

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Επιστημονικός
υπεύθυνος:

Α. Ευστρατιάδης,
ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Σύνταξη:

Α. Ευστρατιάδης
Ν. Μαμάσης
Ι. Τσουκαλάς

Εκσυγχρονισμός της διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας – Αναθεώρηση

Παραδοτέο 1

Συνοπτική τεχνική έκθεση περί της αξιολόγησης του πλημμυρικού κινδύνου των περιοχών που επηρεάζονται από το εν εξελίξει φαινόμενο υπερχείλισης του συστήματος Υλίκης-Παραλίμνης

Αθήνα, Μάρτιος 2019

Τα στοιχεία, οι πληροφορίες και οι αναλύσεις που περιέχονται στη μελέτη αυτή, αποτελούν ερευνητικό έργο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ). Το ΕΜΠ κατέβαλε κάθε προσπάθεια ώστε να διασφαλίσει ότι τα στοιχεία, οι πληροφορίες και οι αναλύσεις που εμφανίζονται στη μελέτη αυτή είναι ορθά και πλήρη. Όμως, δε φέρει καμία ευθύνη για την ακρίβεια και αξιοπιστία ή τη παράλειψη πληροφοριών και στοιχείων τα οποία έλαβε από τρίτους, ούτε για τυχόν ζημιά προερχόμενη άμεσα ή έμμεσα από τη χρήση των παραπάνω πληροφοριών και στοιχείων και των αναλύσεων και αποτελεσμάτων που είναι βασισμένες στις πληροφορίες και τα στοιχεία αυτά. Το ΕΜΠ δεν είναι υπεύθυνο για την καταβολή αποζημιώσεων ή για οποιοσδήποτε άλλες αξιώσεις και απαιτήσεις ενδέχεται να προκύψουν λόγω της χρήσης των στοιχείων, πληροφοριών, αναλύσεων και αποτελεσμάτων της μελέτης αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Αντικείμενο και διάρθρωση της έκθεσης	4
1.1	Αντικείμενο έκθεσης – ιστορικό.....	4
1.2	Διάθρωση έκθεσης.....	5
2	Περιγραφή φυσικού συστήματος και τεχνικών έργων	6
3	Τρέχουσα υδρολογική κατάσταση Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκης - Παραλίμνης	11
4	Επίδραση στην ασφάλεια των έργων υδροδότησης της Χαλκίδας και τις κατάντη περιοχές (όρμος Ανθηδώνας)	14
5	Κατάρτιση σεναρίων βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης υδατικού ισοζυγίου Υλίκης και Παραλίμνης	15
6	Συμπεράσματα – προτάσεις	22
	Αναφορές	25

1 Αντικείμενο και διάρθρωση της έκθεσης

1.1 Αντικείμενο έκθεσης – ιστορικό

Η παρούσα έκθεση υποβάλλεται στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου με τίτλο «*Εκσυγχρονισμός της διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας – Αναθεώρηση*», το οποίο εκπονείται από ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με Επιστημονικό υπεύθυνο τον α. Ευστρατιάδη, ΕΔΙΠ ΕΜΠ. Το αντικείμενο του έργου είναι η αναθεώρηση, αναβάθμιση και επέκταση των εργαλείων πληροφορικής που είχαν αναπτυχθεί σε παλαιότερες ερευνητικές συνεργασίες του ΕΜΠ με τη ΕΥΔΑΠ. Α.Ε., και η εν γένει υποστήριξη της Διεύθυνσης Υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. σε θέματα διαχείρισης των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας και μεταφοράς νερού.

Στην παρούσα συνοπτική έκθεση εξετάζεται η τρέχουσα κατάσταση των διασυνδεδεμένων λιμνών Υλίκης-Παραλίμνης, που λόγω των εξαιρετικά υψηλών εισροών των τελευταίων μηνών, η μεν Υλίκη υπερχειλίζει προς την Παραλίμνη, η δε στάθμη της Παραλίμνης έχει ανέβει σε πολύ υψηλά επίπεδα (+46.5 m, στις 22/3/2019), πλησιάζοντας με ταχύ ρυθμό στην υπερχειλίση (+52.0 m).

Η υπερχειλίση της Παραλίμνης γίνεται μέσω της λεγόμενης σήραγγας Ανθηδώνας, η οποία εκβάλλει σε διώρυγα (τάφρο), που με τη σειρά της διοχετεύει τα πλεονάζοντα ύδατα στον ομώνυμο όρμο, στον Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο. Σημειώνεται ότι το υπόψη έργο παραμένει ανενεργό εδώ και δεκαετίες, καθώς επί μακρό χρονικό διάστημα η στάθμη της Παραλίμνης κυμαινόταν σε αρκετά πιο χαμηλά επίπεδα, ακόμα και σε περιόδους που η ίδια η Υλίκη υπερχειλίζει (η πλέον πρόσφατη υπερχειλίση είχε συμβεί το τρίμηνο Μαρτίου-Μαΐου 2006).

Η έντονη ανύψωση της στάθμης της Παραλίμνης, για πρώτη φορά έπειτα από δεκαετίες, έχει προκαλέσει έντονη ανησυχία, καθώς εντός του πεδίου κατάκλυσης υπάρχουν υποδομές της ΔΕΥΑ Χαλκίδας (αντλιοστάσια και λοιπές εγκαταστάσεις) που εξυπηρετούν την ύδρευση της ευρύτερης περιοχής της Χαλκίδας. Ήδη, δύο από τα επτά αντλιοστάσια έχουν ήδη βυθιστεί. Ο μεγαλύτερος προβληματισμός αφορά στην κεντρική ηλεκτρική εγκατάσταση της ΔΕΥΑΧ, αν και αυτή βρίσκεται σε σχετικά ασφαλές υψόμετρο (+56.5 m), περίπου μισό μέτρο πάνω από την οροφή της σήραγγας Ανθηδώνας. Περαιτέρω προβληματισμό δημιουργεί η κατάσταση των έργων διοχέτευσης (σήραγγα και διώρυγα Ανθηδώνας), που δεν έχουν συντηρηθεί εδώ και πολύ μεγάλο (άγνωστο πόσο) χρονικό διάστημα, αλλά και το γεγονός ότι στην έξοδο του συστήματος, ήτοι στην παραλία Ανθηδώνας, έχει αναπτυχθεί δόμηση.

Αντικείμενο της έκθεσης είναι: (α) η αξιολόγηση του κινδύνου κατάκλυσης των εγκαταστάσεων της ΔΕΥΑΧ και των λοιπών περιοχών, οι οποίες δύνανται να επηρεαστούν από την περαιτέρω ανύψωση της στάθμης της Παραλίμνης, (β) η διατύπωση προτάσεων σχετικών με άμεσες ενέργειες που πρέπει να γίνουν από πλευράς όλων των εμπλεκόμενων φορέων (αρμόδια υπουργεία, Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, ΔΕΥΑ Χαλκίδας, Εταιρεία Παγίων ΕΥΔΑΠ, ΕΥΔΑΠ Α.Ε.), και (γ) η αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων μερικής ανάσχεσης του φαινομένου, το οποίο βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Οι εκτιμήσεις βασίζονται στην κατάρτιση σεναρίων βραχυπρόθεσμης (σε χρονικό ορίζοντα τριμήνου) στοχαστικής πρόγνωσης των εισροών του Βοιωτικού Κηφισού και προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος Υλίκης-Παραλίμνης.

Η ομάδα εκπόνησης της παρούσας είναι:

- Ανδρέας Ευστρατιάδης, ΕΔΙΠ ΕΜΠ (εκλεγμένος Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ)

- Νίκος Μαμάσης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ
- Γιάννης Τσουκαλάς, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

1.2 Διάθρωση έκθεσης

Πέραν της παρούσας εισαγωγής (**Κεφάλαιο 1**), η έκθεση περιλαμβάνει πέντε ακόμη κεφάλαια.

Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφεται το σύστημα των διασυνδεδεμένων λιμνών Υλίκης-Παραλίμνης και τα σχετικά τεχνικά έργα.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφεται η τρέχουσα υδρολογική κατάσταση του συστήματος.

Στο **Κεφάλαιο 4** αξιολογούνται οι δυνητικές επιπτώσεις της υπερχειλίσης της Παραλίμνης στην ασφάλεια των έργων υδροδότησης της Χαλκίδας και τις κατάντη περιοχές.

Στο **Κεφάλαιο 5** επιχειρείται η κατάρτιση σεναρίων βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης του υδατικού ισοζυγίου της Υλίκης και Παραλίμνης, με χρονικό ορίζοντα τις αρχές της θερινής περιόδου.

Στο **Κεφάλαιο 6** συνοψίζονται τα συμπεράσματα των αναλύσεων και οι προτάσεις μας προς την Διεύθυνση Υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και τους λοιπούς ενδιαφερόμενους φορείς.

