πρέπει να είναι σε 'ζωντανή' σύνδεση, με συνεχή απεικόνιση της ροής των δεδομένων και των γεγονότων ενδιαφέροντος στο δίκτυο.
- Πρέπει να δίνεται η δυνατότητα χωρο-χρονικής ανάλυσης των δεδομένων (*spatio-temporal analysis*), είτε με ολιστική ιστορική αναδρομή στα γεγονότα και τα δεδομένα για μια περίοδο ενδιαφέροντος είτε με εξαγωγή των δεδομένων σε άλλη πλατφόρμα για μια τέτοια ανάλυση.
- Πρέπει να υπάρχει συνεχής ηλεκτρονικός έλεγχος '*inflow/outflow volumes*' σε επίπεδο περιοχής και αντιπαραβολή του με την συνολική αθροιστική κατανάλωση από τους υδρομετρητές.
- Πρέπει να δοθεί στους χρήστες η δυνατότητα '*business intelligence (BI)*' είτε εντός της υφιστάμενης πλατφόρμας είτε μέσω σύνδεσης της με άλλη πλατφόρμα. Μια τέτοια λειτουργία θα δώσει πολύ μεγαλύτερη αξία στην υφιστάμενη πλατφόρμα από την απλή καταγραφή κατανάλωσης. Για παράδειγμα μπορεί να γίνεται '*water consumption profiling*', '*pattern recognition*' και '*real-time anomaly detection*'.

- **Βραχυπρόθεσμοι / Μεσοπρόθεσμοι στόχοι (1 – 3 έτη)**
  - Ενδυνάμωση της ερευνητικής ροπής του ΣΥΛ, είτε εντός του οργανισμού είτε σε συνεργασία με άλλους ερευνητικούς φορείς, και υιοθέτηση τεχνολογιών προς όφελος του οργανισμού.
  - Ανάπτυξη και εφαρμογή μιας ενοποιημένης πλατφόρμας (1η Φάση) διαχείρισης του δικτύου του ΣΥΛ.
    - Ανάπτυξη, εφαρμογή και συνεχής επικαιροποίηση υδραυλικού μοντέλου για το δίκτυο, έτσι ώστε οι μετρήσεις επί του πεδίου να αντιπαραβάλλονται με τις προβλεπόμενες από το μοντέλο, για καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς του δικτύου σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.
    - Ανάπτυξη και εφαρμογή συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (*GIS*) για το ευρύτερο δίκτυο (όχι μόνο αυτό που καλύπτεται από το σύστημα AMR), με δυνατότητα διασύνδεσης του με εξωτερικές βάσεις δεδομένων (φέρουσες ιστορικά δεδομένα) και με υδραυλικά μοντέλα, με δυνατότητα χωρο-χρονικών αναλύσεων (*spatio-temporal analysis*) και με δυνατότητα διεπαφής με λογισμικό υποστήριξης λήψεως αποφάσεων (*decision support system, DSS*).
    - Ενοποίηση της πλατφόρμας AMR με τις άλλες ηλεκτρονικές πλατφόρμες του ΣΥΛ για σύζευξη δεδομένων (*hydroinformatics*) και δημιουργία περιβάλλοντος '*business intelligence (BI)*'.
    - Δημιουργία χωρο-χρονικών χαρτών συμπεριφοράς του δικτύου (*spatio-temporal maps*) για μελέτη της συμπεριφοράς του δικτύου στον χρόνο, των

γεγονότων σε αυτό και τυχόν χωρο-χρονικών συστάδων (*spatio-temporal clusters*).

- **Μακροπρόθεσμοι στόχοι (3 - 5 έτη)**
    - Το '*Smart Water Metering*' και το '*Smart Water Leakage Management*', βασικές πτυχές του AMR, να γίνουν αναπόσπαστο μέρος του '*Smart City'*. Δηλαδή, το σύστημα AMR να γίνει η αρχή και η βάση για επέκταση τεχνολογιών τηλεδιαχείρισης και επιχειρηματικής ευφυΐας (business intelligence).
    - Αξιοποίηση των τεχνολογιών AMR και PRV, σε συνάρτηση με την προτεινόμενη εφαρμογή υδραυλικών μοντέλων, χαρτογραφήσεων δικτύου, τοπογραφίας, περιβάλλουσας χρήσης γης και του ολοκληρωμένου DSS προς αποκομιδή από το ΣΥΛ επιπρόσθετης αξίας μέσω του πλέγματος νερού-ενέργειας ('*water-energy nexus'*).
    - Περαιτέρω ανάπτυξη και εφαρμογή ενοποιημένης πλατφόρμας (2^{η} Φάση) διαχείρισης του δικτύου του ΣΥΛ.
        - Διεπαφή/ζεύξη του συστήματος AMR και των άλλων υπό ανάπτυξη τεχνολογιών με το υπάρχον σύστημα SCADA του ΣΥΛ.
        - Ανάπτυξη DSS με δυνατότητες *Data Analytics*, *Business Intelligence (BI)* και *Artificial Intelligence (AI).*
        - Ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης στην πλατφόρμα (*e.g. deep learning, bagged trees, etc.*)
        - Ανάπτυξη μέσω της αποκτηθείσας από το σύστημα γνώσης εμπεριστατωμένων πολιτικών διαχείρισης του δικτύου και των διαφόρων τεχνολογιών σε αυτό. Για παράδειγμα,
            - Πως αυξάνεται η απόδοση του δικτύου (μείωση κόστους λειτουργίας, μείωση ατιμολόγητου νερού και διαρροών, αύξηση απόδοσης του δικτύου, βελτίωση ποιότητας νερού, κ.α.);
            - Ποια η βέλτιστη πίεση/ροή ύδατος ανά περιοχή του δικτύου;
            - Ποιες οι βέλτιστες τοποθεσίες εγκατάστασης αισθητήρων για καλύτερη παρακολούθηση του δικτύου;
            - Πως καλύτερα επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση/παραγωγή ενέργειας στο δίκτυο;

Το προτεινόμενο πλαίσιο αξιοποίησης δίδεται σχηματικά στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Προτεινόμενο πλαίσιο αξιοποίησης της παρούσας τεχνολογίας και τεχνογνωσίας του ΣΥΛ.

Πίνακας Περιεχομένων

1 Εισαγωγή 17

2 Το πιλοτικό σύστημα AMR που λειτουργεί το Συμβούλιο Υδατοπρομήθειας Λευκωσίας (ΣΥΛ) 18

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του συστήματος 18

2.2 Προκαταρκτικές αναλύσεις 21

2.2.1 Περίοδος Ιουλίου – Νοεμβρίου 2019 21

2.2.2 Περίοδος Ιανουαρίου – Ιουνίου 2020 22

2.3 Χαρακτηριστικά του συστήματος που χρήζουν βελτίωσης 23

2.4 Ενδεικτικές δράσεις και βελτιώσεις στις παρεχόμενες από το υπάρχον σύστημα δυνατότητες 25

3 Pressure-Reducing Valves (PRV) 33

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του συστήματος 33

4 Αισθητήρες Ποιότητας Νερού (Water Quality Sensor, WQS) 35

4.1 Γενικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του συστήματος 35

5 Καταγραφικά Πίεσης (Pressure Loggers, PL) 38

5.1 Γενικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του συστήματος 38

6 Water-Energy Nexus 41

6.1 Βασικές έννοιες 41

6.2 Δυνατότητες προς αξιοποίηση από το ΣΥΛ 43

6.3 Η αξία των δεδομένων, της μοντελοποίησης, της ανάλυσης και των συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων 44

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Προτεινόμενο πλαίσιο αξιοποίησης της παρούσας τεχνολογίας και τεχνογνωσίας του ΣΥΛ. 6
Εικόνα 2. Αρχική οθόνη του λογισμικού AMR που λειτουργεί το ΣΥΛ. 18
Εικόνα 3. Ανά μετρητή γενική εικόνα της κατάστασης. 19
Εικόνα 4. Ανά μετρητή γραφήματα και σύγκριση περιόδων ενδιαφέροντος. 19
Εικόνα 5. Κατάλογος περιστατικών ενδιαφέροντος (events) στο δίκτυο. 20
Εικόνα 6. Εξαγωγή δεδομένων σε αρχείο μορφής CSV. 20
Εικόνα 7. Συνολική κατανάλωση νερού ανά μετρητή (περίοδος 01.07.2019 – 30.11.2019). 21
Εικόνα 8. Αριθμός μετρητών ανά αριθμό μετρήσεων 30-λέπτων (περίοδος 01.07.2019 – 30.11.2019). 22
Εικόνα 9. Αριθμός μετρητών ανά χρονική περίοδο διαθεσιμότητας τους (περίοδος 01.07.2019 – 30.11.2019). 22
Εικόνα 10. Αριθμός μετρητών ανά αριθμό μετρήσεων 15-λέπτων (περίοδος 01.01.2020 – 30.06.2020). 23
Εικόνα 11. Αριθμός μετρητών ανά χρονική περίοδο διαθεσιμότητας τους (περίοδος 01.01.2020 – 30.06.2020). 23
Εικόνα 12. Επιλογή μετρητών για εξαγωγή δεδομένων σε αρχείο μορφής CSV. 24
Εικόνα 13. Εξαγωγή δεδομένων και χαρτογράφηση τους σε GIS. 25
Εικόνα 14. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για την περίοδο 1/7/2019 – 30/11/2019 και 'moving- average-based anomaly detection'. 26
Εικόνα 15. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για την περίοδο 1/7/2019 – 30/11/2019 και 'change-point anomaly detection'. 27
Εικόνα 16. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για το 1^{ο} διάστημα ενδιαφέροντος [13/7/2019 12:00, 17/7/2019 16:00]. 28
Εικόνα 17. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για το 2^{ο} διάστημα ενδιαφέροντος [28/9/2019 14:00, 19/10/2019 10:00]. 29
Εικόνα 18. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για το 3^{ο} διάστημα ενδιαφέροντος [23/10/2019 14:00, 23/11/2019 20:00]. 30
Εικόνα 19. Χωρο-χρονική ανάλυση περιστατικών αστοχιών στο δίκτυο (περίοδος 01.07.2019 – 30.11.2019). 31
Εικόνα 20. Τυπικό γράφημα (χρονοσειρά) PRV. 33
Εικόνα 21. Δυνατότητα καταγραφής ειδοποιήσεων/σφαλμάτων PRV. 33
Εικόνα 22. Δυνατότητα εξαγωγής ιστορικών δεδομένων PRV. 34
Εικόνα 23. Τοποθεσία αισθητήρα ποιότητας νερού (WQS) και ηλεκτρονική διεπαφή συστήματος παρακολούθησης του. 35
Εικόνα 24. Μετρήσιμοι δείκτες αισθητήρα WQS και θεμιτά όρια τους. 36
Εικόνα 25. Μετρήσιμοι δείκτες αισθητήρα WQS. 36
Εικόνα 26. Τυπικό γράφημα (χρονοσειρά) αισθητήρα WQS. 36
Εικόνα 27. Δυνατότητα γραφημάτων αισθητήρα WQS. 37
Εικόνα 28. Τοποθεσίες καταγραφικών πίεσης (PL). 38
Εικόνα 29. Ηλεκτρονική διεπαφή συστήματος παρακολούθησης καταγραφικών πίεσης (PL). 39
Εικόνα 30. Κατάλογος καταγραφικών πίεσης (PL) και πρόσφατης καταγραφής. 39
Εικόνα 31. Κατάλογος ειδοποιήσεων/σφαλμάτων καταγραφικών πίεσης (PL). 39
Εικόνα 32. Διεπαφή και εξαγωγή δεδομένων καταγραφικών πίεσης (PL). 40

Εικόνα 33. Το πλέγμα νερού-ενέργειας σε παραδοσιακά αστικά δίκτυα διανομής νερού (Σημείωση: Τα μωβ βέλη δείχνουν τη ροή ενέργειας και τα μπλε βέλη δείχνουν τη ροή του νερού). 41
Εικόνα 34. Πλαίσιο που περιγράφει τη μεταβαλλόμενη φύση του πλέγματος νερού-ενέργειας για τυπικά αστικά δίκτυα παροχής νερού, από την οπτική γωνία «ενέργεια για νερό». 42

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Στόχοι και πιθανές δράσεις ΣΥΛ στα πλαίσια του πλέγματος νερού-ενέργειας..... 43
Πίνακας 2. Ενδεικτικές δράσεις προς αξιοποίηση των δεδομένων του ΣΥΛ. 44

Ακρωνύμια

ΣΥΛ	**Σ**υμβούλιο **Υ**δατοπρομήθειας **Λ**ευκωσίας
AI	**A**rtificial **I**ntelligence
AMR	**A**utomatic **M**eter **R**eading
API	**A**pplication **P**rogramming **I**nterface
BI	**B**usiness **I**ntelligence
CSV	**C**omma **S**eparated **V**alues
DSS	**D**ecision **S**upport **S**ystem
GIS	**G**eographic **I**nformation **S**ystem
NRW	**N**on-**R**evenue **W**ater
PL	**P**ressure **L**ogger
PRV	**P**ressure **R**educing **V**alve
SCADA	**S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition
UWSS	**U**rban **W**ater **S**upply **S**ystem
UWDN	**U**rban **W**ater **D**istribution **N**etwork
WQS	**W**ater **Q**uality **S**ensor

1 Εισαγωγή

Το Συμβούλιο Υδατοπρομήθειας Λευκωσίας (ΣΥΛ) ιδρύθηκε το 1951 με βάση τον Περί Υδατοπρομήθειας Δημοτικών και Άλλων Περιοχών Νόμο Κεφ.350 και λειτούργησε το 1953.

Σήμερα το ΣΥΛ υδροδοτεί τους Δήμους Λευκωσίας, Στροβόλου, Αγλαντζιάς, 'Εγκωμης, Αγίου Δομετίου, Λατσιών, Γερίου και Τσερίου, τα Κοινοτικά Συμβούλια Εργατών και Συνοικισμού Ανθούπολης και τη Βιομηχανική Περιοχή Εργατών. Πρόσθετα, μετά από Κυβερνητική απόφαση, το ΣΥΛ παραχωρεί ποσότητα νερού στην κατεχόμενη περιοχή Λευκωσίας. Βασικός στόχος του ΣΥΛ είναι η παροχή νερού με τρόπο ώστε να ικανοποιούνται με συνέπεια οι καταναλωτές του τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά.

Η υποδομή του συστήματος υδροδότησης περιλαμβάνει πέραν των 1,400km κεντρικών αγωγών, και υδατοδεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 77,250 m3 νερού περίπου, και με τα υδατικά έργα που έχουν κατασκευαστεί από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων έχει περιοριστεί η εξάρτηση του ΣΥΛ και της δυνατότητας ύδρευσης από τις καιρικές συνθήκες. Η δε συνεχής συντήρηση και βελτίωση του δικτύου διανομής και η εντατική προσπάθεια παρακολούθησης των παροχών και των υδρομετρητών έχουν περιορίσει τις ποσότητες της απώλειας ύδατος σε αυτό στο 22.20% (2019) με στόχο αυτές να περιοριστούν ακόμα περισσότερο.

Για καλύτερη διαχείριση του δικτύου το δίκτυο έχει διαχωριστεί σε 100 (εκατό)) μετρήσιμες ζώνες (υποζώνες) οι οποίες και παρακολουθούνται συνεχώς από ηλεκτρονικούς σταθμούς και καταγραφικά (loggers), υπάρχει σε αυτό εγκατεστημένο σύστημα τηλεχείρισης (SCADA) και το δίκτυο διανομής παρακολουθείται συνεχώς από 69 ηλεκτρονικούς σταθμούς εγκατεστημένους στο όλο δίκτυο. Οι σταθμοί στέλνουν πληροφορίες για τη ροή και την πίεση σε καθορισμένα σημεία του δικτύου έτσι ώστε, με κατάλληλη αξιολόγηση από το έμπειρο προσωπικό του ΣΥΛ, να παίρνονται οι ορθές αποφάσεις ως προς τη διαχείριση του δικτύου.