2 Περιγραφή φυσικού συστήματος και τεχνικών έργων

Στην **Εικόνα 2.1** δίνεται μια γενική άποψη της περιοχής ενδιαφέροντος. Τα έργα υπερχειλίσης των δύο λιμνών (Υλίκη προς Παραλίμνη, Παραλίμνη προς όρμο Ανθηδώνας), αποτελούν το κατάντη τμήμα ενός ευρύτερου και αρκετά σύνθετου αποστραγγιστικού συστήματος, ο σχεδιασμός και υλοποίηση του οποίου ανάγεται στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, στο πλαίσιο των έργων αποξήρανσης της λίμνης Κωπαΐδας.

Μετά την ολοκλήρωση των αρχικών έργων εκτροπής του Βοιωτικού Κηφισού προς την Υλίκη (Ιούνιος 1886), που πλέον γίνεται μέσω της νέας Συγκεντρωτικής Διώρυγας και εν συνεχεία Σήραγγας Καρδίτσας, η μέση στάθμη της λίμνης ανέβηκε από τα +52.0 m στα +78.0 m. Με υπουργική απόφαση του 1885, η ανώτατη στάθμη της Υλίκης καθορίστηκε στα +80.0 m.

Για την διοχέτευση των πλεονασματικών υδάτων της Υλίκης, διανοίχθηκε τάφρος (διώρυγα) κατά μήκος του αυχένα Μουρικού, πλάτους 24 m, που επιτρέπει την ομαλή προσαγωγή των υπερχειλίσεων της Υλίκης προς την γειτονική λίμνη Παραλίμνη (**Εικόνα 2.2**). Ο πυθμένας της Διώρυγας Μουρικού είναι στα +77.8 m (που αντιστοιχεί σε στάθμη υπερχειλίσης της Υλίκης στα +78.2 m), ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα περιορισμού της υπερχειλίσης, φράσσοντας τη διώρυγα με πασσαλοσανίδες. Σημειώνεται ότι σε κάθε περίπτωση, ήτοι ακόμα και χωρίς τη διώρυγα, θα υπήρχε δυνατότητα φυσικής υπερχειλίσης της Υλίκης προς την Παραλίμνη, καθώς το ανώτατο υψόμετρο του αυχένα Μουρικού είναι στα +78 m.

Μακροσκοπικά, φαίνεται ότι το ανάντη τμήμα της διώρυγας, μήκους περίπου 1 km, μέχρι το ύψος των εγκαταστάσεων της ΕΥΔΑΠ (όπου και το υδρευτικό αντλιοστάσιο Μουρικού) είναι σε καλή κατάσταση, ωστόσο στο κατάντη, μη διευθετημένο, τμήμα της αναπτύσσεται έντονη παρόχθια βλάστηση, με προφανείς δυσμενείς συνέπειες στην παροχετευτικότητα του έργου.

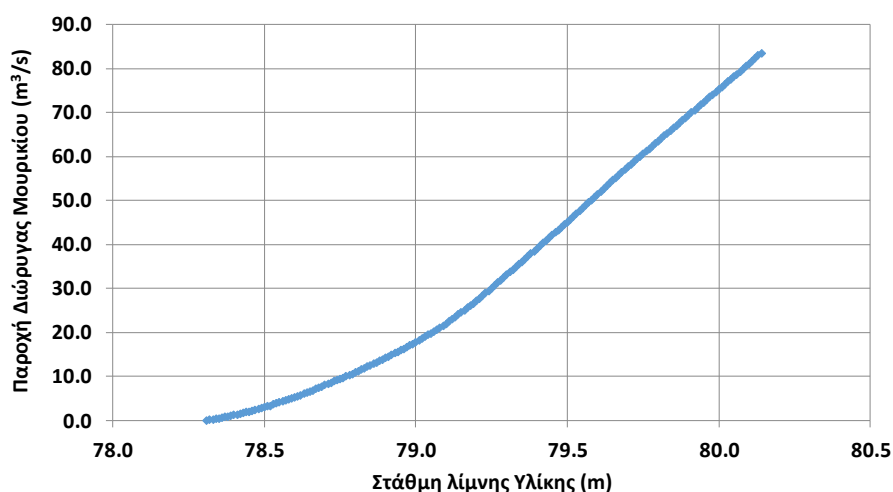


Εικόνα 2.1: Γενική άποψη περιοχής ενδιαφέροντος και βασικών έργων (χάρτης Google).



Εικόνα 2.2: Κοντινή άποψη Διώρυγας Μουρικίου (χάρτης Google).

Από τη βιβλιογραφική έρευνα που έγινε φαίνεται ότι για την εκτίμηση των υπερχειλίσεων της Υλίκης έχουν καταρτιστεί διάφορες εκδοχές της σχέσης στάθμης-παροχής της Διώρυγας Μουρικίου, που παρουσιάζουν μικρές σχετικά αποκλίσεις (καμία ωστόσο δεν θεωρείται επαρκώς αξιόπιστη, λόγω της παρεμβολής τεχνικών έργων κατά μήκος της διώρυγας). Η σχέση που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη έχει καταρτιστεί από την Εταιρεία Λίμνης Κωπαΐδας (ΕΛΚ), τη δεκαετία του 1930, ενώ μεταγενέστερα έγιναν διορθώσεις από τον μελετητή Ραυτόπουλο και την Εταιρεία Continental Drilling (Τζεράνης και Τσολακίδης, 1990). Η πρωτογενής σχέση της ΕΛΚ απεικονίζεται στο διάγραμμα της **Εικόνας 2.3**.



Εικόνα 2.3: Σχέση στάθμης Υλίκης - παροχής Διώρυγας Μουρικίου (αναπαραγωγή από πινακοποιημένα στοιχεία της Εταιρείας Λίμνης Κωπαΐδας).



Εικόνα 2.4: Πρόσφατα ληφθείσες φωτογραφίες της εξόδου (αριστερά) και εισόδου (δεξιά) της σήραγγας Ανθηδώνας (Α. Κουτσαυλής, ΔΕΥΑ Χαλκίδας, προσωπική επικοινωνία).



Εικόνα 2.5: Περιοχή κατάντη της εξόδου της σήραγγας Ανθηδώνας, στην οποία διακρίνεται η προσαγωγός διώρυγα και η θέση εκβολής της στον ομώνυμο όρμο (χάρτης Google).

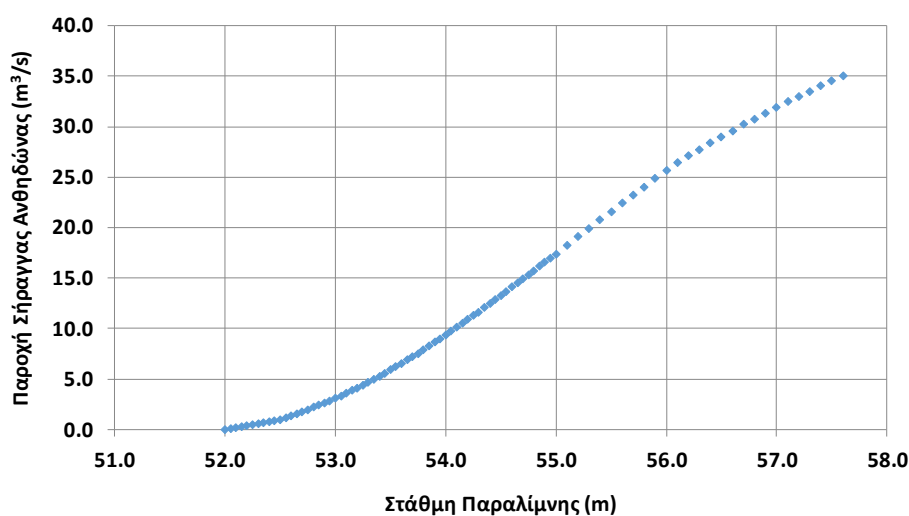
Εκτός από το έργο υπερχειλίσης, ως γνωστό η Υλίκη αποστραγγίζεται με φυσικό μηχανισμό, μέσω του καρστικού της υποβάθρου και πληθώρας καταβοθρών που αναπτύσσονται κυρίως στη ΝΔ και ΒΑ πλευρά της. Η εκτίμηση των απωλειών της Υλίκης λόγω υπόγειων διαφυγών αποτελεί διαχρονικά ένα εξαιρετικά πολύπλοκο πρόβλημα, για το οποίο έχει εκπονηθεί πληθώρα μελετών (καθώς και προτάσεις περιορισμού τους μέσω έργων στεγανοποίησης, κάποια από τα οποία υλοποιήθηκαν). Θεωρητικά, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης εκτίμησης των παρατηρημένων διαφυγών μέσω του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης, εφόσον όλα τα υπόλοιπα δεδομένα εισροών και εκροών είναι γνωστά (από μετρήσεις ή εκτιμήσεις). Από τα δεδομένα αυτά, είχαμε κατά το παρελθόν καταρτίσει στατιστικές σχέσεις των μηνιαίων απωλειών λόγω διαφυγών, συναρτήσε της μέσης στάθμης της

λίμνης (Ευστρατιάδης κ.ά., 2004, 2009· Μακρόπουλος κ.ά., 2018). Όπως εξηγείται παρακάτω, αυτές επικαιροποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης. Οι σχέσεις στάθμης-διαφυγών διαφοροποιούνται εποχιακά, καθώς εξαρτώνται όχι μόνο από τη στάθμη τη Υλίκης αλλά και από την πιεζομετρία της περιοχής. Πάντως, όταν η στάθμη της Υλίκης είναι ψηλά (πάνω από τα +70 m) οι διαφυγές αυξάνουν σημαντικά, ενώ αντίθετα σε πολύ χαμηλές στάθμες οι διαφυγές είναι αρνητικές, που σημαίνει ότι η λίμνη τροφοδοτείται από εισροές υπόγειων νερών.

Συμπερασματικά, όταν η στάθμη της Υλίκης υπερβαίνει τα +78.3 m, και εφόσον δεν είναι φραγμένη η Διώρυγα Μουρικίου, ένα μέρος των πλεοναζόντων υδάτων διοχετεύεται στην Παραλίμνη, ενώ ένα άλλο μέρος διαφεύγει μέσω των καταβοθρών. Η ποσότητα των υδάτων που υπερχειλίζει είναι συνάρτηση του υδραυλικού φορτίου (υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης της Υλίκης και πυθμένα της Διώρυγας Μουρικίου), ενώ οι διαφυγές εξαρτώνται από τη στάθμη της Υλίκης και την εποχή.

Από τις συνολικές διαφυγές της Υλίκης, στο ΒΑ της τμήμα, ένα ποσοστό τους (μικρό, κατά την άποψη παλαιών μελετητών) διοχετεύεται στην Παραλίμνη, ένα άλλο ποσοστό εκφορτίζεται επιφανειακά, στις γειτονικές καρστικές πηγές Ούγγρας και Καμηλόβρυσης (που με τη σειρά τους απορρέουν στην Παραλίμνη), και η υπόλοιπη ποσότητα διοχετεύεται στη θάλασσα, πιθανότατα στον όρμο Σκορπονερίου. Η τροφοδοσία της Παραλίμνης, μέσω των διαφυγών της Υλίκης και της εκφόρτισης του ευρύτερου υδρογεωλογικού συστήματος, είναι πρακτικά αδύνατο να ποσοτικοποιηθεί μέσω του υδατικού ισοζυγίου, καθώς η Παραλίμνη δεν είναι στεγανή. Το πρόβλημα εκτίμησης των διαφυγών της Παραλίμνης έχει επίσης απασχολήσει αρκετούς μελετητές κατά το παρελθόν, αν και όχι στην ίδια έκταση με την περίπτωση της Υλίκης. Οι εκτιμήσεις που δίνονται στην επισκόπηση των Τζεράνη και Τσολακίδη (1990) παρουσιάζουν αρκετά μεγάλες αποκλίσεις, και γενικότερα η κατάρτιση του υδατικού ισοζυγίου της Παραλίμνης διέπεται από έντονη αβεβαιότητα, δεδομένου ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες των εισροών και εκροών της λίμνης διακινούνται υπόγεια.

Η υπερχειλίση της Παραλίμνης γίνεται μέσω σήραγγας πεταλοειδούς διατομής, μήκους 800 m, με μέγιστο άνοιγμα περί τα 3.5 m και μέγιστο ύψος περί τα 4.0 m (σήραγγα Ανθηδώνας, **Εικόνα 2.4**). Η είσοδός της είναι στα +52.0 m, και βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της λίμνης. Οι εκροές της σήραγγας διοχετεύονται σε τάφρο, μήκους περί το 1 km, που εκβάλλει στον όρμο της Ανθηδώνας. Στην εκβολή της τάφρου διαμορφώνεται ένα δέλτα, εντός του οποίου υπάρχουν κάποια κτήρια, που βρίσκονται εντός του πεδίου κατάκλυσης (**Εικόνα 2.5**).



Εικόνα 2.6: Σχέση στάθμης Παραλίμνης - παροχής σήραγγας Ανθηδώνας (αναπαραγωγή από πινακοποιημένα στοιχεία της Εταιρείας Λίμνης Κωπαΐδας).

Για την εκτίμηση των υπερχειλίσεων της Παραλίμνης πάνω από τα +52.0 m χρησιμοποιείται η πινακοποιημένη σχέση που έχει καταρτιστεί από την Εταιρεία Λίμνης Κωπαΐδας (ΕΛΚ), ενώ παρεμφερείς εκτιμήσεις δίνονται σε μελέτη της Continental Drilling, που εκπονήθηκε το 1967 (Τζεράνης και Τσολακίδης, 1990). Η σχέση της ΕΛΚ απεικονίζεται στο διάγραμμα της **Εικόνας 2.6**, η δε μορφή της είναι τυπική για τέτοιο έργο, καθώς περιλαμβάνει ένα τμήμα που λειτουργεί με ελεύθερη επιφάνεια (όταν η ανάντη στάθμη ανέρχεται κοντά στο ύψος της οροφής) και ένα τμήμα που λειτουργεί υπό πίεση.

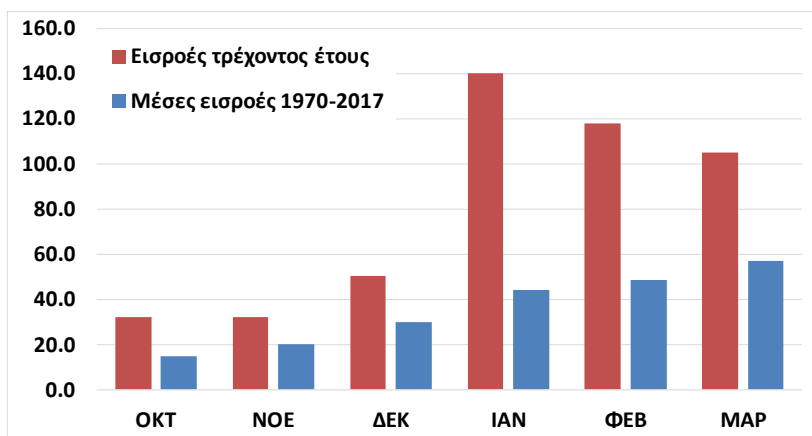
Τέλος, για η κατάρτιση της σχέσης στάθμης-αποθέματος της Παραλίμνης βασίστηκε σε μετρήσεις στάθμης και επιφάνειας που δημοσιεύονται στη μελέτη των Ραυτόπουλου και Σίνου (1951), όπου οι σχετικοί όγκοι εκτιμήθηκαν με λογαριθμική παρεμβολή μεταξύ των ζευγών γνωστών τιμών στάθμης και επιφάνειας. Τα τελικά μεγέθη δίνονται στον **Πίνακα 2.1**.

Πίνακας 2.1: Σχέση στάθμης-επιφάνειας-αποθέματος Παραλίμνης.

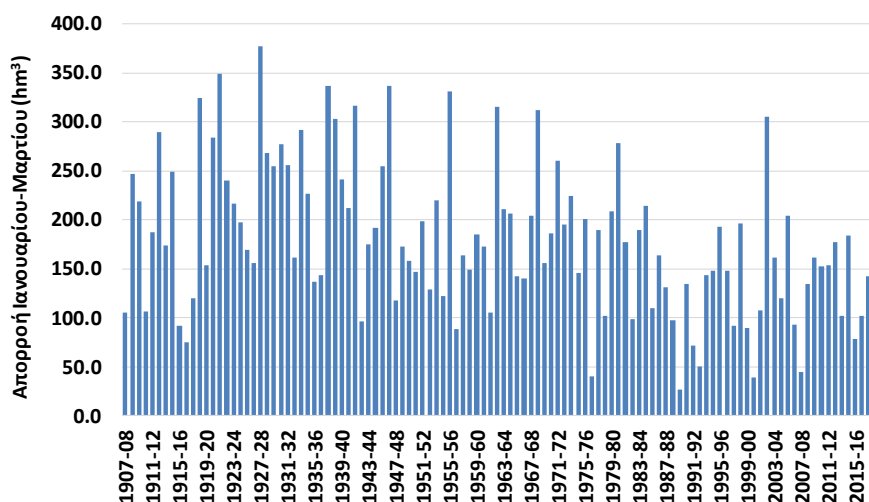
Στάθμη (m)	Επιφάνεια (km ²)	Απόθεμα (hm ³)
29.5	0.06	0.0
30.0	5.01	1.9
35.0	10.43	43.9
40.0	12.29	101.1
45.0	13.71	166.3
50.0	15.04	238.2
55.0	16.30	316.7
60.0	17.74	401.8
65.0	19.36	494.6
70.0	21.08	595.8
75.0	22.81	705.5
80.0	24.38	823.5

3 Τρέχουσα υδρολογική κατάσταση Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκης - Παραλίμνης