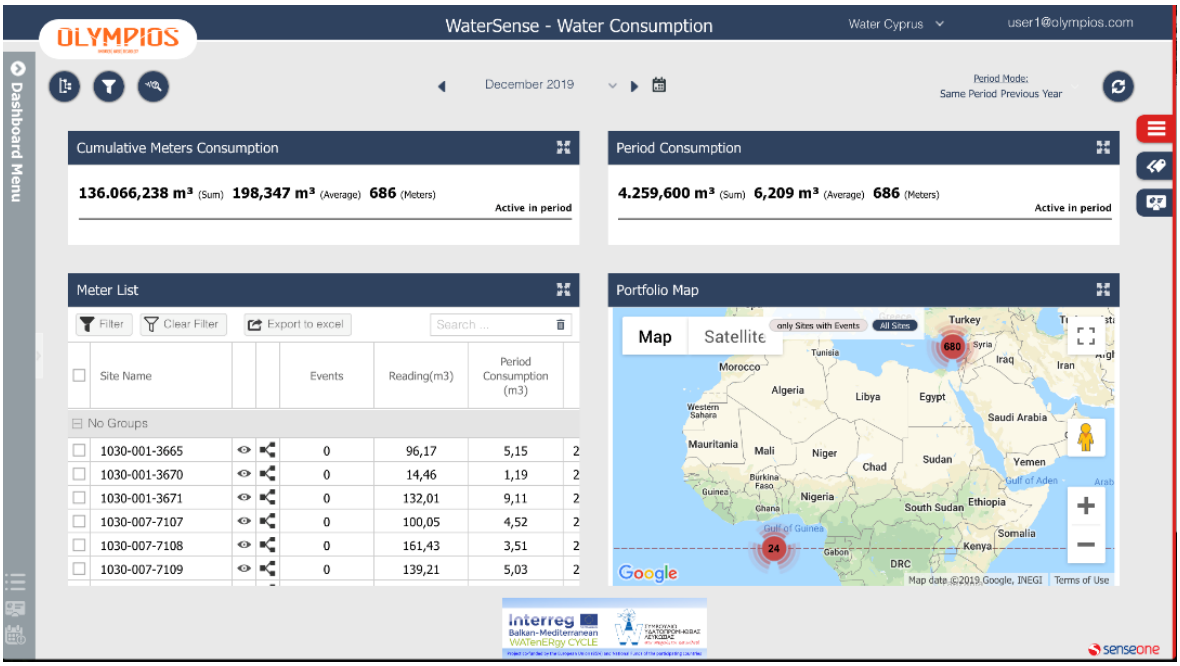
Επιπρόσθετα, το ΣΥΛ έχει προχωρήσει σε πληθώρα ενεργειών για υιοθέτηση νέων τεχνολογιών όπως 'έξυπνων υδρομετρητών' (AMR) και 'έξυπνων βαλβίδων πίεσης' (PRV), και συμμετείχε σε μεγάλο αριθμό εθνικά και ευρωπαϊκά χρηματοδοτημένων ερευνητικών προγραμμάτων μέσα από τα οποία αναβάθμισε την υποδομή και την τεχνογνωσία του σε θέματα προτεραιότητας του.

2 Το πιλοτικό σύστημα AMR που λειτουργεί το Συμβούλιο Υδατοπρομήθειας Λευκωσίας (ΣΥΛ)

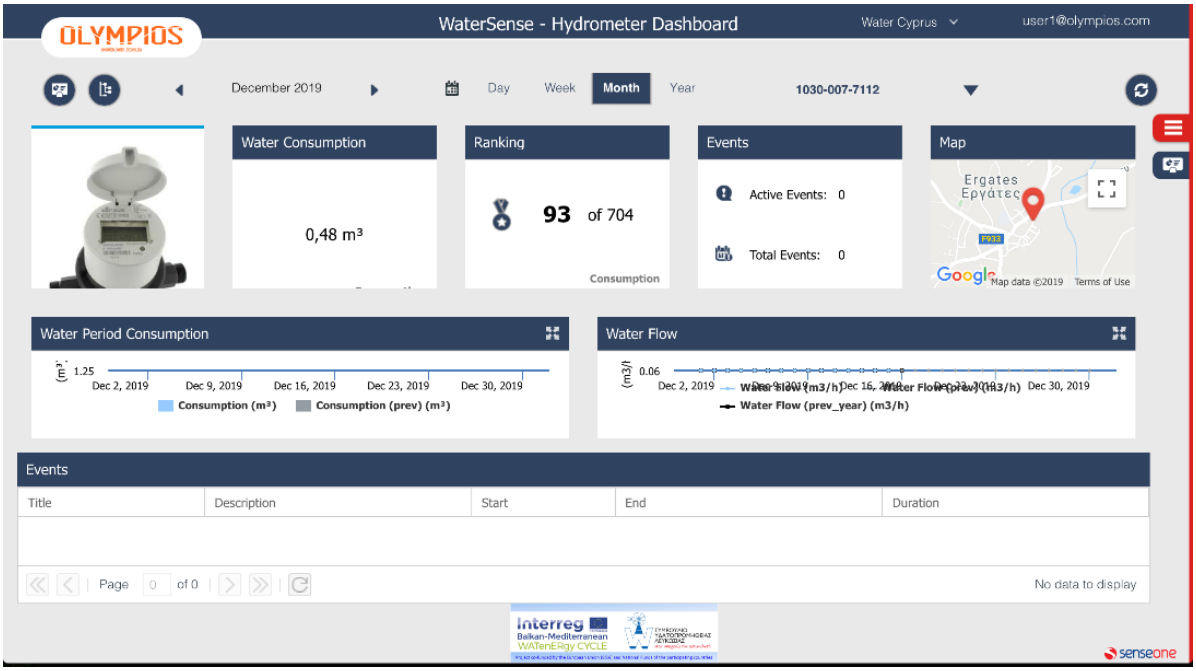
Το Συμβούλιο Υδατοπρομήθειας Λευκωσίας (ΣΥΛ) λειτουργεί τα τελευταία δύο χρόνια ένα πιλοτικό σύστημα αυτόματης και εξ αποστάσεως καταγραφής της κατανάλωσης ύδατος (*automatic meter reading, AMR*), με κύρια χαρακτηριστικά όπως αναγράφονται πιο κάτω.

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του συστήματος

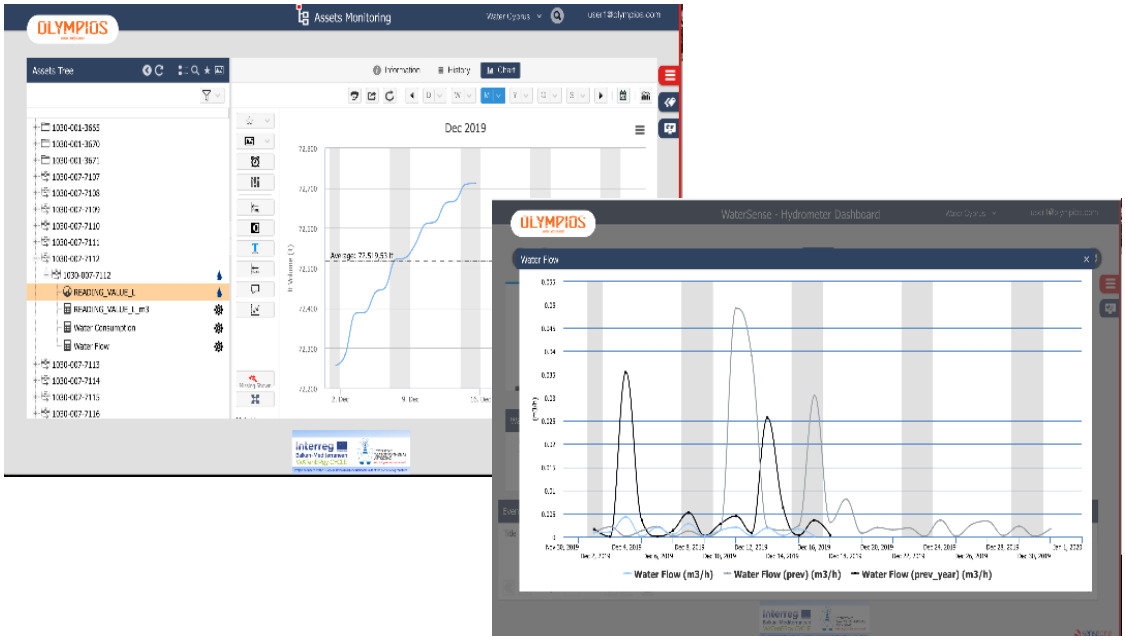
- Το σύστημα καλύπτει την περιοχή του χωριού Εργάτες (νοτιοδυτικά της Λευκωσίας).
- Το σύστημα αριθμεί 704 υδρομετρητές (με καταχωρημένα τα σχετικά στοιχεία ταυτοποίησης, διεύθυνσης και ιδιοκτήτη τους), 24 εκ των οποίων φαίνεται να μην έχουν ορθά 'εγκατασταθεί/ενοποιηθεί' με το σύστημα και να απεικονίζονται στον χάρτη GIS σε λανθασμένη τοποθεσία (Εικόνα 2).
- Το λογισμικό δίδει ανά πάσα στιγμή συγκεντρωτική (Εικόνα 2) και ανά μετρητή (Εικόνα 3) εικόνα της κατάστασης του δικτύου όσον αφορά την κατανάλωση περιόδου, την τελευταία μέτρηση, και τα περιστατικά ενδιαφέροντος (*events*), και μπορούν να παραχθούν σχετικά γραφήματα για περιόδους ενδιαφέροντος (Εικόνα 4).



Εικόνα 2. Αρχική οθόνη του λογισμικού AMR που λειτουργεί το ΣΥΛ.

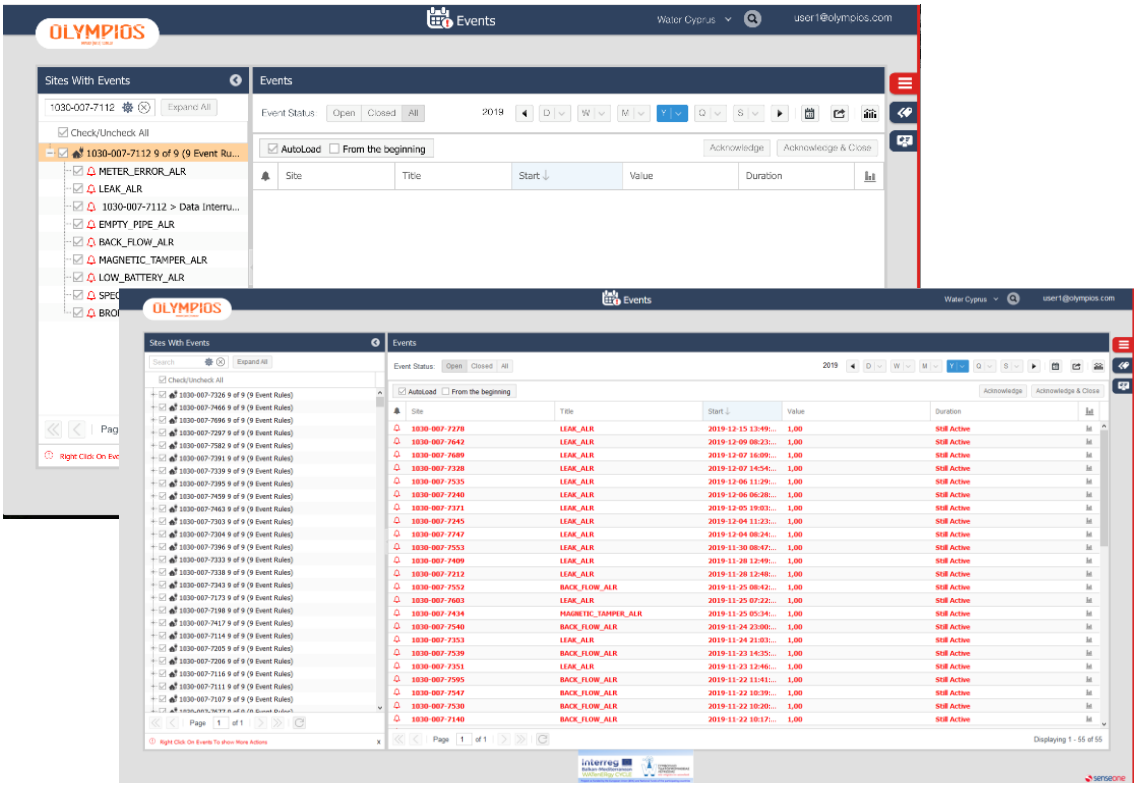


Εικόνα 3. Ανά μετρητή γενική εικόνα της κατάστασης.

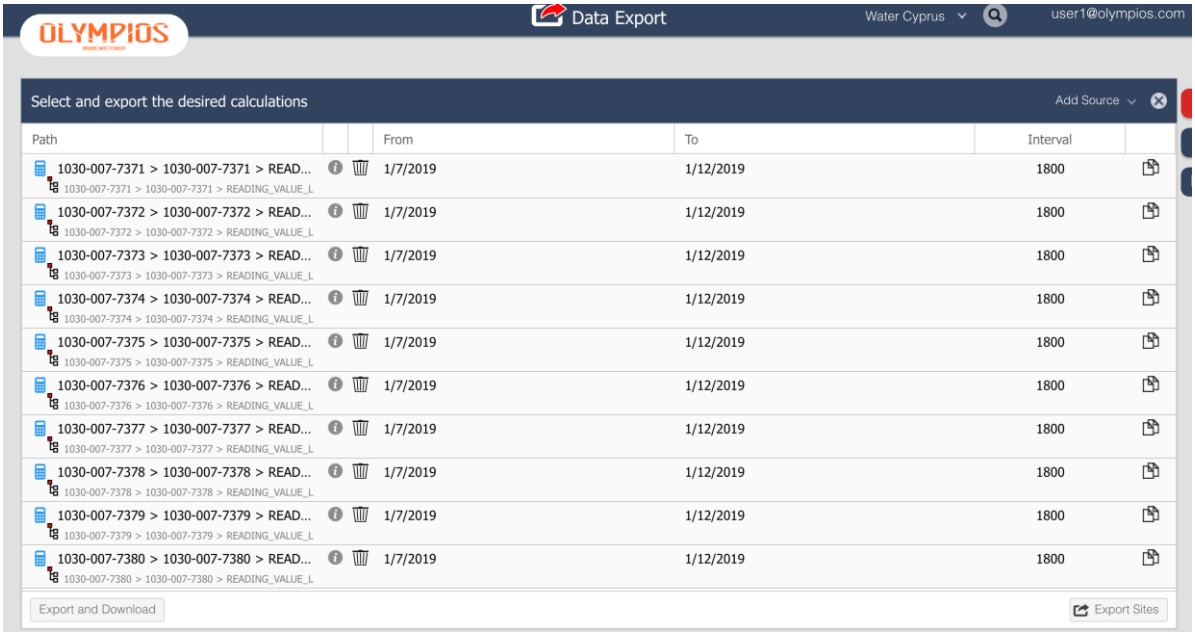


Εικόνα 4. Ανά μετρητή γραφήματα και σύγκριση περιόδων ενδιαφέροντος.

- Το λογισμικό δίδει επίσης έκθεση γεγονότων ενδιαφέροντος (*events*) και διάγνωση τους (Εικόνα 5).
- Το λογισμικό δύναται επίσης, κατ΄ επιλογήν (μετρητών, δεδομένων, περιόδων), να εξάγει ιστορικά δεδομένα (σε μορφή αρχείου CSV) για ανάλυση από άλλα συστήματα (Εικόνα 6).



Εικόνα 5. Κατάλογος περιστατικών ενδιαφέροντος (events) στο δίκτυο.



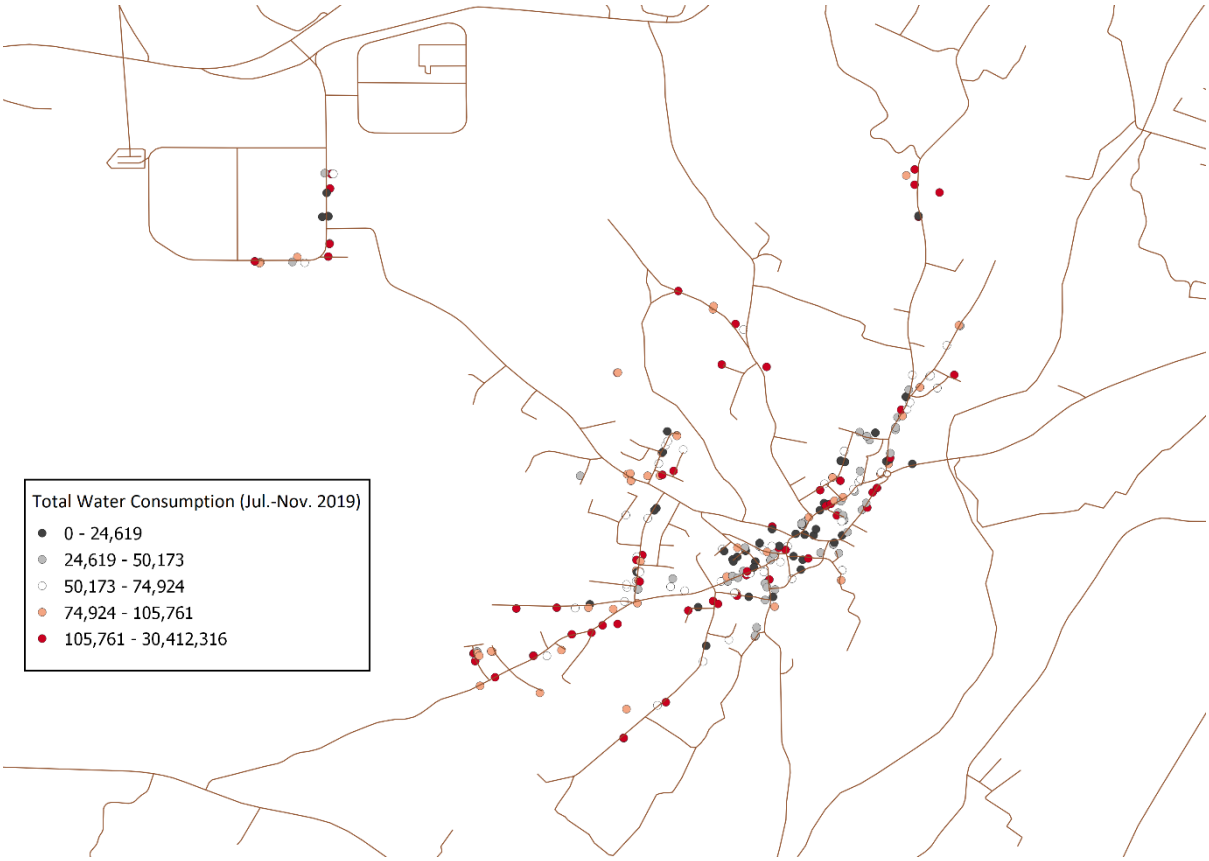
Εικόνα 6. Εξαγωγή δεδομένων σε αρχείο μορφής CSV.