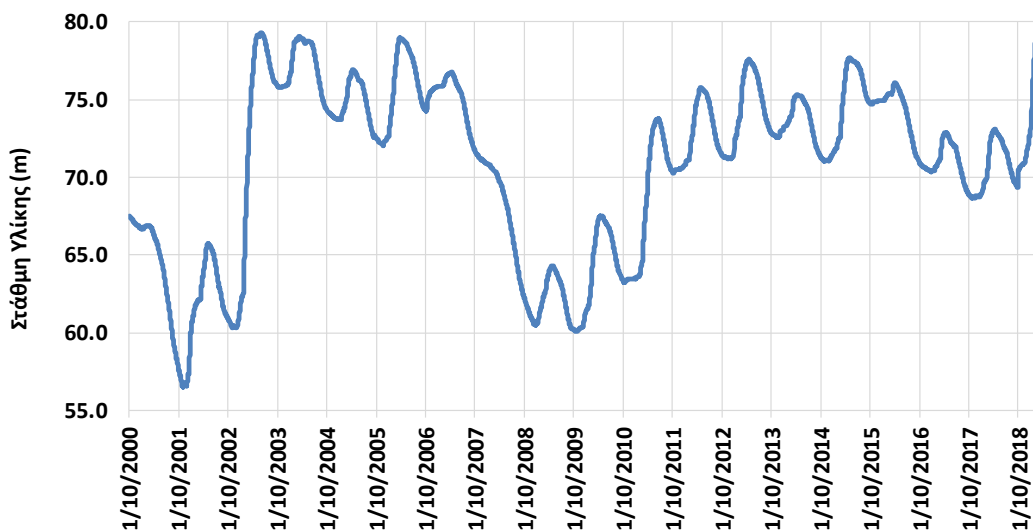
Από τις αρχές του τρέχοντος υδρολογικού έτους, αλλά ιδιαίτερα κατά το τρίμηνο Ιανουαρίου-Μαρτίου, παρατηρούνται πολύ μεγάλες εισροές στην Υλίκη, από τη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού. Ήδη, κατά το πρώτο εξάμηνο, το σύνολο των εισροών (στο οποίο περιλαμβάνεται και η απορροή του Μαρτίου, που για το τελευταίο δεκαήμερο εκτιμήθηκε συντηρητικά, με επέκταση της καμπύλης στείρευσης) ανήλθε σε 477 hm^3 , έχοντας υπερβεί πάνω από δύο φορές τον αντίστοιχο μέσο όρο της περιόδου 1970-2017, ήτοι 214 hm^3 (Εικόνα 3.1). Σε κλίμακα εξαμήνου, πρόκειται για την 8^η υψηλότερη τιμή που έχει εμφανιστεί από το 1907-08, οπότε υπάρχουν συστηματικές καταγραφές της απορροής του Βοιωτικού Κηφισού (112 έτη), και η υψηλότερη μετά το έτος 1962-63. Όσον αφορά στο τρίμηνο Ιανουαρίου-Μαρτίου, πρόκειται για την δεύτερη υψηλότερη τιμή αθροιστικής απορροής των υπόψη μηνών (363 hm^3), με το ιστορικό μέγιστο (377 hm^3) να καταγράφεται το πρώτο τρίμηνο του 1928 (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.1: Σύγκριση μηνιαίων απορροών Βοιωτικού Κηφισού τρέχοντος υδρολογικού έτους και μέσου όρου ετών 1970-2017.



Εικόνα 3.2: Χρονοσειρά αθροιστικής απορροής Βοιωτικού Κηφισού τριμήνου Ιανουαρίου-Μαρτίου (πλήρες δείγμα, 1908-2019).



Εικόνα 3.3: Ημερήσια διακύμανση στάθμης Υλίκης από την 1/10/2000 έως τις 20/3/2019.

Σημειώνεται ότι, γενικά, στις στατιστικές αναλύσεις, χρησιμοποιείται ως βάση το δείγμα απορροών του Βοιωτικού Κηφισού μετά το 1970, ως πιο αντιπροσωπευτικό της τρέχουσας υδρολογικής δίαιτας της λεκάνης. Αυτό γίνεται επειδή το φυσικό σύστημα είναι έντονα διαταραγμένο εξαιτίας της κατασκευής σημαντικών έργων ανάσχεσης, και τις απολήψεις από επιφανειακά και υπόγεια νερά, για αρδευτική, ως επί το πλείστον, χρήση, που έχουν αρνητική επίδραση στο υδατικό δυναμικό του ποταμού. Με το σκεπτικό αυτό, οι φετινές εισροές αποτελούν ρεκόρ για το τρέχον καθεστώς της λεκάνης.

Στην **Εικόνα 3.3** φαίνεται η ημερήσια διακύμανση της στάθμης της Υλίκης κατά την τελευταία εικοσαετία, μετά δηλαδή και την πλήρη ένταξη των έργων του Ευήνου στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας. Μετά το χαμηλό ρεκόρ των +56.5 m, που καταγράφηκε στις αρχές Νοεμβρίου του 2001, παρατηρήθηκε εντυπωσιακή ανάκαμψη των αποθεμάτων, λόγω της συσσώρευσης συνεχόμενων ετών υψηλής υδροφορίας. Αυτό είχε ως συνέπεια την υπερχειλίση της λίμνης επί ένα εξάμηνο το έτος 2004 και επί ένα τρίμηνο το 2006, με εκτιμώμενες εκροές προς την Παραλίμνη 110 και 54 hm³, αντίστοιχα. Υπενθυμίζεται ότι το όριο υπερχειλίσης της Υλίκης είναι στα +78.3 m, ενώ παρά τις σημαντικές ποσότητες που διοχετεύτηκαν στην Παραλίμνη, αυτή δεν υπερχειλίσε. Έκτοτε, ακολούθησε μια περίοδος χαμηλής υδροφορίας, που σε συνδυασμό με τις εντατικές αντλήσεις που έγιναν για την αξιόπιστη κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της Αθήνας, έριξαν τη στάθμη στα επίπεδα των +60.0 m. Από τις αρχές της τρέχουσας δεκαετίας, η ελάχιστη ετήσια στάθμη κυμάνθηκε στα επίπεδα των +69 έως +71 m, με τη μέγιστη να φτάνει στα +77 m, παραμένοντας σε σχετικά ασφαλή απόσταση από το όριο υπερχειλίσης.

Ωστόσο, από τις αρχές του τρέχοντος υδρολογικού έτους, ως συνέπεια των εξαιρετικά υψηλών εισροών από τη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, η στάθμη της Υλίκης παρουσίασε ραγδαία αύξηση, της τάξης των δέκα μέτρων. Στις 1/2/2019, η λίμνη έφτασε στο υψόμετρο υπερχειλίσης των +78.3 m, ενώ στις 18/3/2019 η στάθμη της ανήλθε στα +79.61 m. Από τα στοιχεία που έχουμε στη διάθεσή μας, τόσο υψηλή τιμή έχει να εμφανιστεί από τον Ιούνιο του 1982, οπότε καταγράφηκε το απόλυτο ρεκόρ των +79.95 m.

Από την ανάλυση των ημερήσιων δεδομένων υδατικού ισοζυγίου της λίμνης, και με χρήση της σχέσης στάθμης-παροχής υπερχειλίσης της **Εικόνας 3** (μειωμένης κατά 20%, όπως εξηγείται παρακάτω), εκτιμήθηκε ότι τον Φεβρουάριο του 2019, εισήλθαν στην Παραλίμνη, μέσω της Διώρυγας Μουρική, περίπου 63 hm³, ενώ βάσει εύλογων παραδοχών εκτιμάται ότι μέχρι το τέλος Μαρτίου θα έχουν υπερχειλίσει άλλα 79 hm³. Λόγω των υπερχειλίσεων της Υλίκης, από τις αρχές Φεβρουαρίου η στάθμη της Παραλίμνης άρχισε να ανεβαίνει απότομα, φτάνοντας στα επίπεδα των +46.50 m (στις 21/3/2019). Αξίζει να αναφερθεί ότι στις 15/3/2019, η στάθμη της Παραλίμνης ήταν

στα 45.14 m, που αντιστοιχεί σε αύξηση όγκου κατά 17.2 hm^3 σε διάστημα μόλις έξι ημερών, ήτοι ημερήσια εισροή 2.9 hm^3 (οι υπολογισμοί βασίζονται στη σχέση στάθμης-αποθέματος του **Πίνακα 1.1**). Με τον ρυθμό αυτό, έστω και ελαφρά μειούμενο (εφόσον δεν υπάρξουν σημαντικές βροχοπτώσεις ως το τέλος Απριλίου), αναμένεται να φτάσει η Παραλίμνη στο όριο υπερχειλίσεώς της, σε χρονικό ορίζοντα της τάξης του ενός μήνα.

4 Επίδραση στην ασφάλεια των έργων υδροδότησης της Χαλκίδας και τις κατάντη περιοχές (όρμος Ανθηδώνας)

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, η Παραλίμνη εξυπηρετεί την υδροδότηση της ευρύτερης περιοχής της Χαλκίδας, μέσω αντλιοστασίων που έχουν διανοιχθεί περιμετρικά της λίμνης, υδρομαστεύοντας υπόγειο νερό καλής ποιότητας από χαμηλά βάθη (Γ1: 48.10 m, Γ2: 54.70 m, Γ3: 44.00 m, Γ4: 48.14 m, Γ5: 46.72 m, Γ6: 45.70 m, Γ7: 57.00 m). Η μέγιστη δυναμικότητα του υδροδοτικού συστήματος ανέρχεται σε 1100 m³/h.

Μετά την απώλεια του χαμηλότερου αντλιοστασίου (Γ3), εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της Παραλίμνης, η ΔΕΥΑ Χαλκίδας άρχισε να τοποθετεί υποβρύχιες αντλίες στις υπόλοιπες θέσεις. Η κεντρική ηλεκτρική εγκατάσταση του συστήματος φιλοξενείται εντός κτηρίου, σε υψόμετρο +56.5 m. Το υπόγειο του κτηρίου είναι στα +52.0 m, ενώ η πρόσβαση γίνεται μέσω βοηθητικού δρόμου, το κατάστρωμα του οποίου είναι στα 51.5 m.

Λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα κατάσταση του διασυνδεδεμένου συστήματος Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκης - Παραλίμνης, εγείρεται σειρά προβληματισμών, που καταρχήν αφορούν στο ενδεχόμενο ανύψωσης της στάθμης της Παραλίμνης σε επίπεδα τέτοια που να επηρεαστούν οι ως άνω υποδομές της ΔΕΥΑ Χαλκίδας. Είναι αξιοσημείωτο ότι το σύνολο των έργων και σχετικών εγκαταστάσεων βρίσκεται εντός του πεδίου κατάκλυσης της Παραλίμνης, η μέγιστη στάθμη της οποίας μπορεί να ανέλθει έως τα +57.6 m. Γενικά, ανύψωση της Παραλίμνης πάνω από τα +56.5 m κρίνεται απολύτως ανεπιθύμητη, καθώς στην περίπτωση αυτή θα πλημμυρίσουν οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις της ΔΕΥΑ Χαλκίδας, με συνέπεια την πλήρη διακοπή της υδροδότησης για άγνωστο χρονικό διάστημα.

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω, εγείρονται σοβαρά ερωτηματικά σχετικά με την επάρκεια των έργων υπερχειλίσης, ήτοι της σήραγγας Ανθηδώνας και της κατάντη αυτής διώρυγας, τα οποία δεν έχουν συντηρηθεί επί πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Είναι προφανές ότι η ασφάλεια των πλέον κρίσιμων υποδομών της ΔΕΥΑ Χαλκίδας είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη δυνατότητα παροχέτευσης των υπερχειλίσεων της Παραλίμνης. Αν η παροχέτευση δεν είναι ομαλή, τότε η ανάσχεση που θα γίνει στη λίμνη θα οδηγήσει σε σημαντική ανύψωση της στάθμης, ενδεχομένως πάνω από το όριο ασφαλείας των +56.5 m.

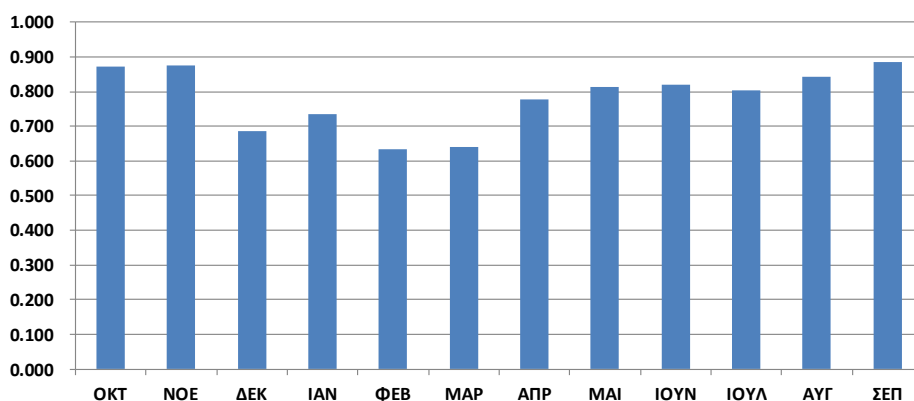
Ένα τελευταίο σημείο προβληματισμού αφορά στις επιπτώσεις που θα έχει η παροχέτευση των υπερχειλίσεων της Παραλίμνης από την τάφρο προσαγωγής, που οδηγεί τα νερά στον κόλπο της Ανθηδώνας. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας 6, από τη σήραγγα μπορούν να διοχετευτούν έως και 35 m³/s, όταν η λίμνη βρίσκεται στην ανώτατη στάθμη της, ήτοι στα +57.6 m. Μακροσκοπικά, δεν είναι καθόλου βέβαιο αν η διώρυγα μπορεί να παραλάβει τέτοια παροχή, ενώ είναι προφανής ο πλημμυρικός κίνδυνος που δημιουργείται για τις ανθρωπογενείς χρήσεις που έχουν αναπτυχθεί στο στόμιο του έργου (δρόμος, σπίτια), που οδηγεί τα νερά στη θάλασσα.

5 Κατάρτιση σεναρίων βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης υδατικού ισοζυγίου Υλίκης και Παραλίμνης

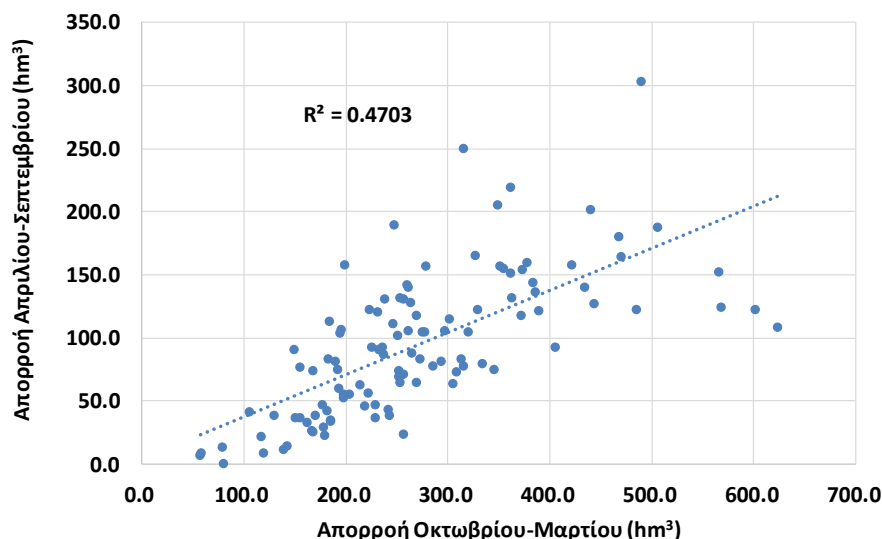
Προκειμένου να αξιολογηθεί ο κίνδυνος κατάκλισης των υποδομών της ΔΕΥΑ Χαλκίδας και να δοθούν εκτιμήσεις σχετικά με τις στατιστικά αναμενόμενες ποσότητες υπερχειλίσης από την Παραλίμνη, έγινε σειρά αναλύσεων, με αφετηρία την επικαιροποίηση των δεδομένων ημερήσιου και μηνιαίου υδατικού ισοζυγίου της Υλίκης, μέχρι τις 20/3/2019. Για τον σκοπό αυτό, συλλέχθηκαν ημερήσιες καταγραφές στάθμης της λίμνης, απορροής της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού (ως γνωστό, εκτιμάται με βάση παρατηρήσεις στάθμης στη Διώρυγα Καρδίτσας), βροχόπτωσης και εξάτμισης στον σταθμό Μουρικίου, υδρευτικών απολήψεων από το αντλιοστάσιο Μουρικίου και απολήψεων για άρδευση της Κωπαΐδας. Τα στοιχεία δόθηκαν από τη Διεύθυνση Υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ.

Με βάση τις σχέσεις στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας, που δημοσιεύονται από τους Ευστρατιάδη κ.ά. (2009), εκτιμήθηκαν η ημερήσια μεταβολή του αποθέματος της Υλίκης, οι εισροές λόγω βροχόπτωσης στην επιφάνεια της λίμνης και οι απώλειες λόγω εξάτμισης. Ακόμη, καταρτίστηκε εννοιολογικό υδρολογικό μοντέλο σε ημερήσια κλίμακα, για την προσεγγιστική εκτίμηση των επιφανειακών και υπόγειων εισροών από την ίδια λεκάνη της Υλίκης, συνολικής έκτασης 424 km². Τέλος, εκτιμήθηκαν οι απώλειες λόγω υπερχειλίσης, για στάθμες άνω των +78.3 m. Για τον σκοπό αυτό, εφαρμόστηκε η σχέση στάθμης-εκροών της **Εικόνας 2.3**, θεωρώντας μείωση της παροχετευόμενης ποσότητας κατά 20%, ώστε να ληφθεί υπόψη η διαφοροποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της διώρυγας Μουρικίου ως προς τις συνθήκες που επικρατούσαν την εποχή που καταρτίστηκε η υπόψη σχέση στάθμης-παροχής.