2.2 Προκαταρκτικές αναλύσεις

Αρχικά, αξιολογήθηκε η διαθεσιμότητα[2] του δικτύου AMR στις δύο περιόδους μελέτης: (α) 01.07.2019 – 30.11.2019 και (β) 01.01.2020 – 30.06.2020[3], για τις οποίες εξάχθηκαν και αναλύθηκαν δεδομένα από την πλατφόρμα AMR. **Οι αναλύσεις και τα σχετικά γραφήματα έγιναν σε λογισμικό εκτός της πλατφόρμας AMR**.

2.2.1 Περίοδος Ιουλίου – Νοεμβρίου 2019

Συνοπτικά, κατά την πρώτη περίοδο μελέτης (01.07.2019 – 30.11.2019) τα εξαχθέντα δεδομένα είναι ομαδοποιημένα ανά 30-λεπτο και αφορούν συνολικά 400,000 περίπου εγγραφές (ανά 30-λεπτο). Τα δεδομένα αυτά χαρτογραφήθηκαν για σκοπούς καλύτερης απεικόνισης τους (Εικόνα 7).

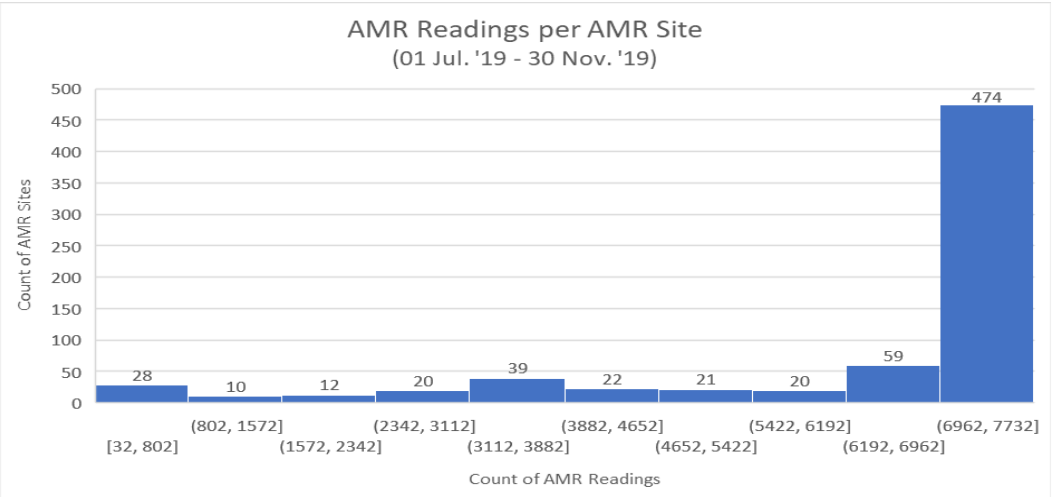


Εικόνα 7. Συνολική κατανάλωση νερού ανά μετρητή (περίοδος 01.07.2019 – 30.11.2019).

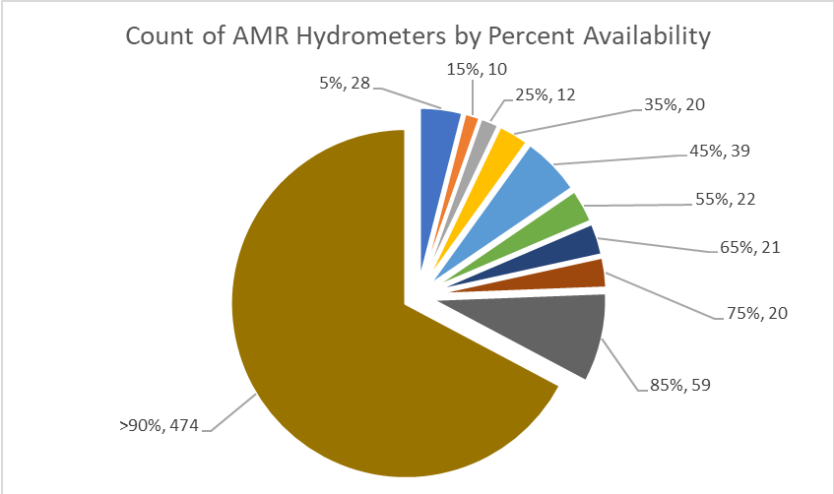
Από τους 704 υδρομετρητές του δικτύου AMR, οι 474 υδρομετρητές (67% του δικτύου) λειτουργούσαν επί το πλείστο καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου μελέτης (6962-7732 30-λεπτες περιόδους, ήτοι 90%-100% της συνολικής περιόδου μελέτης), ενώ οι υπόλοιποι υδρομετρητές (33% του δικτύου AMR) ήταν 'λειτουργικοί' πολύ λιγότερο χρόνο, με 109 από αυτούς να έχουν ποσοστό διαθεσιμότητας κάτω του 50% (Εικόνα 8, Εικόνα 9).

[2] Η διαθεσιμότητα εκάστου μετρητή ορίσθηκε ως ο αριθμός περιοδικών μετρήσεων (π.χ. 30-λέπτων) δια του μέγιστου συνολικού επιτρεπτού αριθμού ιδίων περιόδων κατά τη περίοδο μελέτης.

[3] Αν και αρχικά είχε ορισθεί ως περίοδος μελέτης η περίοδος Ιανουαρίου – Ιουλίου 2020, λόγω βλάβης στον ενοποιητή δεδομένων (*concentrator*) του συστήματος AMR δεν είχαν συλλεχθεί δεδομένα για μια μεγάλη περίοδο του Ιουλίου 2020, με αποτέλεσμα η ανάλυση να περιορισθεί μέχρι το τέλος Ιουνίου 2020.



Εικόνα 8. Αριθμός μετρητών ανά αριθμό μετρήσεων 30-λέπτων (περίοδος 01.07.2019 – 30.11.2019).

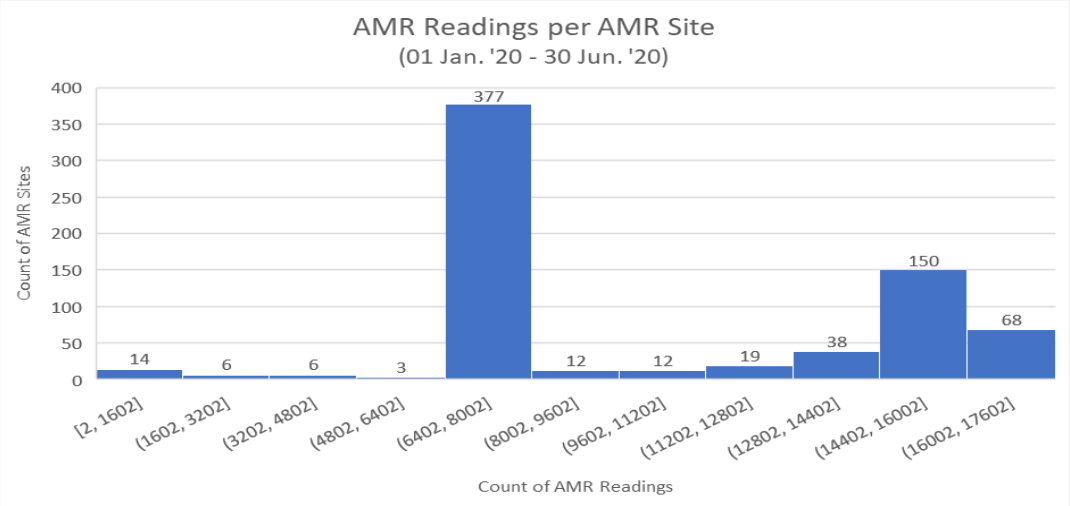


Εικόνα 9. Αριθμός μετρητών ανά χρονική περίοδο διαθεσιμότητας τους (περίοδος 01.07.2019 – 30.11.2019).

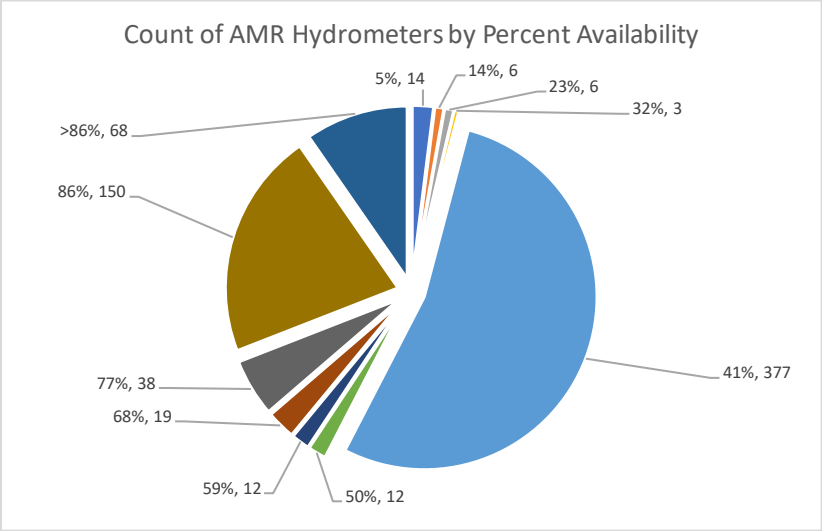
2.2.2 Περίοδος Ιανουαρίου – Ιουνίου 2020

Για τη δεύτερη περίοδο μελέτης (01/01/2020 – 30/06/2020), τα δεδομένα αφορούν 4,530,000 περίπου εγγραφές (ανά 15-λεπτο).

Από τους 704 υδρομετρητές του δικτύου AMR, μόνο 218 υδρομετρητές (30% του δικτύου) είχαν ψηλή διαθεσιμότητα καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου μελέτης (14402-17602 15-λεπτες περιόδους, ήτοι 85%-100% της συνολικής περιόδου μελέτης), ενώ οι υπόλοιποι υδρομετρητές (70% του δικτύου AMR) ήταν σε λειτουργήσιμη κατάσταση πολύ λιγότερο, με 426 από αυτούς να έχουν ποσοστό διαθεσιμότητας κάτω του 50% (Εικόνα 10, Εικόνα 11).



Εικόνα 10. Αριθμός μετρητών ανά αριθμό μετρήσεων 15-λέπτων (περίοδος 01.01.2020 – 30.06.2020).



Εικόνα 11. Αριθμός μετρητών ανά χρονική περίοδο διαθεσιμότητας τους (περίοδος 01.01.2020 – 30.06.2020).

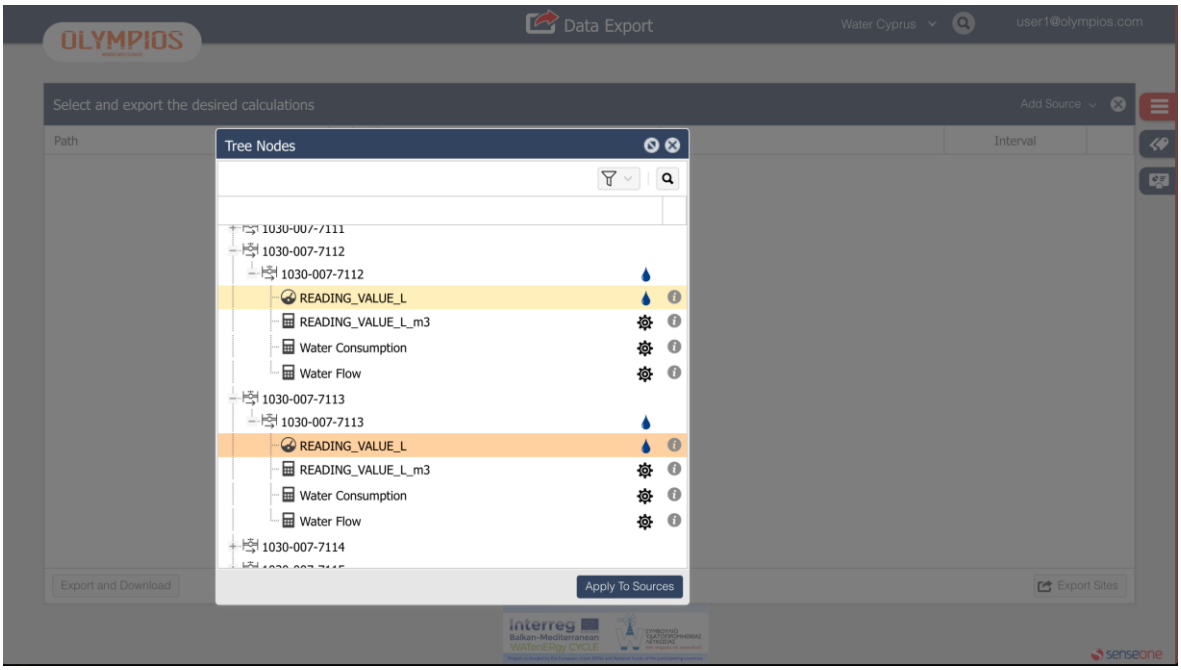
Τα πιο πάνω γραφήματα δίνουν μια πρώτη εικόνα της διαθεσιμότητας/αξιοπιστίας της πλατφόρμας AMR και των περιορισμών της, στην παρούσα μορφή της.

2.3 Χαρακτηριστικά του συστήματος που χρήζουν βελτίωσης

Το προαναφερθέν σύστημα AMR είναι, σε γενικές γραμμές, καλό όσον αφορά τις βασικές λειτουργίες του: συνεχή καταμέτρηση κατανάλωσης, καταγραφή δεδομένων για μεγάλη χρονική περίοδο (1-2 έτη περίπου) και δυνατότητα εξαγωγής τους, εξ αποστάσεως παρακολούθηση του συστήματος, και δυνατότητα εντοπισμού γεγονότων ενδιαφέροντος στο δίκτυο (όπως, την μη λειτουργία ή τη πιθανή επέμβαση σε μετρητή, ή πιθανή βλάβη/διαρροή στο δίκτυο). Πέραν από αυτές τις βασικές λειτουργίες, όμως, ορισμένες πτυχές του συστήματος χρήζουν βελτίωσης με σκοπό την αύξηση της πρόσθετης αξία του για το ΣΥΛ.

Ενδεικτικά, και με βάση τις εμπειρίες χρήσης της πλατφόρμας στις δύο περιόδους μελέτης:

- Ο βαθμός διαθεσιμότητας των υδρομετρητών AMR θα πρέπει να αυξηθεί έτσι ώστε η αξιοπιστία του συστήματος να αυξηθεί (Εικόνα 9).
- Η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων θα πρέπει να βελτιωθεί και ο χρόνος εξαγωγής τους να συντμηθεί.
    - Ως έχει το σύστημα, οι χρήστες πρέπει να επιλέξουν έκαστον μετρητή ενδιαφέροντος ξεχωριστά και όχι με φίλτρο (Εικόνα 12) και η εξαγωγή των δεδομένων είναι χρονοβόρος (χρειάζεται περίπου 30 λεπτά για 5 μήνες δεδομένων 10 μετρητών). Ως έχει η διαδικασία χρειάζεται περίπου 48 ώρες χειρωνακτικής εργασίας για εξαγωγή των δεδομένων του δικτύου (704 μετρητές) για περίοδο 5 μηνών ενδιαφέροντος.



Εικόνα 12. Επιλογή μετρητών για εξαγωγή δεδομένων σε αρχείο μορφής CSV.