Από την επίλυση της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου ως προς τον μοναδικό της άγνωστο, ήτοι τις υπόγειες διαφυγές, καταρτίστηκε η χρονοσειρά μηνιαίων διαφυγών, για την περίοδο 1977-78 έως 2018-19 (42 υδρολογικά έτη). Το συνολικό δείγμα διαχωρίστηκε ανά μήνα, ενώ απομακρύνθηκε ποσοστό της τάξης του 7% των τιμών που θεωρήθηκαν αναξιόπιστες (κυρίως αναφέρονται στα αρχικά έτη του δείγματος). Τελικά, για κάθε μήνα καταρτίστηκαν σχέσεις γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της μέσης μηνιαίας στάθμης και των υπόγειων διαφυγών, που αξιοποιήθηκαν στις επόμενες αναλύσεις. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 5.1**, οι υψηλότερες συσχετίσεις, άρα και οι πλέον αξιόπιστες σχέσεις εκτίμησης, εμφανίζονται τους ξηρούς μήνες, ενώ οι χαμηλότερες, της τάξης του 60%, τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο.



Εικόνα 5.1: Μηνιαίοι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της μέσης μηνιαίας στάθμης κι των εκτιμώμενων, από τη σχέση υδατικού ισοζυγίου, υπόγειων διαφυγών της Υλίκης.



Εικόνα 5.2: Διάγραμμα διασποράς αθροιστικής απορροής Οκτωβρίου-Μαρτίου έναντι της αθροιστικής απορροής Απριλίου-Σεπτεμβρίου (πλήρες δείγμα, 1907-08 έως 2017-18).

Οι επόμενες αναλύσεις αφορούσαν στην παραγωγή σεναρίων *πιθανοτικής δεσμευμένης πρόγνωσης* (probabilistic conditional forecasting) των εισροών της Υλίκης από τον Βοιωτικό Κηφισό, για το τρίμηνο Απριλίου-Ιουνίου. Τα σενάρια αυτά παρήχθησαν σε δύο στάδια. Πρώτα, παρήχθησαν 1000 τιμές αθροιστικής απορροής του επόμενου (ξηρού) εξαμήνου Απριλίου-Σεπτεμβρίου, με βάση την γνωστή απορροή του προηγούμενου (υγρού) εξαμήνου Οκτωβρίου-Μαρτίου, ήτοι 477 hm³. Τα δύο δείγματα εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση, της τάξης του 69% (**Εικόνα 5.2**). Η μεθοδολογία γέννησης βασίζεται σε πρωτότυπη ερευνητική εργασία των Tsoukalas *et al.* (2018a, b) και Tsoukalas (2018), που βασίζεται στη θεωρία των corulas. Από το συνολικό δείγμα ετήσιων απορροών του υδρολογικού έτους 2018-19, επιλέχθηκαν τρεις χαρακτηριστικές τιμές, ήτοι 561, 633 και 708 hm³, που αντιστοιχούν σε εμπειρικές πιθανότητες υπέρβασης 90, 50 και 10%.

Στη συνέχεια, για κάθε μία από τις τρεις ετήσιες τιμές της απορροής, παρήχθησαν 1000 συνθετικές χρονοσειρές μηνιαίων τιμών του υδρολογικού έτους 2018-19, με γνωστές τις τιμές του πρώτου εξαμήνου. Για τον σκοπό αυτό, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία *επιμερισμού* (disaggregation) των Tsoukalas *et al.* (2019), που αποτελεί βελτιωμένη εκδοχή του σχήματος των Koutsoyiannis and Manetas (1996) και Koutsoyiannis (2000). Λαμβάνοντας από κάθε μηνιαία χρονοσειρά τις αθροιστικές απορροές Απριλίου-Ιουνίου, που αντιστοιχούν σε πιθανότητες υπέρβασης 10, 50 και 90%, προέκυψαν τελικά εννέα ακολουθίες πρόγνωσης της απορροής των επόμενων τριών μηνών, ήτοι Απριλίου, Μαΐου και Ιουνίου 2019. Με τον τρόπο αυτό, καταρτίστηκαν εννέα σενάρια εισροών, που αντιστοιχούν σε (προσεγγιστικές) πιθανότητες υπέρβασης 99, 95, 90, 75, 50, 25, 10, 5 και 1%.

Πίνακας 5.1: Σενάρια στοχαστικής πρόγνωσης απορροής Βοιωτικού Κηφισού για το τρίμηνο Απριλίου-Ιουνίου 2019 (τιμές σε hm³).

Σενάριο εισροών	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Σύνολο τριμήνου	Σύνολο έτους	Πιθανότητα υπέρβασης (%)
Πολύ ευμενές	29.6	27.2	0.0	56.8	561.0	99
Ευμενές	45.9	15.9	12.5	74.2	561.0	95
Μέσο	79.0	33.6	21.6	134.2	632.5	50
Δυσμενές	102.9	55.6	27.3	185.7	708.0	5
Πολύ δυσμενές	109.8	70.2	34.2	214.3	708.0	1

Πίνακας 5.2: Πρόγνωση υδατικού ισοζυγίου Υλίκης ως τις 31/3/2019 και σενάρια στοχαστικής πρόγνωσης για το τρίμηνο Απριλίου-Ιουνίου 2019 (όγκοι σε hm^3 , στάθμες σε m).

	Πολύ ευνοϊκό	Ευνοϊκό	Μέσο	Δυσμενές	Πολύ δυσμενές
Μάρτιος 2019 (από 21 έως 31/3)					
Στάθμη 20/3/2019			79.6		
Απόθεμα 20/3/2019			591.0		
Εισροές Β. Κηφισού			30.0		
Απολήψεις			0.2		
Υπερχειλίσσεις			24.7		
Διαφυγές			22.0		
Απόθεμα 1/4/2019			574.0		
Στάθμη 1/4/2019			79.1		
Απρίλιος 2019					
Εισροές Β. Κηφισού	29.6	61.5	79.0	102.9	109.8
Απολήψεις	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Υπερχειλίσσεις	23.6	41.4	53.3	70.7	75.9
Διαφυγές	20.0	20.2	20.2	20.3	20.3
Απόθεμα 1/5/2019	559.4	573.4	578.9	585.2	587.0
Στάθμη 1/5/2019	78.3	79.0	79.2	79.5	79.6
Μάιος 2019					
Εισροές Β. Κηφισού	27.2	12.7	33.6	55.6	70.2
Απολήψεις	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Υπερχειλίσσεις	0.3	18.4	32.6	56.0	68.0
Διαφυγές	17.1	17.2	17.5	17.6	17.7
Απόθεμα 1/6/2019	568.5	549.7	561.8	566.6	570.9
Στάθμη 1/6/2019	78.7	77.9	78.4	78.7	78.9
Ιούνιος 2019					
Εισροές Β. Κηφισού	0.0	0.1	21.6	27.3	34.2
Απολήψεις	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Υπερχειλίσσεις	9.7	0.0	2.8	10.3	18.8
Διαφυγές	19.9	19.5	19.8	19.9	20.0
Απόθεμα 1/7/2019	538.3	529.7	560.2	563.1	565.7
Στάθμη 1/7/2019	77.4	77.0	78.4	78.5	78.6
Σύνολο υπερχειλίσεων	58.3	84.6	113.5	161.7	187.5

Τελικά, για τις επόμενες αναλύσεις επιλέχθηκαν τα σενάρια πρόγνωσης εισροών 99, 95, 50, 5 και 1%, τα οποία αναφέρονται ως «πολύ ευμενές», «ευμενές», «μέσο», «δυσμενές» και «πολύ δυσμενές». Τα πέντε αυτά σενάρια συνοψίζονται στον Πίνακα 5.1. Στο μέσο σενάριο, αναμένονται εισροές της τάξης των 134 hm^3 , ενώ στο ακραία δυσμενές οι εισροές μέχρι το τέλος του ερχόμενου τριμήνου εκτιμώνται σε 214 hm^3 . Σημειώνεται ότι ο μέσος όρος των παρατηρημένων απορροών Απριλίου-Ιουνίου είναι 76 hm^3 (με τυπική απόκλιση 47 hm^3), ωστόσο το μέσο σενάριο (δεσμευμένης) πρόγνωσης δίνει σημαντικά πιο υψηλή τιμή, καθώς λαμβάνει υπόψη την πρόσφατη ακολουθία των εξαιρετικά υγρών μηνών.

Για τα παραπάνω σενάρια εισροών, καταρτίστηκαν σενάρια υδατικού ισοζυγίου της Υλίκης, με χρονικό ορίζοντα τριών μηνών. Αρχικά, συμπληρώθηκε το τελευταίο δεκαήμερο του Μαρτίου, ξεκινώντας από το γνωστό απόθεμα της 21/3/2019 (591.0 hm^3 , για στάθμη 79.6 m), και θεωρώντας εισροές 30.0 hm^3 (εκτίμηση με βάση την ακολουθία των πιο πρόσφατων ημερήσιων εισροών,

εφαρμόζοντας ελαφρά πτωτική τάση βάσει της καμπύλης στείρευσης), απολήψεις 0.2 hm³ (για άντληση 20 000 m³ ημερησίως από το Μουρίκι), και απώλειες λόγω υπερχειλίσις και διαφυγών ίσες με 24.7 και 22.0 hm³, αντίστοιχα. Οι δύο τελευταίες εκτιμήθηκαν από τις αντίστοιχες σχέσεις στάθμης-παροχής της **Εικόνας 2.3** (θεωρώντας 20% απομείωση της παροχεταιυτικότητας της Διώρυγας Μουρικίου), και της εξίσωσης γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ στάθμης και υπόγειων διαφυγών Μαρτίου, με αναφορά στη μέση στάθμη του δεκαημέρου. Η τελευταία εκτιμήθηκε ως μέσος όρος της (γνωστής) τιμής στάθμης της 21/3/2019 και της (άγνωστης) στάθμης της 31/3/2019, μέσω επαναληπτικού υπολογιστικού σχήματος. Με βάση τα παραπάνω, προβλέπεται ότι στο τέλος Μαρτίου η στάθμη της Υλίκης θα μειωθεί ελαφρά στα +79.1 m, που αντιστοιχεί σε απόθεμα 574.0 hm³.

Για τις οριακές αυτές συνθήκες, και ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, καταρτίστηκαν τα πέντε σενάρια του **Πίνακα 5.2**, θεωρώντας τα σενάρια μηνιαίων εισροών του **Πίνακα 5.1**. Κατ' αντιστοιχία, τα σενάρια υδατικού ισοζυγίου της Υλίκης αναφέρονται ως «πολύ ευμενές», «ευμενές», «μέσο», «δυσμενές» και «πολύ δυσμενές». Στους σχετικούς υπολογισμούς, που είναι προφανώς προσεγγιστικοί (κυρίως επειδή οι διαφυγές στις υψηλές στάθμες διέπονται από μεγάλη αβεβαιότητα), αγνοήθηκαν οι συνιστώσες της βροχόπτωσης και εξάτμισης, καθώς και της απορροής της υπολεκάνης Υλίκης, που είναι γενικά μικρές και σε βάθος τριμήνου εν μέρει αντισταθμίζονται. Ως προς τις απολήψεις, θεωρήθηκε η τρέχουσα χρήση του υδραγωγείου Υλίκης, στο οποίο διοχετεύονται 20 000 m³ ημερησίως, ενώ βεβαίως αγνοήθηκαν οι αντλήσεις για άρδευση, που πραγματοποιούνται μόνο τους θερινούς μήνες (και σε κάθε περίπτωση αναμένεται να είναι πολύ περιορισμένες φέτος, καθώς τα εδάφη είναι κορεσμένα και υπάρχει αφθονία επιφανειακών υδάτων για αρδευτική χρήση).

Με βάση όλες τις παραπάνω παραδοχές, οι ποσότητες που αναμένεται να υπερχειλίσουν στην Παραλίμνη μέχρι το τέλος Ιουνίου κυμαίνονται μεταξύ 58 και 188 hm³, με βάση το πολύ ευμενές και πολύ δυσμενές υδρολογικό σενάριο, αντίστοιχα (μέσο σενάριο 114 hm³). Στο τέλος Ιουνίου, η στάθμη της Υλίκης αναμένεται να κυμανθεί μεταξύ 77.0 και 78.6 m, ενώ η μέση πρόβλεψη είναι 78.4 m. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πιθανότητα της τάξης του 50% να συνεχιστεί η υπερχειλίσις της Υλίκης ακόμα και μετά την παρέλευση του τριμήνου.

Στο τελευταίο στάδιο των αναλύσεων, με βάση τις ποσότητες νερού που υπερχειλίζουν από την Υλίκη καταρτίστηκαν σενάρια ημερήσιων εισροών στην Παραλίμνη, και επιλύθηκε το πρόβλημα διόδευσης των υπερχειλίσεων της δεύτερης μέσω της σήραγγας Ανθηδώνας. Για τον σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο υδραυλικής προσομοίωσης, ημερήσιου χρονικού βήματος, το οποίο επιλύει το πρόβλημα διόδευσης διαμέσου υπερχειλιστή με την διακριτοποιημένη εξίσωση υδατικού ισοζυγίου:

$$S_t = S_{t-1} + I_t - O_t$$

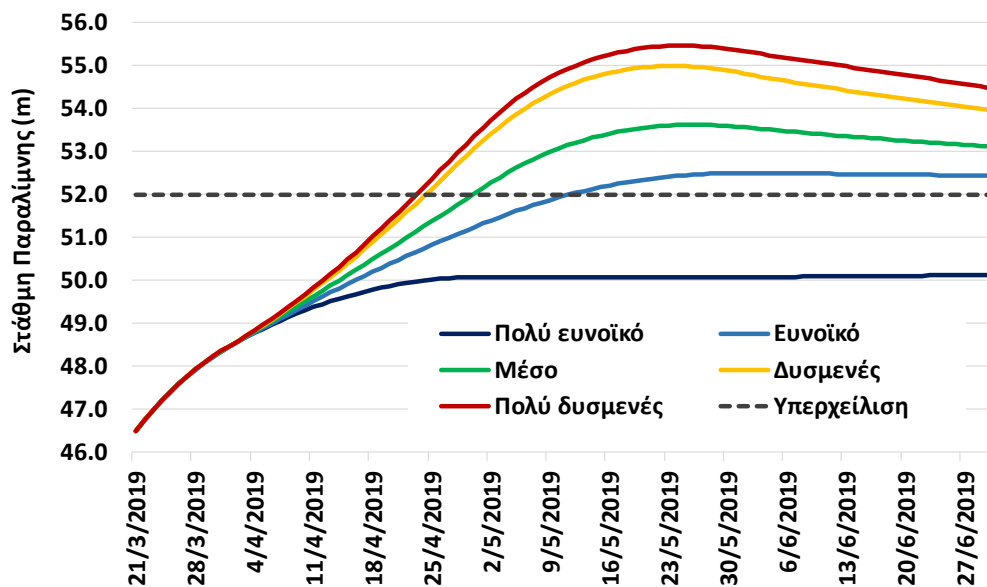
όπου S_t το απόθεμα της λίμνης στο πέρας του χρονικού βήματος t , I_t οι εισροές στο χρονικό διάστημα $[t - 1, t]$ και O_t οι εκροές στο ίδιο διάστημα. Στη παραπάνω σχέση, το απόθεμα είναι μη γραμμική συνάρτηση της στάθμης, οι εισροές είναι γνωστές, ενώ οι εκροές είναι και αυτές μη γραμμική συνάρτηση της στάθμης της λίμνης. Συνεπώς, ο μοναδικός άγνωστος της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου είναι η στάθμη στο πέρας του χρονικού βήματος (ημέρα), που μπορεί να προσδιοριστεί με τυπικές αριθμητικές μεθόδους. Με τον τρόπο αυτό, η υδραυλική προσομοίωση της υπερχειλίσις ανάγεται στην σειριακή επίλυση ενός πλήθους εξισώσεων υδατικού ισοζυγίου, όπου η άγνωστη στάθμη στο πέρας κάθε χρονικού βήματος εισάγεται ως αρχική συνθήκη στο επόμενο. Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόστηκε μια τεχνική βελτιστοποίησης, που εκτιμά όλη τη χρονοσειρά των άγνωστων τιμών στάθμης, ελαχιστοποιώντας το συνολικό σφάλμα των εξισώσεων υδατικού ισοζυγίου (Ευστρατιάδης και Παπανικολάου, 2018).

Για την προσομοίωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου της Παραλίμνης, για χρονικό ορίζοντα 100 ημερών (ήτοι με αφετηρία στις 21/3/2019, και αρχική στάθμη +46.5 m), έγινε η παραδοχή ότι οι εισροές προέρχονται αποκλειστικά από την υπερχειλίσις της Υλίκης, ενώ εκροές πραγματοποιούνται

μόνο από υπερχειλίση μέσω της σήραγγας Ανθηδώνας, εφόσον δηλαδή η στάθμη ανέβει πάνω από τα +52.0 m. Υπόγειες εισροές και εκροές (διαφυγές) θεωρήθηκε ότι αντισταθμίζονται, παραδοχή που δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα, καθώς γενικά η στάθμη της Παραλίμνης παρουσιάζει μικρή μεταβλητότητα, που σημαίνει ότι το ευρύτερο σύστημα διατηρείται σε σχετική ισορροπία.