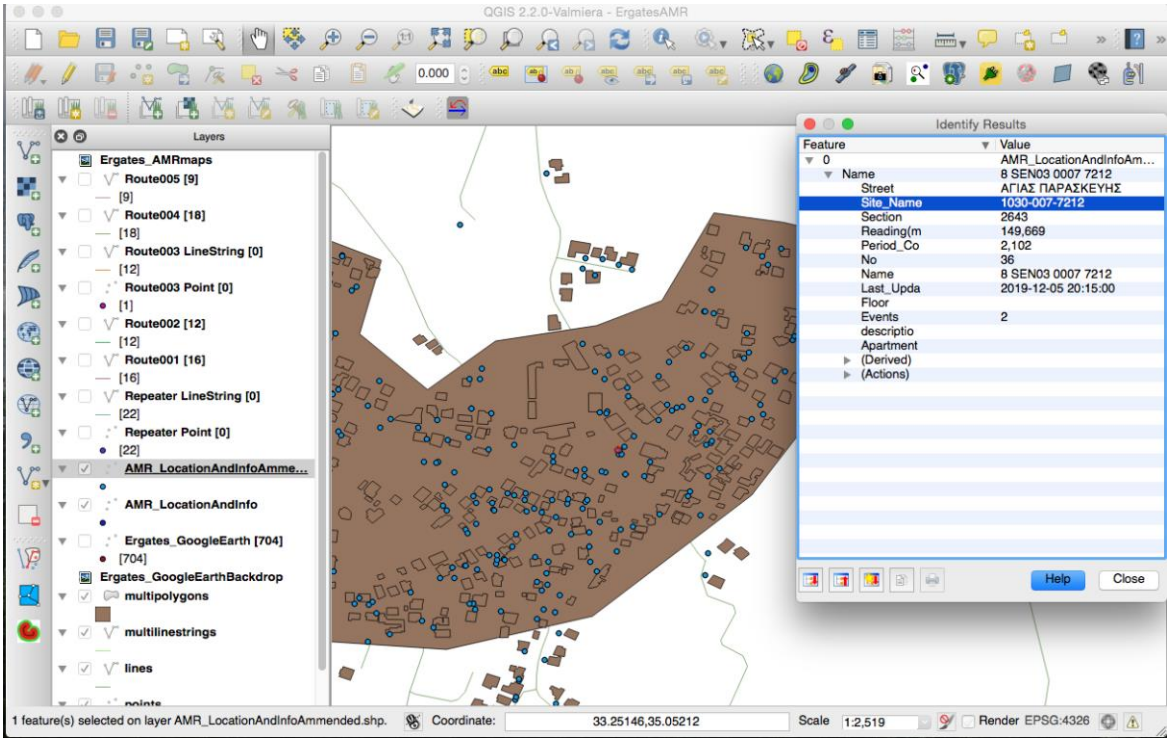
- Η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων θα πρέπει να αυτοματοποιηθεί και να δοθεί δυνατότητα προγραμματισμού από τους χρήστες μέσω μιας διεπαφής (API), έτσι ώστε να δύναται η εξαγωγή δεδομένων σε προγραμματισμένες προκαθορισμένες περιόδους ή '*on-demand*'.
- Η ανάλυση για ανίχνευση ανωμαλιών στο δίκτυο, εάν γίνεται στη βάση μεθόδων '*running averages and outlier detection*' χρήζει βελτίωσης, με μετάβαση στη χρήση μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης.
- Ο χάρτης GIS που δίδεται από το σύστημα θα πρέπει να είναι '*live*' με συνεχή απεικόνιση της ροής των δεδομένων και των γεγονότων ενδιαφέροντος στο δίκτυο.
- Πρέπει να δίνεται η δυνατότητα χωρο-χρονικής ανάλυσης των δεδομένων (*spatio-temporal analysis*), είτε με ολιστική ιστορική αναδρομή στα γεγονότα και τα δεδομένα για μια περίοδο ενδιαφέροντος είτε με εξαγωγή των δεδομένων σε άλλη πλατφόρμα για μια τέτοια ανάλυση.
- Πρέπει να υπάρχει συνεχής ηλεκτρονικός έλεγχος '*inflow/outflow volumes*' σε επίπεδο περιοχής και αντιπαραβολή του με την συνολική αθροιστική κατανάλωση από τους υδρομετρητές.

- Πρέπει να δοθεί στους χρήστες η δυνατότητα '*business intelligence*' είτε εντός της υφιστάμενης πλατφόρμας είτε μέσω σύνδεσης της με άλλη πλατφόρμα. Μια τέτοια λειτουργία θα δώσει πολύ μεγαλύτερη αξία στην υφιστάμενη πλατφόρμα από την απλή καταγραφή κατανάλωσης. Για παράδειγμα μπορεί να γίνεται '*water consumption profiling*', '*pattern recognition*' και '*real-time anomaly detection*'.

2.4 Ενδεικτικές δράσεις και βελτιώσεις στις παρεχόμενες από το υπάρχον σύστημα δυνατότητες

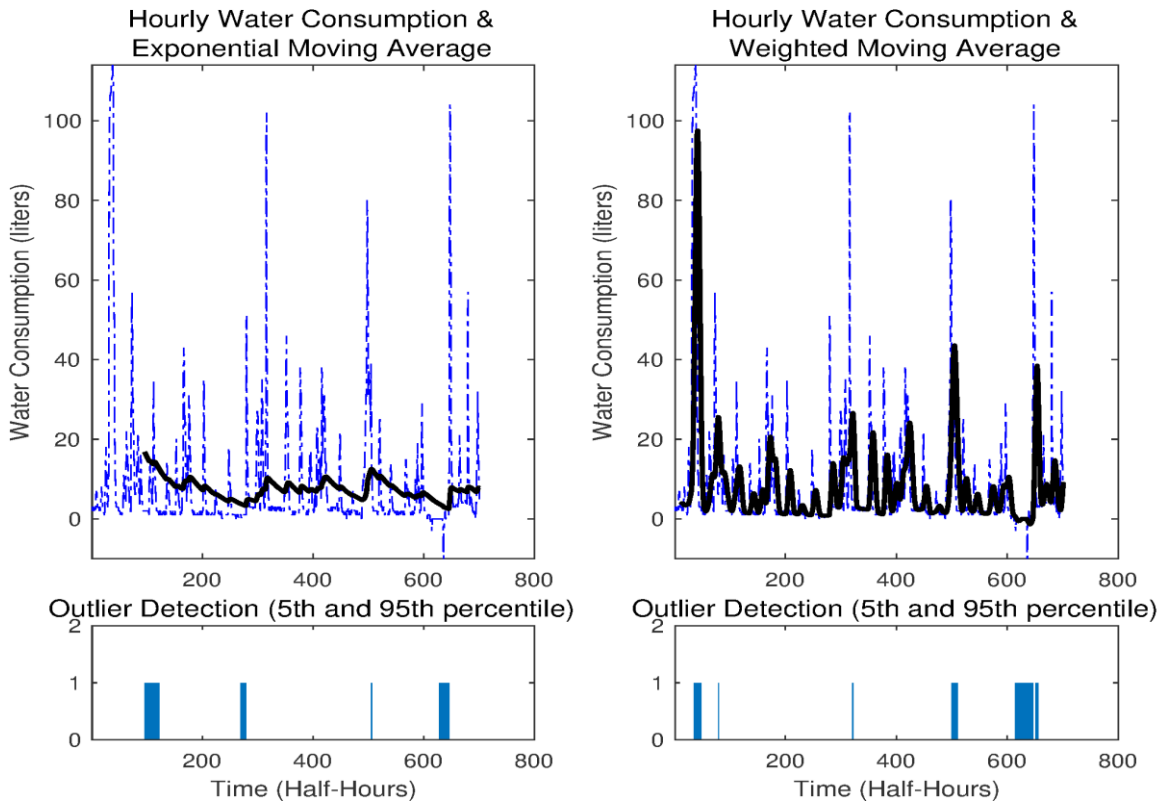
Πιο κάτω αναφέρονται ενδεικτικές δράσεις που αναλήφθηκαν με σκοπό να αναδείξουν επιπρόσθετες δυνατότητες που μπορούν να συμπληρώσουν αυτές του υπάρχοντος συστήματος AMR:

- Εξάχθηκαν τα γεωγραφικά δεδομένα του δικτύου (ταυτότητα και τοποθεσία υδρομετρητών) και χαρτογραφήθηκαν σε πλατφόρμα GIS (Εικόνα 7, Εικόνα 13). Αυτό επιτρέπει τη χωρική ανάλυση δεδομένων, ή και τον εμπλουτισμό τους με επιπρόσθετα δεδομένα. Για παράδειγμα,
    - μπορούν να δημιουργηθούν *heatmaps* των καταναλώσεων ή/και περιστατικών ανωμαλιών στο δίκτυο.
    - μπορούν να αναλυθούν τα δεδομένα στη βάση είδους χρήσης/καταναλωτή ή περιοχής.
    - μπορεί να δημιουργηθεί χωρο-χρονική προσομοίωση των δεδομένων για περιόδους και περιοχές ενδιαφέροντος, για μελέτη της συμπεριφοράς του δικτύου ή για ανίχνευση μοτίβων σε αυτό.

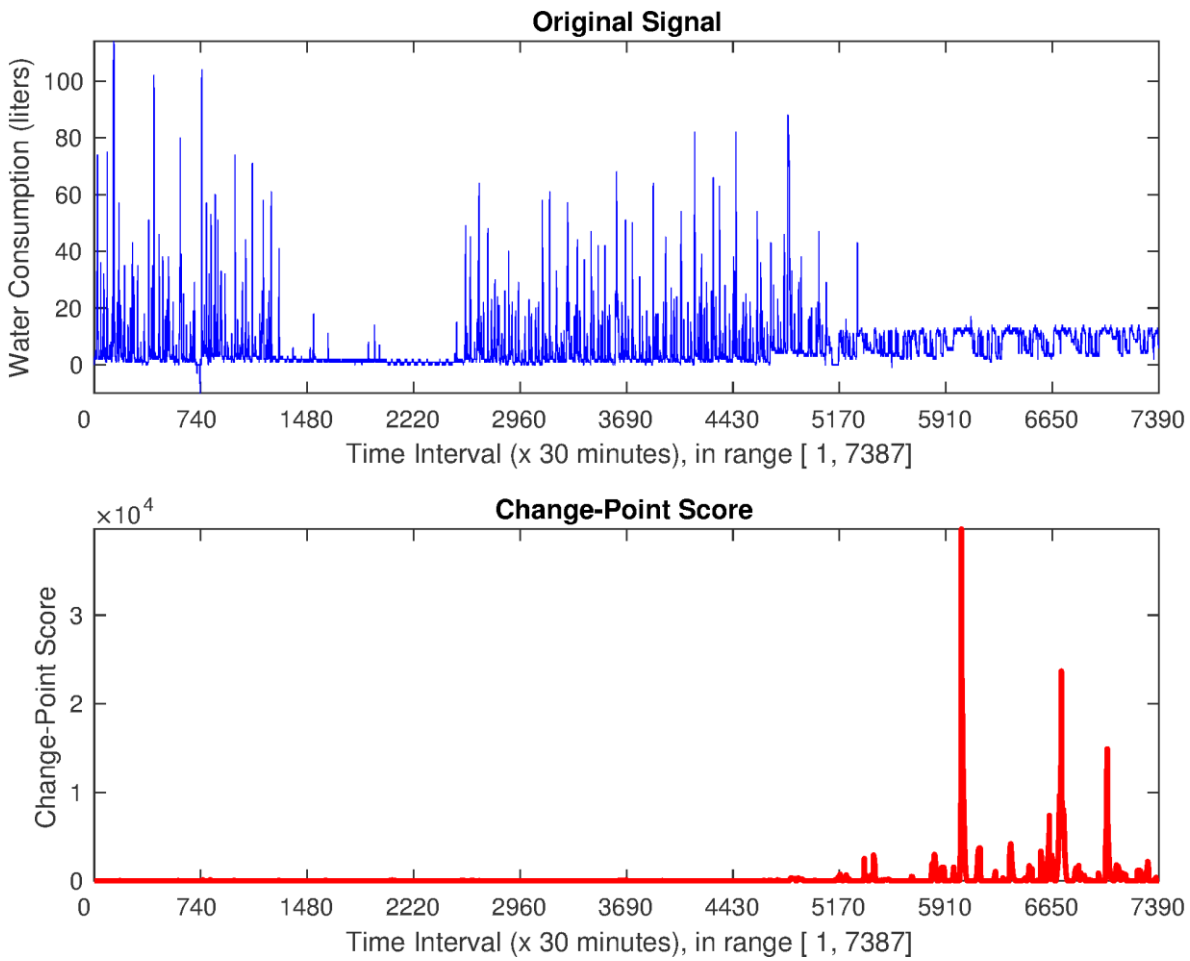


Εικόνα 13. Εξαγωγή δεδομένων και χαρτογράφηση τους σε GIS.

- Εξάχθηκαν ιστορικά δεδομένα από το σύνολο των μετρητών του δικτύου, για την χρονική περίοδο 1/7/2019 – 30/11/2019.
    - Τα δεδομένα είναι ομαδοποιημένα ανά 30-λεπτα.
    - Τα δεδομένα αφορούν 400,000 περίπου εγγραφές (ανά 30-λεπτο)
- Τα δεδομένα μεταφέρθηκαν σε σχεσιακή βάση δεδομένων με δυνατότητες γεωγραφικής ανάλυσης GIS (Postgress + PostGIS), για σκοπούς ανάλυσης.
- Τα ιστορικά δεδομένα αναλύθηκαν χρονικά για εντοπισμό/ταυτοποίηση ανωμαλιών στα ανιχνευθέντα μοτίβα. Για παράδειγμα, για τον υδρομετρητή 1030-007-7212
    - Έχει δομηθεί η χρονοσειρά κατανάλωσης νερού για την περίοδο 1/7/2019 – 30/11/2019 (Εικόνα 14).
    - Έχει αναλυθεί η προκύπτουσα χρονοσειρά για εντοπισμό ανωμαλιών σε αυτή, με χρήση διαφόρων τεχνικών όπως για παράδειγμα με 'moving-average methods' (Εικόνα 14), '*cumulative sum methods*' και '*change-point anomaly detection methods*' (Εικόνα 15).
    - Έχουν εντοπισθεί ανωμαλίες στην αναλυθείσα χρονοσειρά (Εικόνα 14, Εικόνα 15), και έχει δοθεί ακρίβεια πρόγνωσης ("*anomaly score*") σε αυτές (Εικόνα 15).



Εικόνα 14. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για την περίοδο 1/7/2019 – 30/11/2019 και 'moving- average-based anomaly detection'.



Εικόνα 15. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για την περίοδο 1/7/2019 – 30/11/2019 και 'change-point anomaly detection'.

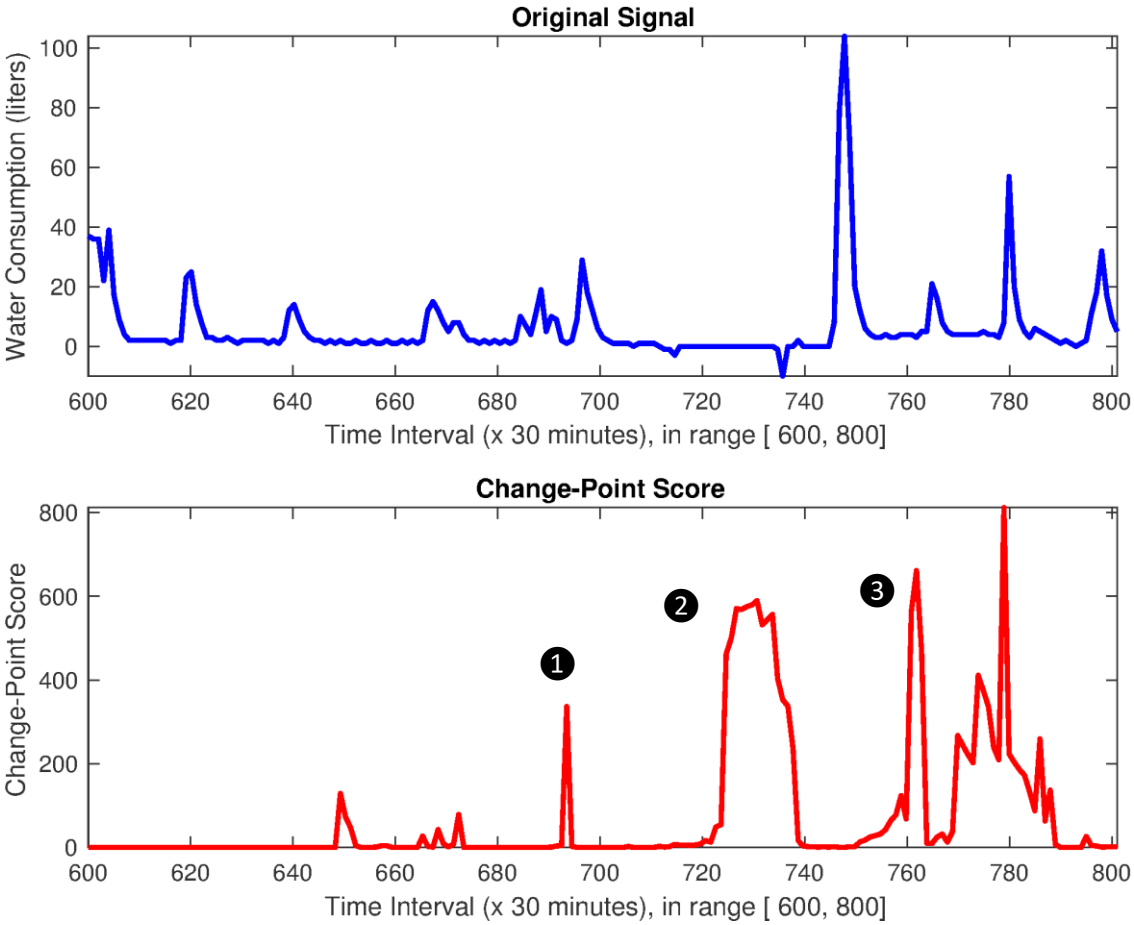
- Η μέθοδος 'moving-average' είναι πιο εύκολη στην εφαρμογή αλλά δίδει πολλά '*false-positives*' (Εικόνα 14), ενώ η μέθοδος '*change-point anomaly detection*' φαίνεται να είναι πιο ακριβής (Εικόνα 15).
  - Ενδεικτικά, το σύστημα AMR καταγράφει ως γεγονότα ενδιαφέροντος τα εξής

	Site	Title	Start	Value	Duration
1	1030-007-7212	BACK_FLOW_ALR	15/07/2019 20:18	1	29 days 1 hours 21 minutes 0 seconds
1	1030-007-7212	BACK_FLOW_ALR	14/11/2019 12:23	1	Still active
1	1030-007-7212	LEAK_ALR	28/11/2019 12:48	1	Still active

- Η μέθοδος '*change-point anomaly detection*' (Εικόνα 15) δίδει ως περιόδους ενδιαφέροντος τα χρονικά διαστήματα [600, 800], [4300, 5300] και [5500, 7000], που αντιστοιχούν στις περιόδους
  - [600, 800] -> [13/7/2019 12:00, 17/7/2019 16:00],
  - [4300, 5300] -> [28/9/2019 14:00, 19/10/2019 10:00], και
  - [5500, 7000] -> [23/10/2019 14:00, 23/11/2019 20:00].

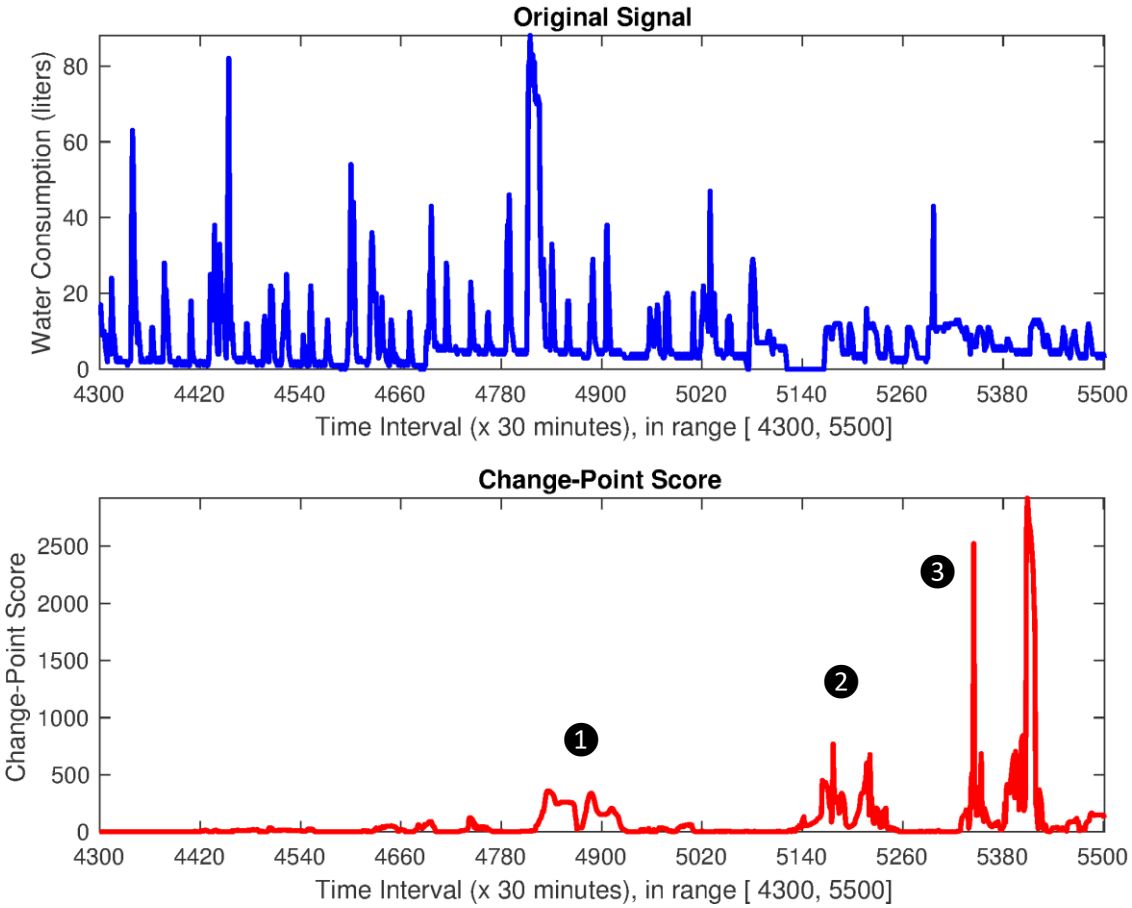
- Με βάση την αρχική ανάλυση (Εικόνα 15) έγιναν πιο στοχευμένες αναλύσεις (Εικόνα 16, Εικόνα 17, Εικόνα 18).
  - Ανάλυση του 1ου διαστήματος (Εικόνα 16) εντοπίζει ανωμαλία στα δεδομένα στα χρονικά σημεία 1-4, με το σημείο '2' να ταυτίζεται με την ανίχνευση 'BACK-

FLOW-ALR' από την πλατφόρμα AMR (15/7/2019) (όπως φαίνεται από το αρνητικό πρόσημο στην ροή, στο πάνω μέρος της γραφικής παράστασης). Τα άλλα σημεία όμως δεν φαίνεται να καταγράφονται από την πλατφόρμα AMR ως ανωμαλίες στην κατανάλωση.



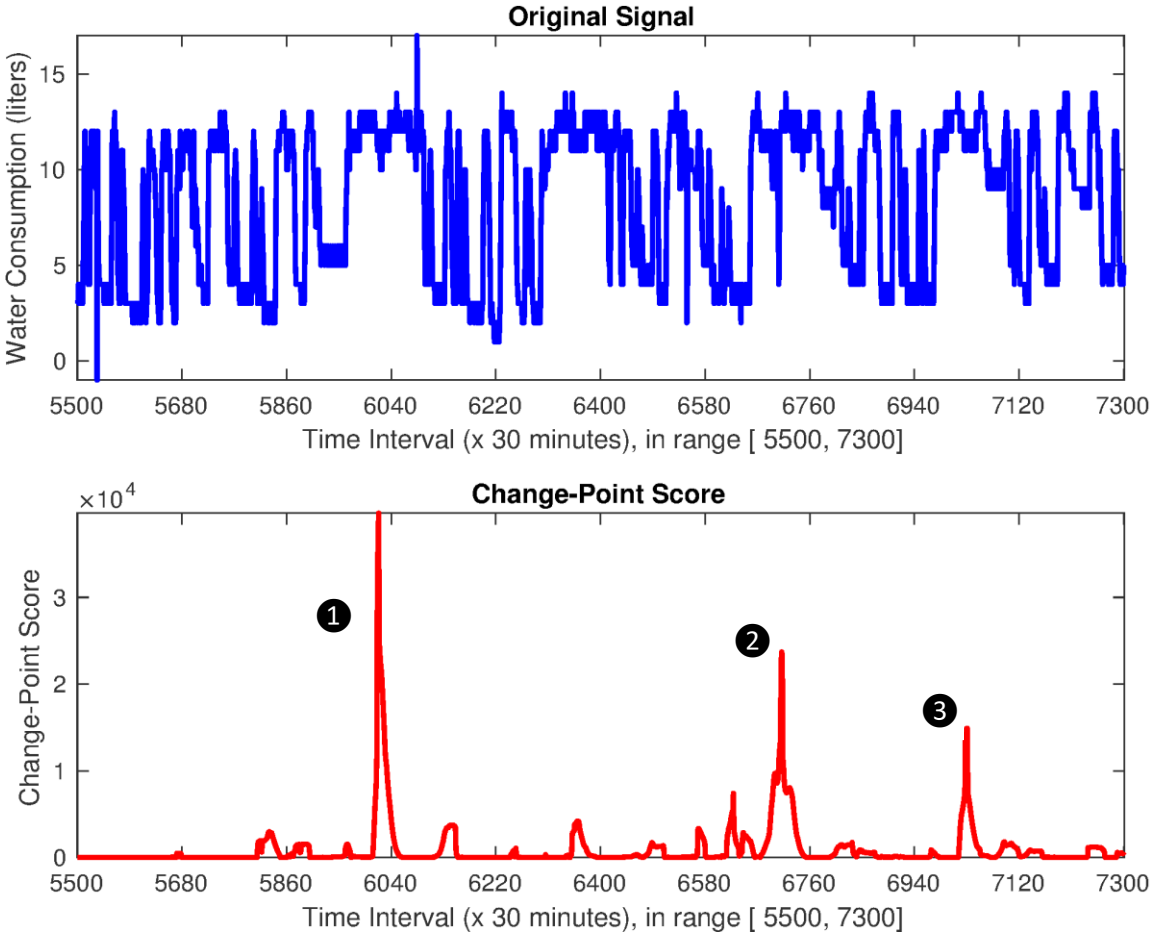
Εικόνα 16. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για το 1ο διάστημα ενδιαφέροντος [13/7/2019 12:00, 17/7/2019 16:00].

- Ανάλυση του 2ου διαστήματος (Εικόνα 17) εντοπίζει ανωμαλία στα δεδομένα στα χρονικά σημεία 1-4, τα οποία δεν καταγράφονται από την πλατφόρμα AMR. Η χρονοσειρά "*Original Signal*" στην Εικόνα 17 δείχνει μετατόπιση προς τα πάνω των δεδομένων κατανάλωσης στο διάστημα [4660, 5100], υποδηλώνοντας άδηλη διαρροή η οποία μηδενίζει για μικρό χρονικό διάστημα (ίσως γιατί ο μετρητής δεν καταγράφει δεδομένα) και συνεχίζει αμέσως μετά (διάστημα [5200, 5500]).



Εικόνα 17. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για το 2ο διάστημα ενδιαφέροντος [28/9/2019 14:00, 19/10/2019 10:00].

- Ανάλυση του 3ου διαστήματος (Εικόνα 18), εντοπίζει ανωμαλία στα δεδομένα στα χρονικά σημεία 1 (το οποίο δεν καταγράφεται από την πλατφόρμα AMR) και στα σημεία 2-3 τα οποία καταγράφονται μεν αλλά με κάποια καθυστέρηση ημερών. Το σημείο 1 αφορά στο 30-λεπτο 6040 (3/11/2019), ενώ τα σημεία 2-3 στα 30-λεπτα 6700 (17/11/2019) και 7000 (23/11/2019) αντίστοιχα. Σημειώνεται επίσης ότι η χρονοσειρά "*Original Signal*"στην Εικόνα 18 δεν φαίνεται εκ πρώτης όψεως να περιέχει κάποια ανωμαλία στα δεδομένα, και χωρίς την χρήση μεθόδων '*change-point detection*' δεν θα ήταν δυνατή η ανίχνευση προβλημάτων στο δίκτυο.



Εικόνα 18. Χρονοσειρά κατανάλωσης νερού (υδρομετρητής 1030-007-7212) για το 3ο διάστημα ενδιαφέροντος [23/10/2019 14:00, 23/11/2019 20:00].

Άλλες προτεινόμενες δράσεις για μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων της πλατφόρμας AMR:

- Ενοποίηση της πλατφόρμας AMR με τις άλλες ηλεκτρονικές πλατφόρμες του ΣΥΛ για σύζευξη δεδομένων (*hydroinformatics*) και δημιουργία περιβάλλοντος "*business analytics*".
- Ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης στην πλατφόρμα (*e.g. deep learning, bagged trees, etc.*)
- Δημιουργία χωρο-χρονικών χαρτών συμπεριφοράς του δικτύου (*spatio-temporal maps*) για μελέτη της συμπεριφοράς του δικτύου στον χρόνο, των γεγονότων σε αυτό και τυχόν χωρο-χρονικών συστάδων (*spatio-temporal clusters*) (Εικόνα 19).

Εικόνα 19. Χωρο-χρονική ανάλυση περιστατικών αστοχιών στο δίκτυο (περίοδος 01.07.2019 – 30.11.2019).

- Το '*Smart Water Metering*' και το '*Smart Water Leakage Management*', βασικές πτυχές του AMR, μπορούν να γίνουν αναπόσπαστο μέρος του '*Smart City*'. Δηλαδή, το σύστημα AMR

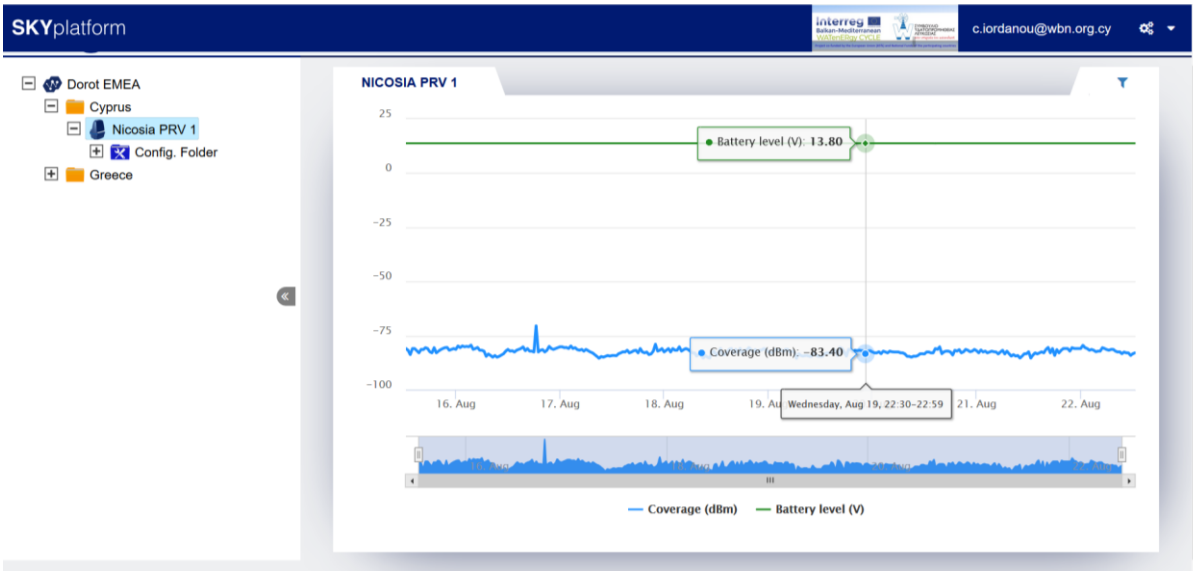
να γίνει η αρχή και η βάση για επέκταση τεχνολογιών τηλεδιαχείρισης και επιχειρηματικής ευφυΐας (business intelligence).

- Οι τεχνολογίες AMR και PRV, σε συνάρτηση με την προτεινόμενη εφαρμογή υδραυλικών μοντέλων, χαρτογραφήσεων δικτύου, τοπογραφίας και περιβάλλουσας χρήσης γης, και τα ολοκληρωμένα DSS μπορούν να προσδώσουν στο ΣΥΛ επιπρόσθετη αξία μέσω της ζεύξης νερού-ενέργειας ('*water-energy nexus*'). Αναλυτικότερη αναφορά για τις συγκεκριμένες δυνατότητες δίδεται στο Κεφ. 6 (σελ. 41).

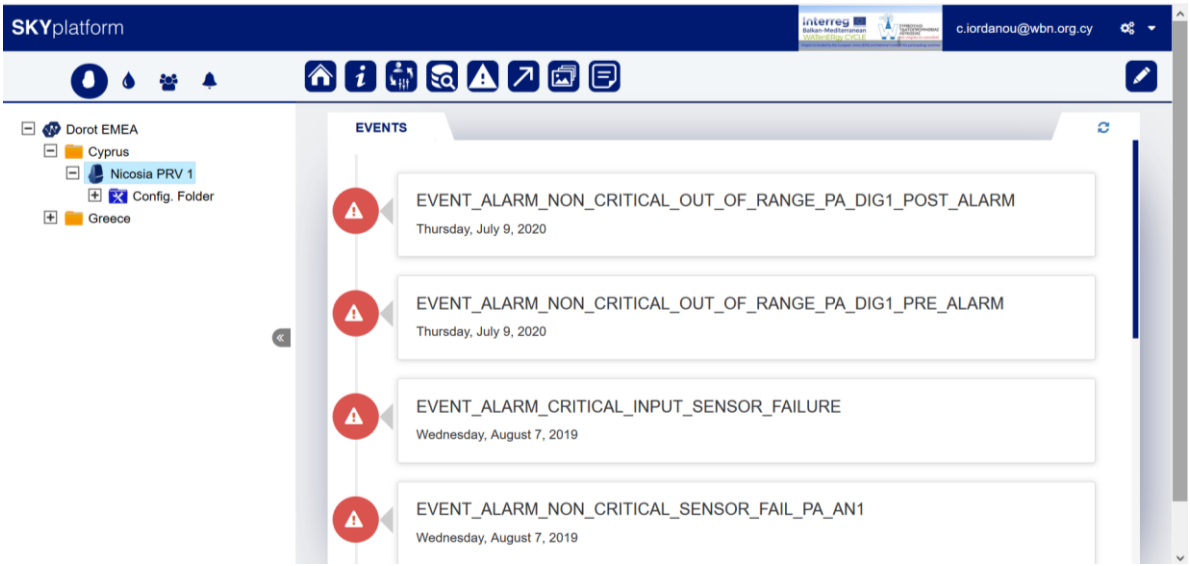
3 Pressure-Reducing Valves (PRV)

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του συστήματος

Στο παρόν στάδιο, το ΣΥΛ λειτουργεί μόνο μια 'έξυπνη' βαλβίδα *PRV*, στην περιοχή της πανεπιστημιούπολης (Αγλαντζιά). Το σύστημα εξ αποστάσεως παρακολούθησης της βαλβίδας δίδει τη δυνατότητα στο ΣΥΛ δημιουργίας γραφήματος (χρονοσειρά) απόδοσης της (Εικόνα 20) και λίστας ειδοποιήσεων/σφαλμάτων της (Εικόνα 21).



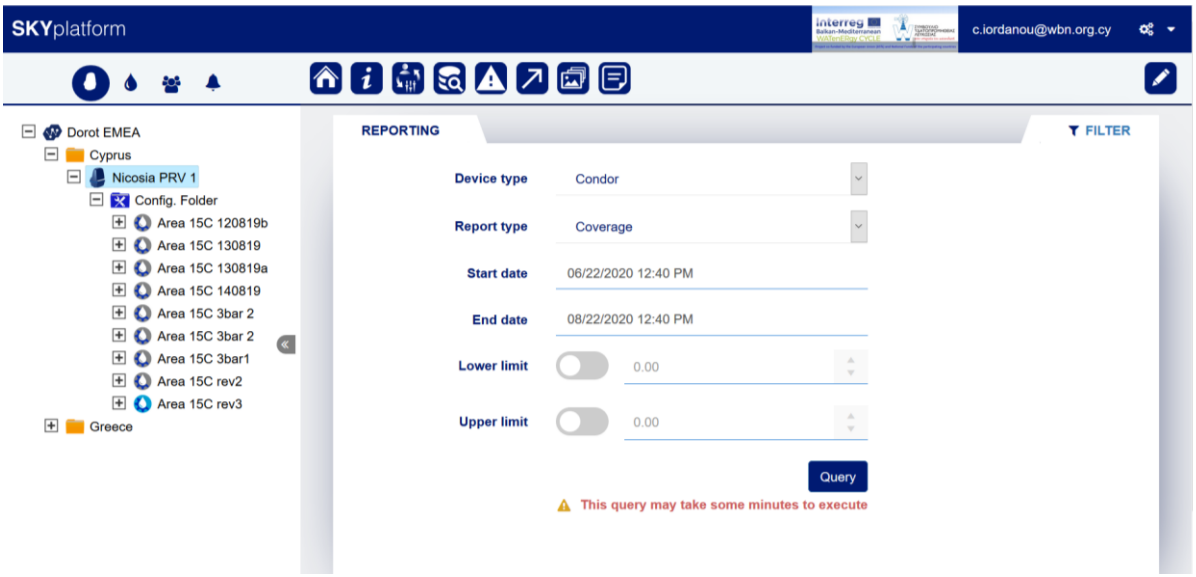
Εικόνα 20. Τυπικό γράφημα (χρονοσειρά) PRV.



Εικόνα 21. Δυνατότητα καταγραφής ειδοποιήσεων/σφαλμάτων PRV.

Το σύστημα PRV δίδει επίσης τη δυνατότητα στο ΣΥΛ να εξάγει ιστορικά δεδομένα λειτουργίας της βαλβίδας, αλλά όχι τη δυνατότητα παραμετροποίησης αυτών των δεδομένων όσον αφορά τη

συχνότητα μετρήσεων (Εικόνα 22). Το εύρος περιόδου καταγραφής δεδομένων καλύπτει όλα τα έτη καταγραφής δεδομένων.

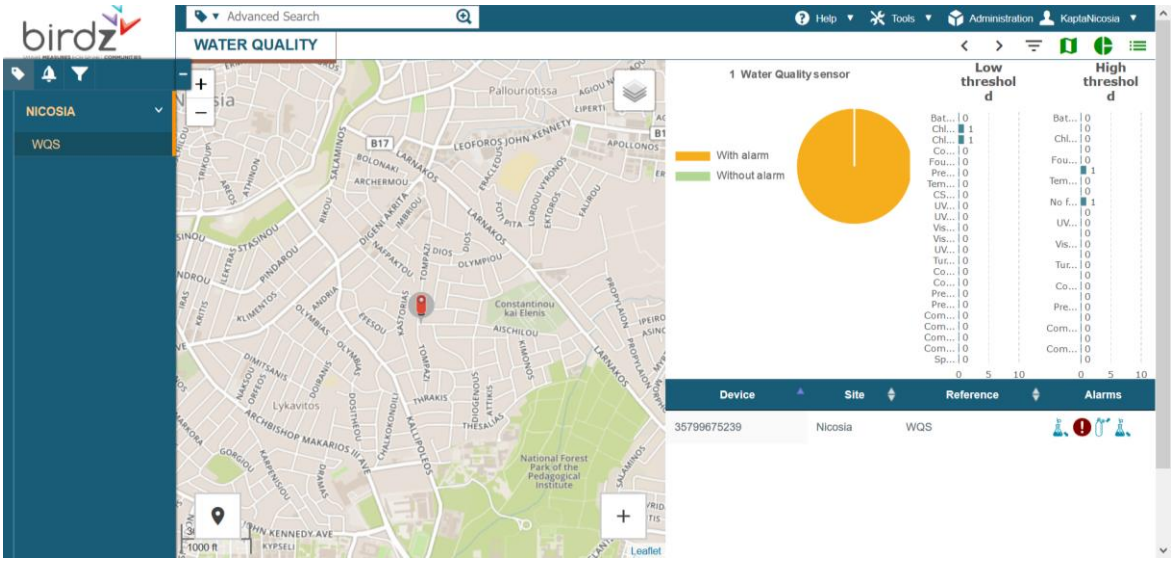


Εικόνα 22. Δυνατότητα εξαγωγής ιστορικών δεδομένων PRV.

4 Αισθητήρες Ποιότητας Νερού (Water Quality Sensor, WQS)

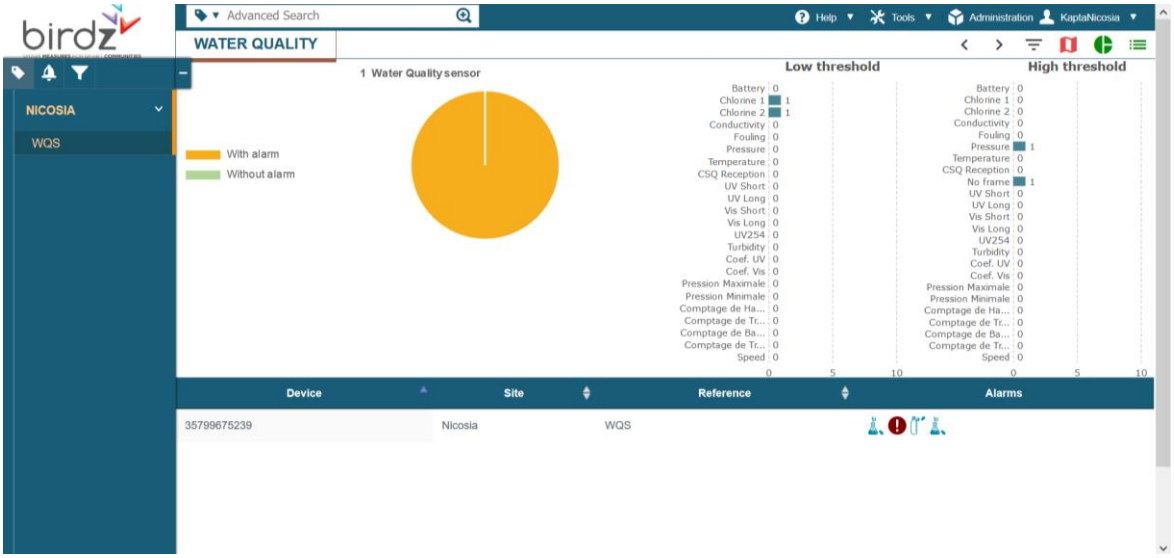
4.1 Γενικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του συστήματος

Στο παρόν στάδιο, το ΣΥΛ λειτουργεί μια μόνο διάταξη αισθητήρων ποιότητας νερού (*WQS*), στην οδό Χαλκιδικής (πλησίον της συμβολής Λεωφ. Διγενή Ακρίτα και Λεωφ. Λάρνακος, Ταχ. Κώδικας 1048).

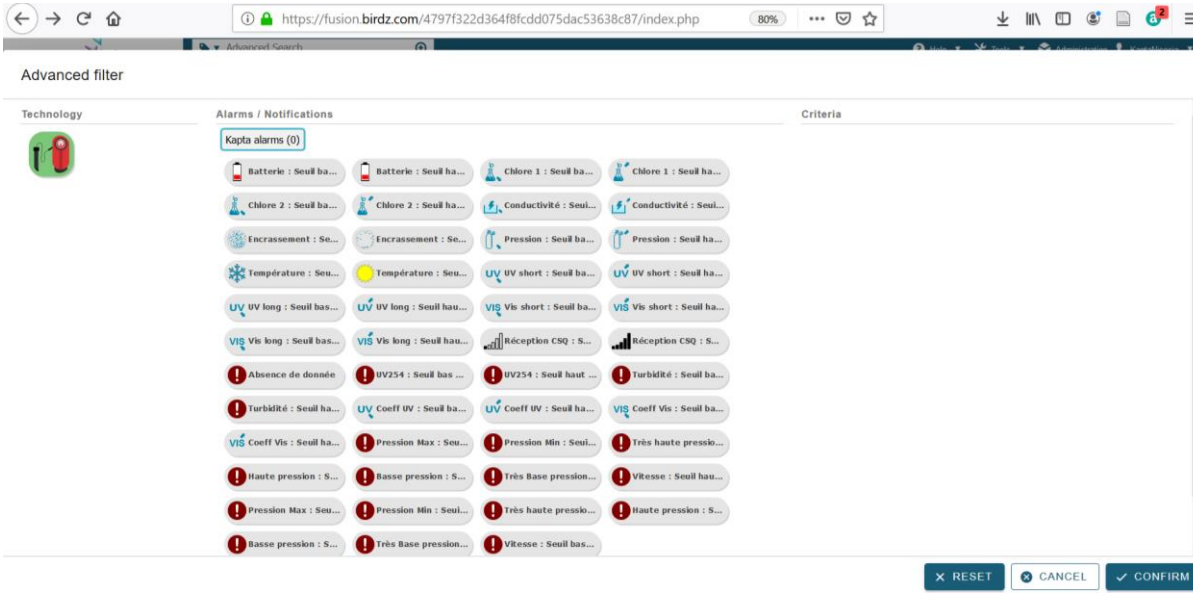


Εικόνα 23. Τοποθεσία αισθητήρα ποιότητας νερού (WQS) και ηλεκτρονική διεπαφή συστήματος παρακολούθησης του.

Το λογισμικό διεπαφής με τον αισθητήρα δίνει τη δυνατότητα στο ΣΥΛ της παρακολούθησης αριθμού ποιοτικών χαρακτηριστικών νερού στο δίκτυο (Εικόνα 24) και την αυτόματη πρόκληση ειδοποιήσεων (‘*alerts*’) όταν οι παράμετροι αυτοί είναι εκτός επιτρεπτών ορίων (Εικόνα 24). Αρκετές από αυτές τις παραμέτρους δεν είναι προς το παρόν διαθέσιμες (Εικόνα 25) λόγω του ότι δεν είναι εγκαταστημένοι οι αντίστοιχοι αισθητήρες.

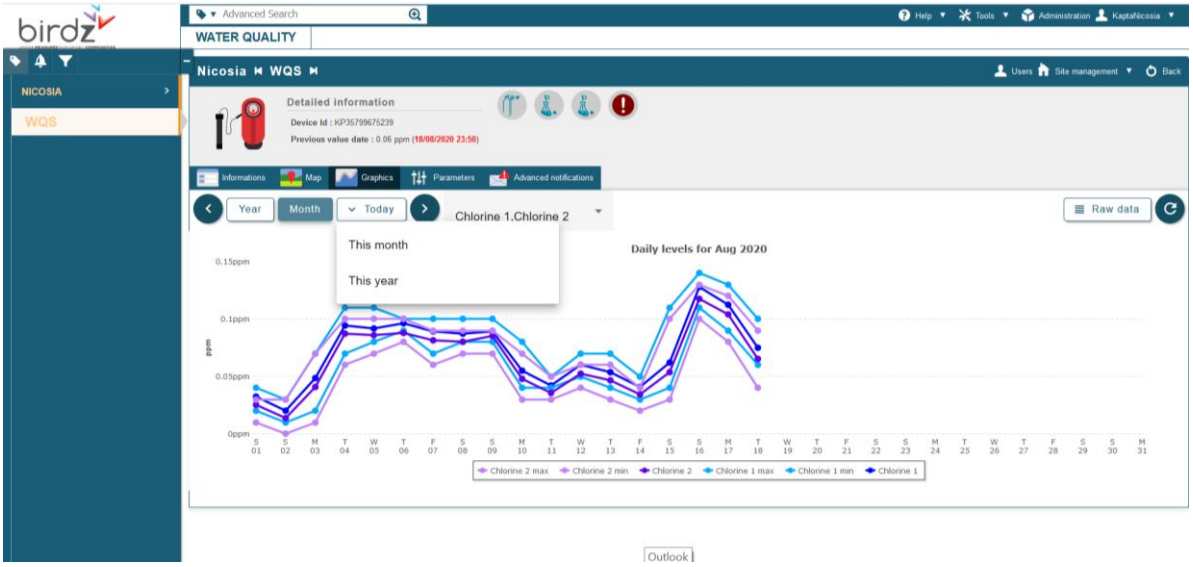


Εικόνα 24. Μετρήσιμοι δείκτες αισθητήρα WQS και θεμιτά όρια τους.

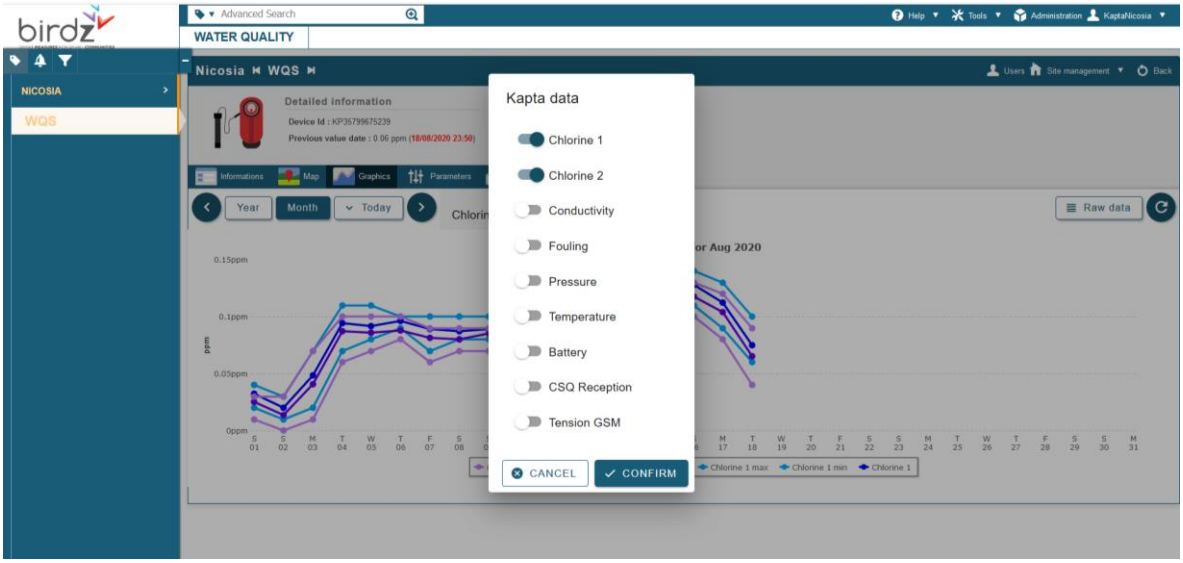


Εικόνα 25. Μετρήσιμοι δείκτες αισθητήρα WQS.

Η πλατφόρμα δίδει την δυνατότητα στο ΣΥΛ να δημιουργεί γραφικές παραστάσεις (Εικόνα 26) για διαφορετικές παραμέτρους ποιότητας (Εικόνα 27) και να εξάγει ιστορικά δεδομένα από το σύστημα, χωρίς όμως δυνατότητα παραμετροποίησης αυτών των δεδομένων (περίοδο, συχνότητα, περιοχή ενδιαφέροντος). Το εύρος περιόδου καταγραφής δεδομένων καλύπτει όλα τα έτη καταγραφής δεδομένων.



Εικόνα 26. Τυπικό γράφημα (χρονοσειρά) αισθητήρα WQS.

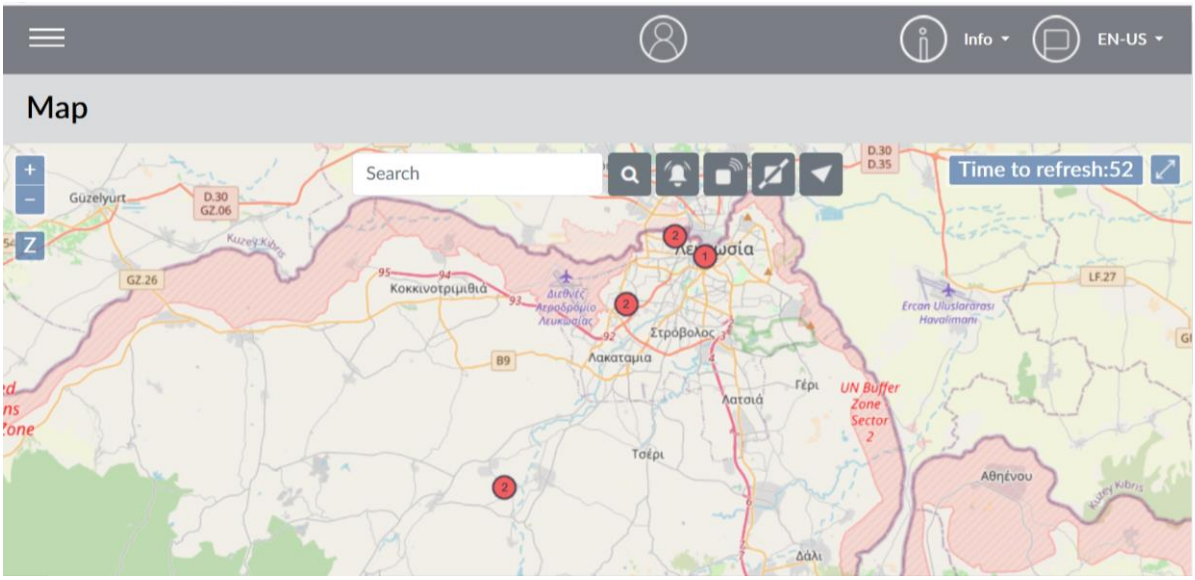


Εικόνα 27. Δυνατότητα γραφημάτων αισθητήρα WQS.

5 Καταγραφικά Πίεσης (Pressure Loggers, PL)

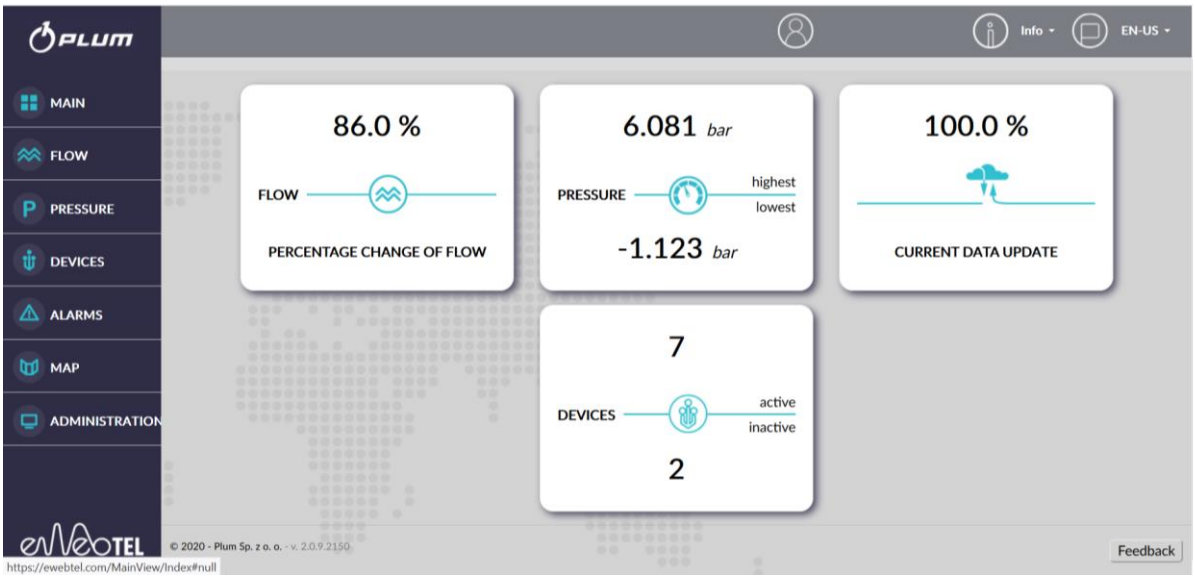
5.1 Γενικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του συστήματος

Το ΣΥΛ επι του παρόντος λειτουργεί 9 καταγραφικά πίεσης (*PL*) τύπου PLUM στην ευρύτερη περιοχή Λευκωσίας (Εικόνα 28), εκ των οποίων 7 είναι ενεργά (απεικονίζονται στον χάρτη) (Εικόνα 28), ενώ τα 2 καταγραφικά που δεν απεικονίζονται στον χάρτη είναι προς το παρόν στα γραφεία του ΣΥΛ και θα τοποθετηθούν μελλοντικά σε υδρομετρητές της Αρχής Τηλεπικοινωνιών Κύπρου (Εικόνα 29). Σημειώνεται, όμως, ότι το ΣΥΛ λειτουργεί πέραν των 100 καταγραφικών πίεσης διαφόρων τύπων σε όλο το δίκτυο υδροδότησης.



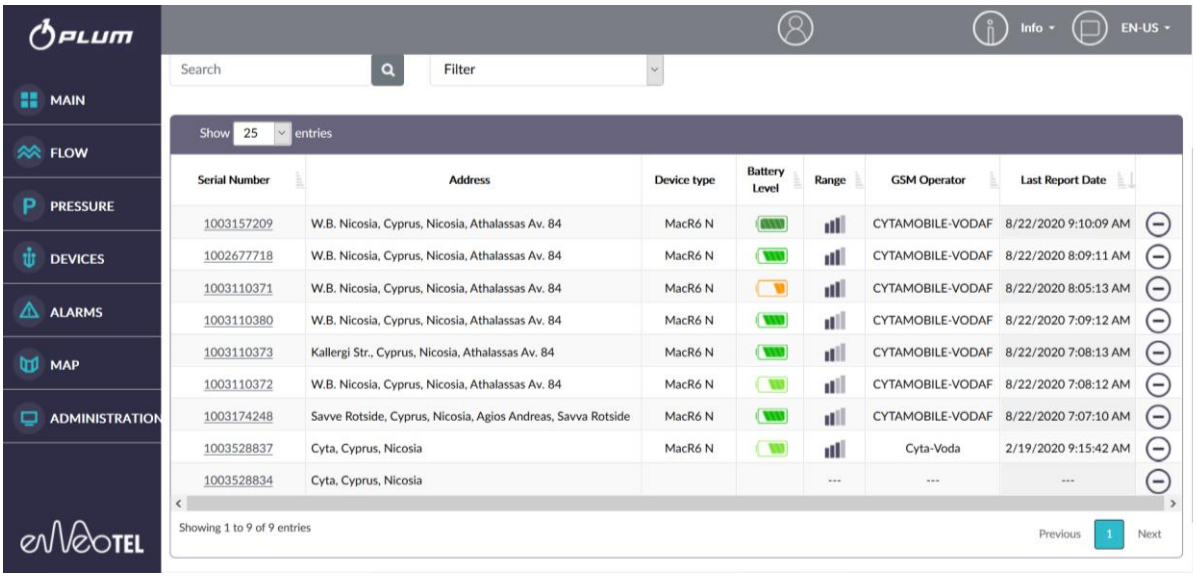
Εικόνα 28. Τοποθεσίες καταγραφικών πίεσης (PL).

Τα καταγραφικά αυτά καταγράφουν την πίεση και ροή νερού στο δίκτυο (Εικόνα 29), στους κόμβους εγκατάστασης τους.

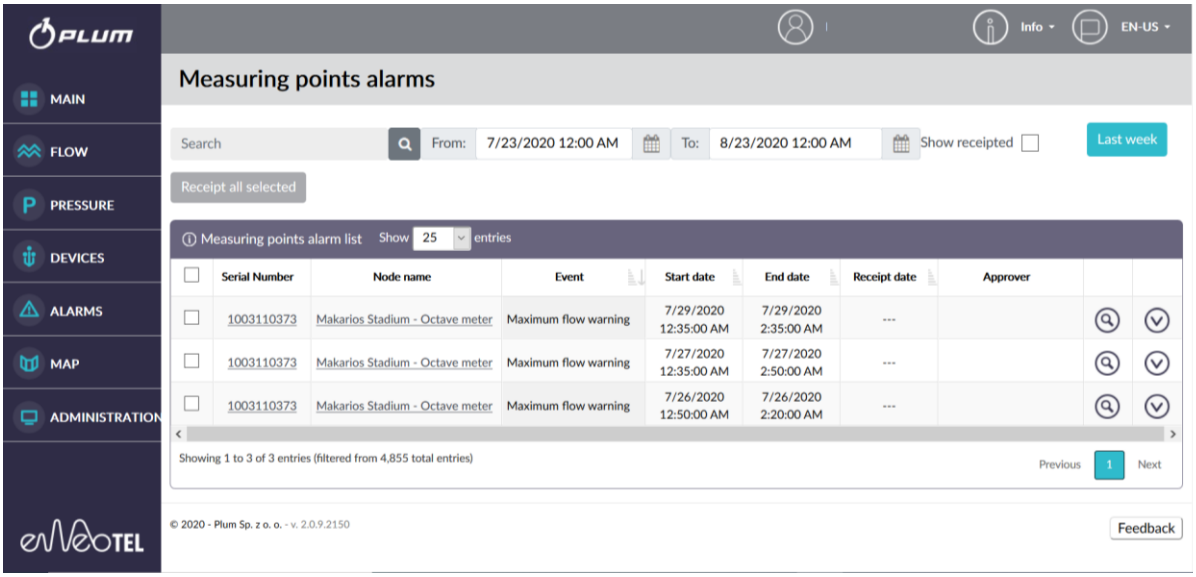


Εικόνα 29. Ηλεκτρονική διεπαφή συστήματος παρακολούθησης καταγραφικών πίεσης (PL).

Το σύστημα δίνει τη δυνατότητα στο ΣΥΛ να έχει πρόσβαση στις μετρήσεις εκάστου μετρητή (Εικόνα 30) και στις ειδοποιήσεις/σφάλματα που προκαλεί (Εικόνα 31).

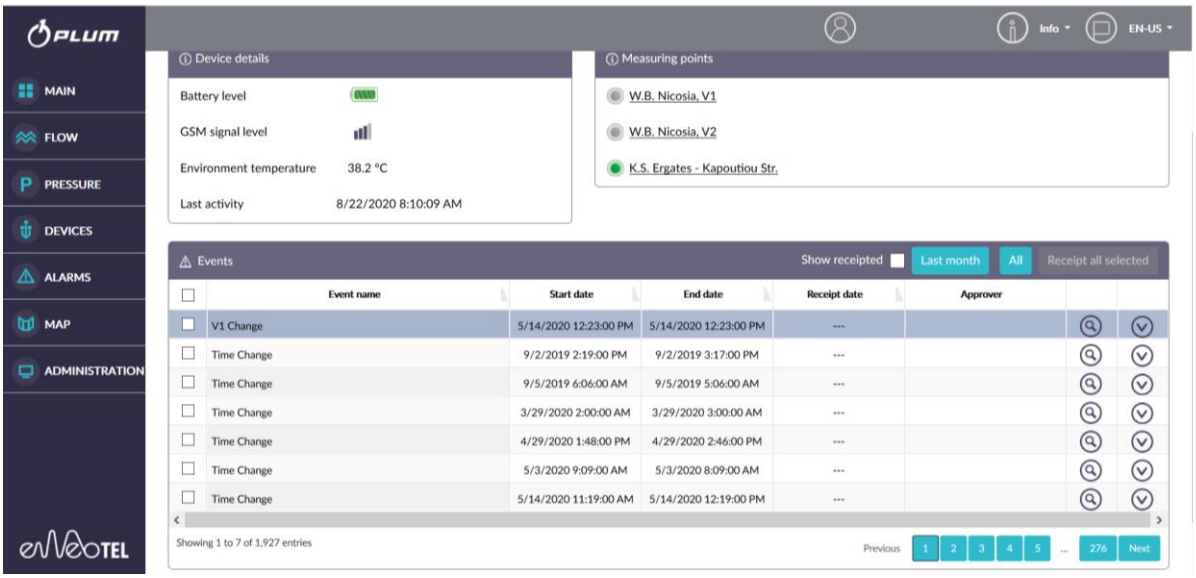


Εικόνα 30. Κατάλογος καταγραφικών πίεσης (PL) και πρόσφατης καταγραφής.



Εικόνα 31. Κατάλογος ειδοποιήσεων/σφαλμάτων καταγραφικών πίεσης (PL).

Τέλος, το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων/σφαλμάτων των καταγραφικών για περαιτέρω αναλύσεις (Εικόνα 32), χωρίς όμως δυνατότητα παραμετροποίησης αυτών των δεδομένων (περίοδο, συχνότητα, περιοχή ενδιαφέροντος). Το εύρος περιόδου καταγραφής δεδομένων καλύπτει όλα τα έτη καταγραφής δεδομένων.



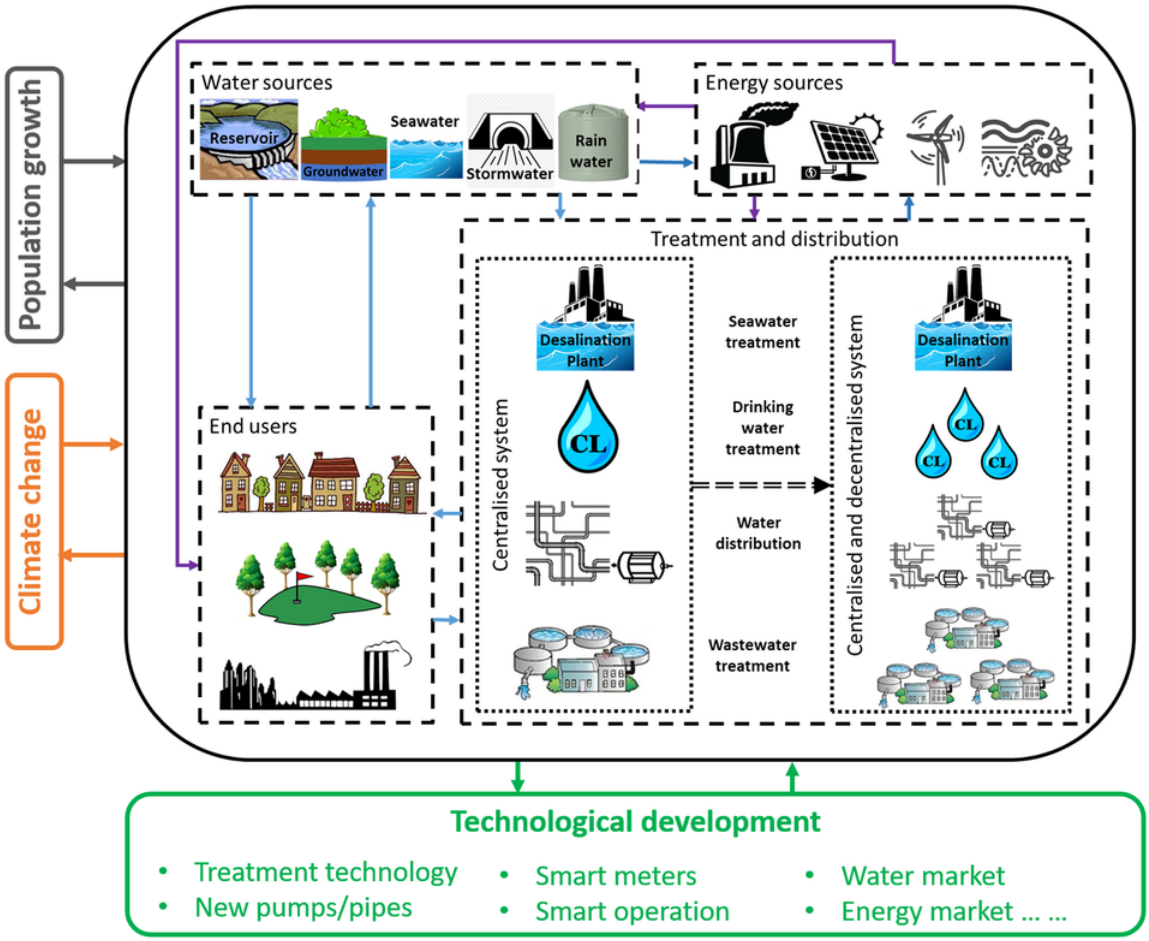
Εικόνα 32. Διεπαφή και εξαγωγή δεδομένων καταγραφικών πίεσης (PL).

6 Water-Energy Nexus

6.1 Βασικές έννοιες

Ένα από τα σημαντικότερα αναδυόμενα θέματα των τελευταίων ετών είναι η σχέση αλληλοεπίδρασης μεταξύ νερού και ενέργειας, και η υιοθέτηση τεχνικών και τεχνολογιών ισοζύγισης αυτής της σχέσης προς το συμφέρον της κοινωνίας.

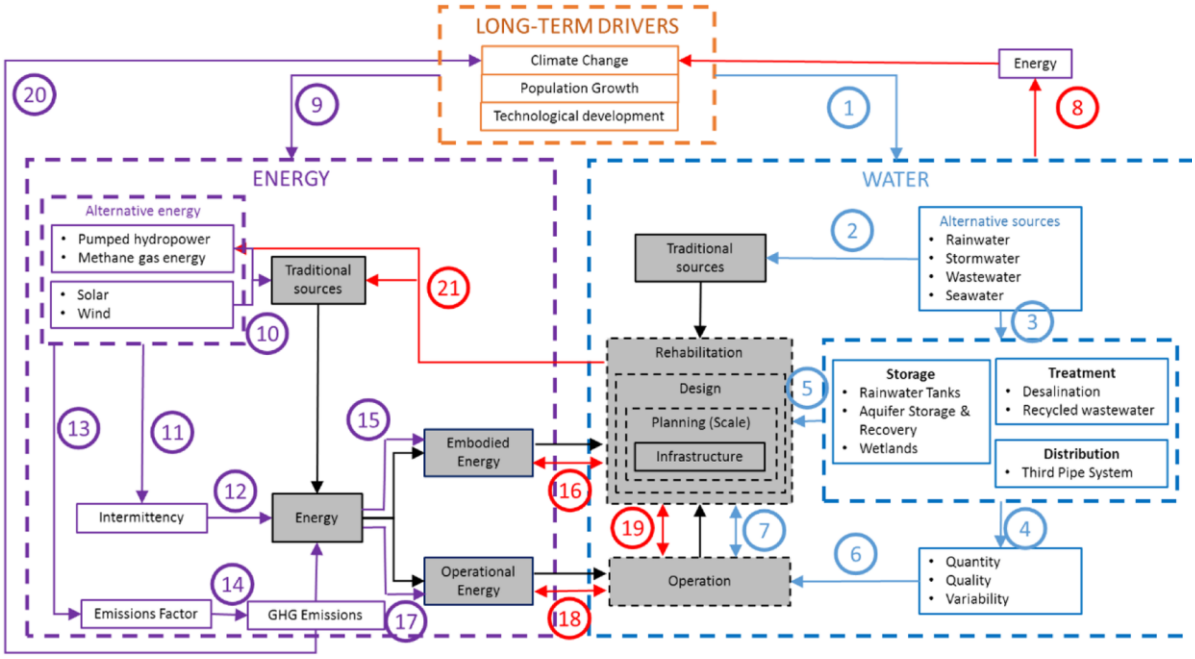
Η σχέση νερού-ενέργειας (‘*water-energy nexus*’) είναι, εν συντομία, η σχέση ανάμεσα στο πόση ποσότητα νερού χρησιμοποιείται για την παραγωγή και τη μετάδοση ενέργειας, και πόση ενέργεια χρειάζεται για τη συλλογή, τον καθαρισμό, τη μεταφορά, την αποθήκευση ή/και την απόρριψη του νερού. Η σχέση αυτή, βασικά στοιχεία της οποίας δίδονται στην Εικόνα 33, και η ευρύτερη σχέση νερού-ενέργειας-τροφής (‘*water-energy-food nexus*’) παρουσιάζει μια μεγάλη πρόκληση αλλά και ταυτόχρονα μια τεράστια επιχειρηματική ευκαιρία για τους οργανισμούς που συμμετέχουν σε αυτή την τροφοδοτική αλυσίδα.



Εικόνα 33. Το πλέγμα νερού-ενέργειας σε παραδοσιακά αστικά δίκτυα διανομής νερού[4] (Σημείωση: Τα μωβ βέλη δείχνουν τη ροή ενέργειας και τα μπλε βέλη δείχνουν τη ροή του νερού).

[4] Πηγή: Wu, W., Maier, H. R., Dandy, G. C., Arora, M., & Castelletti, A. (2020). The changing nature of the water–energy nexus in urban water supply systems: a critical review of changes and responses. Journal of Water and Climate Change (https://doi.org/10.2166/wcc.2020.276).

Η Εικόνα 34απεικονίζει τη μεταβαλλόμενη φύση του πλέγματος νερού-ενέργειας για αστικά συστήματα παροχής νερού (*urban water supply systems*, UWSS) από την προοπτική της «ενέργειας για νερό». Το πλαίσιο αυτής της μεταβαλλόμενης φύσης αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία: (i) μακροπρόθεσμων οδηγών αλλαγής (με πορτοκαλί χρώμα), (ii) συστήματα παροχής νερού (μπλε κουτιά και βέλη), (iii) προκυπτουσών επιπτώσεων στα συστήματα ενέργειας (μωβ κουτιά και βέλη) και (iv) στις αντίστοιχες αλλαγές στη φύση του πλέγματος νερού-ενέργειας (κόκκινα βέλη).



Εικόνα 34. Πλαίσιο που περιγράφει τη μεταβαλλόμενη φύση του πλέγματος νερού-ενέργειας για τυπικά αστικά δίκτυα παροχής νερού, από την οπτική γωνία «ενέργεια για νερό»[5].

Τα πιο βασικά συμπεράσματα από τις διάφορες διεθνείς δράσεις επί του θέματος είναι τα εξής:

- Τα συστήματα ενέργειας και νερού (και, κατ΄ επέκταση, της τροφοδοτικής αλυσίδας) αλληλεξαρτώνται.
- Δεν μπορούμε να υποθέσουμε ότι το μέλλον θα είναι όπως το παρελθόν όσον αφορά τις κλιματικές συνθήκες, τη τεχνολογία και τον τρόπο λήψεως αποφάσεων.
- Η λειψυδρία, η μεταβλητότητα στις πηγές ύδατος και η σχετική με το νερό αβεβαιότητα γίνονται πιο εμφανείς, οδηγώντας ενδεχομένως σε αύξηση της τρωτότητας του ενεργειακού συστήματος υποστήριξης των δικτύων ύδρευσης.
- Ήρθε η ώρα για μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων και των ευκαιριών του πλέγματος νερού-ενέργειας.
- Στη διάθεση της πολιτείας και των εμπλεκόμενων οργανισμών, υπάρχει ισχυρή γνώση στην τεχνολογία, τα δεδομένα, τη μοντελοποίηση και την ανάλυση που μπορούν να συμβάλουν στην κατανόηση των ζητημάτων και των λύσεων σε ολόκληρο το πλέγμα νερού-ενέργειας.
- Η εξωστρέφεια οργανισμών και η συνεργασία τους με άλλους οργανισμούς, σχετικούς με το πλέγμα νερού-ενέργειας, είναι ζωτικής σημασίας.

[5] Πηγή: Wu, W., Maier, H. R., Dandy, G. C., Arora, M., & Castelletti, A. (2020). The changing nature of the water–energy nexus in urban water supply systems: a critical review of changes and responses. Journal of Water and Climate Change (https://doi.org/10.2166/wcc.2020.276).

Επιπρόσθετα, όσον αφορά διαχειριστές δικτύων ύδρευσης, η γνώση που αποκτήθηκε διεθνώς για το πλέγμα νερού-ενέργειας υποδεικνύει τους πιο κάτω στρατηγικούς πυλώνες για την καλύτερη αξιοποίηση του:

1. Βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της παραγωγής ενέργειας και των συστημάτων τελικής χρήσης του νερού.
2. Βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων διαχείρισης νερού, επεξεργασίας, διανομής και τελικής χρήσης του.
3. Βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας και της ανθεκτικότητας των συστημάτων ενέργειας και νερού.
4. Αύξηση της ασφάλειας και παραγωγικής χρήσης μη παραδοσιακών πηγών νερού.
5. Προώθηση υπεύθυνων ενεργειακών δράσεων σε σχέση με την ποιότητα του νερού, το περιβάλλον οικοσύστημα και των εξωτερικών επιπτώσεων σε αυτά (π.χ. σεισμικές επιπτώσεις).
6. Αξιοποίηση παραγωγικών συνεργιών μεταξύ των συστημάτων (και διαχειριστών τους) νερού και ενέργειας ή/και ερευνητικών φορέων.

6.2 Δυνατότητες προς αξιοποίηση από το ΣΥΛ

Με βάση τα πιο πάνω διεθνή συμπεράσματα και στρατηγικούς στόχους, και χρησιμοποιώντας τις υπό δοκιμασία τεχνολογίες (AMR, PRV, sensors) και την υπάρχουσα τεχνογνωσία του, το ΣΥΛ δύναται όπως προβεί σε διάφορες δράσεις στα πλαίσια του πλέγματος νερού-ενέργειας όπως καταγράφονται πιο κάτω στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Στόχοι και πιθανές δράσεις ΣΥΛ στα πλαίσια του πλέγματος νερού-ενέργειας.

Στόχος		**Πιθανές Δράσεις**
1.	Βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της παραγωγής ενέργειας και των συστημάτων τελικής χρήσης του νερού.	• Αναβάθμιση υπαρχουσών αντλιών νερού και άλλων ενεργοβόρων μηχανημάτων ΣΥΛ σε νέας τεχνολογίας οικολογικά μηχανήματα. • Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου είναι εφικτό (π.χ. υδρομετρητές, αντλιοστάσια, τηλεμέτρηση, κλπ). • Χρήση ειδικών βαλβίδων και μικρο-γεννητριών στο δίκτυο διανομής νερού, για παραγωγή ενέργειας από τη ροή νερού ή την πίεση σε αυτό (‘*micro hydropower generation*’). • Αξιοποίηση των υψομετρικών διαφορών στο ανάγλυφο του εδάφους (και του δικτύου ύδρευσης) για παραγωγή ενέργειας.
2.	Βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων διαχείρισης νερού, επεξεργασίας, διανομής και τελικής χρήσης του.	
3.	Βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας και της ανθεκτικότητας των συστημάτων ενέργειας και νερού.	• Συνεχής αξιολόγηση και επεμβάσεις αναβάθμισης του δικτύου ύδρευσης (αγωγοί, αντλίες, κλπ.). • Αξιοποίηση επιστημονικών μελετών για τη συμπεριφορά του δικτύου υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, και για τον αναμενόμενο ωφέλιμο χρόνο ζωής των υποσυστημάτων του δικτύου. • Μείωση του όγκου απωλειών στο δίκτυο ύδρευσης και στο ατιμολόγητο νερό. • Επέκταση της χρήσης συστημάτων AMR.
4.	Αύξηση της ασφάλειας και παραγωγικής χρήσης μη παραδοσιακών πηγών νερού.	• Μείωση στην εξάρτηση σε αφαλατωμένο νερό και αύξηση της συλλογής και χρήσης βρόχινου νερού (π.χ. φράγματα, δεξαμενές) ή από γεωτρήσεις. • Μείωση του όγκου απωλειών στο δίκτυο ύδρευσης και στο ατιμολόγητο νερό.

Στόχος		Πιθανές Δράσεις
5.	Προώθηση υπεύθυνων ενεργειακών δράσεων σε σχέση με την ποιότητα του νερού, το περιβάλλον οικοσύστημα και των εξωτερικών επιπτώσεων σε αυτά (π.χ. σεισμικές επιπτώσεις).	• Εγκατάσταση και αξιοποίηση αισθητήρων ποιότητας νερού. • Επέκταση της χρήσης συστημάτων AMR. • Ζεύξη συστημάτων τηλεμέτρησης και ανάπτυξη DSS για αυτοματοποιημένη και έγκαιρη λήψη αποφάσεων. • Αξιολόγηση κινδύνων στο δίκτυο από κλιματικές αλλαγές, αλλαγή πολεοδομικών ζωνών ή/και επέκταση δικτύου, σεισμική δράση, συνεχή/διακοπτόμενη παροχή, αυξομειώσεις πίεσης, κλπ. • Αξιοποίηση επιστημονικών μελετών για τη συμπεριφορά του δικτύου υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, και για τον αναμενόμενο ωφέλιμο χρόνο ζωής των υποσυστημάτων του δικτύου.
6.	Αξιοποίηση παραγωγικών συνεργιών μεταξύ των συστημάτων (και διαχειριστών τους) νερού και ενέργειας ή/και ερευνητικών φορέων.	• Κοινές μελέτες σχεδιασμού και εκτέλεσης έργων αναβάθμισης των δικτύων. • Κοινά ερευνητικά έργα με τη συμμετοχή ερευνητικών φορέων, με απώτερο στόχο την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών. • Ανάπτυξη και κοινή χρήση μοντέλων, δεδομένων και χαρτών.

6.3 Η αξία των δεδομένων, της μοντελοποίησης, της ανάλυσης και των συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων

Κοινή συνισταμένη σε πολλές από τις προτεινόμενες δράσεις, προς αξιοποίηση από το ΣΥΛ των διαθέσιμων τεχνολογιών και πρακτικών του, είναι η αξία των δεδομένων που συλλέγονται (και της προκύπτουσας διαχρονικής γνώσης μέσα από αυτά), η εύκολη πρόσβαση στα δεδομένα, η διασύνδεση τους με άλλες πηγές πληροφοριών, η μοντελοποίηση και ανάλυση τους, και εν τέλει η αξιοποίηση τους σε ολοκληρωμένα συστήματα λήψεως αποφάσεων (DSS).

Ενδεικτικές δράσεις προς αξιοποίηση των δεδομένων του ΣΥΛ δίδονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Ενδεικτικές δράσεις προς αξιοποίηση των δεδομένων του ΣΥΛ.

Παραδοχή/Εύρημα		Πιθανές Δράσεις
1.	Η σχέση νερού-ενέργειας επηρεάζεται από πολλά δυναμικά υποσυστήματα, όπως τη ζήτηση και τη προσφορά νερού και ενέργειας, τη χρήση και κάλυψη γης, τον πληθυσμό, τη τεχνολογία, ισχύουσες νομοθεσίες και πολιτική διαχείρισης, περιφερειακά οικονομικά, ακραίες καιρικές συνθήκες και κλίμα.	• Χαρτογράφηση δικτύου (και υποσυστημάτων) ΣΥΛ • Ανάπτυξη/χρήση υδραυλικού μοντέλου ΣΥΛ. • Χαρτογράφηση της Λευκωσίας, με καταγραφή υψομέτρων, είδος χρήσης γης, πυκνότητα πληθυσμού, κλπ. • Μελέτη σκοπιμότητας (‘*feasibility study*’) για βέλτιστη αξιοποίηση της σχέσης νερού-ενέργειας.
2.	Η βέλτιστη ενσωμάτωση και διασύνδεση μοντέλων που εκτείνονται σε αυτούς τους τομείς μπορεί να αντικατοπτρίζει καλύτερα τη δυναμική των αλληλεπιδράσεων και των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ τέτοιων σύνθετων συστημάτων.	• Μελέτη εφαρμογής (‘*implementation study*’) για βέλτιστη αξιοποίηση της σχέσης νερού-ενέργειας. • Τροποποιήσεις/αναβαθμίσεις στο δίκτυο ΣΥΛ (πιέσεις και ροή νερού, PRV, *micro-hydroturbines*, χρήση φωτοβολταϊκών, κλπ.). • Επέκταση χρήσης συστημάτων τηλεματικής (αισθητήρες, AMR, κλπ.).
3.	Τα διαθέσιμα δεδομένα και οι ανάγκες για πληροφορίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα χωρικών και χρονικών κλιμάκων,	• Επέκταση χρήσης συστημάτων τηλεματικής (αισθητήρες, AMR, κλπ.).

Παραδοχή/Εύρημα		Πιθανές Δράσεις
	απαιτώντας βελτιωμένη δυνατότητα για μακροσκοπική ανάλυση.	• Ενοποιημένη βάση δεδομένων για όλα τα συστήματα τηλεματικής σε χρήση από το ΣΥΛ. • Ανάπτυξη API και δυνατότητας εξαγωγής δεδομένων '*on-demand*', για διαφορετικές χωροχρονικές κλίμακες. • Ανάπτυξη/χρήση μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης για ανάλυση των δεδομένων και την μετατροπή τους σε γνώση και βέλτιστες τεχνικές.
4.	Η πολυεπίπεδη και διαστρωματωμένη γνώση που βασίζεται σε δεδομένα και άλλες παρατηρήσεις που δημιουργούνται από μοντέλα, μπορούν να οδηγήσουν σε νέες γνώσεις και εργαλειοθήκες που θα υποστηρίξουν το πλέγμα νερού-ενέργειας και την συνδυασμένη ανθεκτικότητα του.	• Συνεχής αντιπαραβολή μοντέλων συμπεριφοράς δικτύου και δεδομένων επι του πεδίου, και χρήση των δεδομένων για επικαιροποίηση των μοντέλων. • Αξιοποίηση ερευνητικών αποτελεσμάτων και διεθνών γνώσεων για βελτίωση της ανθεκτικότητας του δικτύου ΣΥΛ.
5.	Οι ανάγκες λήψης αποφάσεων των ενδιαφερομένων υπερβαίνουν αυτές των πιο ολοκληρωμένων πλαισίων δεδομένων, μοντελοποίησης και συστημάτων γνώσης, και πρέπει να στοχεύουν σε: • Ποιοτικά και ποσοτικά σενάρια • Πιθανοτικές προσεγγίσεις • Πληροφορίες για ακραία σενάρια και για τα όρια αντοχής του συστήματος • Βελτιωμένο χαρακτηρισμό αβεβαιοτήτων	• Εμπλουτισμός των μοντέλων συμπεριφοράς του δικτύου ΣΥΛ (όγκος/ποιότητα νερού, πίεση, ροή/νερού, ενεργειακές ανάγκες, κλπ.) με ποιοτικά και ποσοτικά σενάρια, αβεβαιότητα, πιθανοτικές μεταβλητές και διαστήματα εμπιστοσύνης, για καλύτερη εκτίμηση του εύρους συμπεριφοράς του δικτύου σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

University of Cyprus

nireas International Water Research Center