Για διευκόλυνση των υπολογισμών διατυπώθηκαν αναλυτικές σχέσεις μεταξύ στάθμης και αποθέματος της λίμνης και στάθμης-παροχής, με βάση τα δεδομένα του **Πίνακα 1.1** και της **Εικόνας 2.6**. Στην τελευταία, οι παροχές της σήραγγας Ανθηδώνας απομειώθηκαν κατά 30%, ώστε να ληφθεί υπόψη η αύξηση της τραχύτητας του αγωγού, αφενός λόγω γήρανσης και αφετέρου λόγω της αβέβαιης λειτουργικότητάς του, ως απόρροια της παντελούς έλλειψης συντήρησής του.

Με τις παραπάνω υποθέσεις, το μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης της στάθμης και των εκροών της Παραλίμνης, με έναρξη στις 22/3/2019 και λήξη στις 30/6/2019, περιλαμβάνει 102 εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου, με 101 άγνωστες τιμές στάθμης (μόνο η αρχική τιμή είναι γνωστή), που εκτιμήθηκαν μέσω βελτιστοποίησης. Θεωρήθηκαν πέντε μοντέλα, για τα αντίστοιχα σενάρια εισροών (υπερχειλίση Υλίκης) του **Πίνακα 5.2**. Επειδή οι υπολογισμοί υδατικού ισοζυγίου της Υλίκης έγιναν σε μηνιαία βάση, με εκτίμηση της στάθμης στην αρχή και το τέλος του μήνα, άρα και των αντίστοιχων παροχών μέσω της Διώρυγας Μουρικίου, οι ημερήσιες χρονοσειρές εισροών στην Παραλίμνη διαμορφώθηκαν θεωρώντας γραμμική παρεμβολή μεταξύ των γνωστών τιμών υπερχειλίσης στην αρχή και τέλος κάθε μήνα.



Εικόνα 5.3: Σενάρια στοχαστικής προσομοίωσης στάθμης Παραλίμνης για την περίοδο 21/3/2019 έως 30/6/2019.

Στην **Εικόνα 5.3** συγκρίνονται οι προσομοιωμένες τιμές στάθμης της Παραλίμνης, για τα πέντε σενάρια στοχαστικών εισροών που εξετάστηκαν, ενώ στον **Πίνακα 5.3** συνοψίζονται τα βασικά αποτελέσματα των υπόψη σεναρίων. Επιγραμματικά, είναι σχεδόν βέβαιο ότι η Παραλίμνη θα υπερχειλίσει, καθώς μόνο στο πολύ ευνοϊκό σενάριο, με πιθανότητα υπέρβασης της τάξης του 99%, η στάθμη διατηρείται κάτω από το όριο των 52.0 m, φτάνοντας έως τα 50.1 m. Στο μέσο σενάριο, η στάθμη ανέρχεται έως και τα 53.6 m, ενώ στο πλέον δυσμενές σενάριο, ενδεικτικής πιθανότητας υπέρβασης 1%, η στάθμη προσεγγίζει τα 55.5 m. Συνεπώς, ακόμα στο ακραίο αυτό σενάριο, η στάθμη της λίμνης θα βρεθεί ένα μέτρα περίπου κάτω από το κρίσιμο όριο των +56.5 m, όπου βρίσκονται οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις της ΔΕΥΑ Χαλκίδας.

Πίνακας 5.3: Συνοπτικά αποτελέσματα σεναρίων στοχαστικής προσομοίωσης του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου Παραλίμνης για την περίοδο 21/3/2019 έως 30/6/2019.

	Πολύ ευνοϊκό	Ευνοϊκό	Μέσο	Δυσμενές	Πολύ δυσμενές
Πρόγνωση στάθμης στις 30/6/2019 (m)	50.14	52.44	53.13	53.98	54.48
Μέγιστη στάθμη τριμήνου (m)	50.14	52.50	53.63	54.99	55.46
Μέγιστη παροχή υπερχειλίσης (m ³ /s)	0.00	0.70	5.23	13.63	17.20
Συνολικός όγκος υπερχειλίσης (hm ³)	0.00	2.6	19.4	54.3	72.1

Πίνακας 5.4: Πρόγνωση υδατικού ισοζυγίου Υλίκης ως τις 31/3/2019 και σεσάρια στοχαστικής πρόγνωσης για το τρίμηνο Απριλίου-Ιουνίου 2019, με την υπόθεση άντλησης 140 000 m³ ημερησίως (όγκοι σε hm³, στάθμες σε m).

	Μέσο	Δυσμενές	Πολύ δυσμενές
Μάρτιος 2019 (από 21 έως 31/3)			
Στάθμη 20/3/2019	79.6		
Απόθεμα 20/3/2019	591.0		
Εισροές Β. Κηφισού	30.0		
Απολήψεις	1.40		
Υπερχειλίσεις	24.7		
Διαφυγές	22.0		
Απόθεμα 1/4/2019	572.8		
Στάθμη 1/4/2019	79.1		
Απρίλιος 2019			
Εισροές Β. Κηφισού	79.0	102.9	109.8
Απολήψεις	4.2	4.2	4.2
Υπερχειλίσεις	50.0	67.1	72.2
Διαφυγές	20.2	20.3	20.3
Απόθεμα 1/5/2019	577.4	584.1	585.9
Στάθμη 1/5/2019	79.2	79.5	79.5
Μάιος 2019			
Εισροές Β. Κηφισού	33.6	55.6	70.2
Απολήψεις	4.3	4.3	4.3
Υπερχειλίσεις	28.5	51.7	63.7
Διαφυγές	17.4	17.6	17.7
Απόθεμα 1/6/2019	560.7	566.0	570.4
Στάθμη 1/6/2019	78.4	78.6	78.8
Ιούνιος 2019			
Εισροές Β. Κηφισού	21.6	27.3	34.2
Απολήψεις	4.2	4.2	4.2
Υπερχειλίσεις	1.2	7.7	17.9
Διαφυγές	19.7	19.9	20.0
Απόθεμα 1/7/2019	557.2	561.6	562.5
Στάθμη 1/7/2019	78.2	78.4	78.5
Σύνολο υπερχειλίσεων	104.4	151.2	178.6

Πίνακας 5.5: Συνοπτικά αποτελέσματα σεναρίων στοχαστικής προσομοίωσης του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου Παραλίμνης, για εντατική άντληση της Υλίκης.

	Μέσο	Δυσμενές	Πολύ δυσμενές
Πρόγνωση στάθμης στις 30/6/2019 (m)	52.91	53.80	54.37
Μέγιστη στάθμη τριμήνου (m)	53.32	54.80	55.23
Μέγιστη παροχή υπερχειλίσης (m ³ /s)	3.8	12.3	15.4
Συνολικός όγκος υπερχειλίσης (hm ³)	13.5	48.8	64.2

Ως προς τις ποσότητες νερού που εκτιμάται ότι θα διέλθουν από το έργο της Ανθηδώνας, η μέση εκροή είναι 19 hm³, με παροχή αιχμής 5.2 m³/s, ενώ στο ακραίο σενάριο διέρχονται περί τα 72 hm³, με παροχή αιχμής 13.6 m³/s. Σημειώνεται ότι σε όλα τα σενάρια, πλην του πολύ ευνοϊκού, η υπερχειλίση συνεχίζεται και μετά το πέρας της περιόδου προσομοίωσης. Σε κάθε περίπτωση, στην αρχή της νέας υδρολογικής περιόδου, η στάθμη της Παραλίμνης αναμένεται να είναι κοντά στο όριο υπερχειλίσης (το κατά πόσον εξαρτάται από το ισοζύγιο υπόγειων εισροών και διαφυγών κατά τη θερινή περίοδο), κάτι που εγείρει περαιτέρω προβληματισμούς, εφόσον και η επόμενη χρονιά είναι εξίσου υγρή με τη φετινή.

Για λόγους πληρότητας, πέραν των ως άνω βασικών σεναρίων στοχαστικής πρόγνωσης, εξετάστηκαν ορισμένα ακόμη σενάρια, εφαρμόζοντας εντατική άντληση από την Υλίκη, ήτοι 140 000 m³ ημερησίως, προκειμένου να διερευνηθεί αν υπάρχει η δυνατότητα μετριασμού των υπερχειλίσεων της Υλίκης, προς όφελος της Παραλίμνης. Στο πλαίσιο αυτό, εξετάστηκαν μόνο το μέσο, το δυσμενές και το πολύ δυσμενές σενάριο, τα αποτελέσματα των οποίων συνοψίζονται στον **Πίνακα 5.4** (Υλίκη) και τον **Πίνακα 5.5** (Παραλίμνη).

Από τις αναλύσεις αυτές προκύπτει ότι η εντατική άντληση προσφέρει πολύ περιορισμένη ανακούφιση του συστήματος, με δυσανάλογα μεγάλο κόστος. Για παράδειγμα, στο μέσο σενάριο, οι υπερχειλίσεις της Υλίκης μειώνονται από τα 114 στα 104 hm³, ενώ η πρόγνωση για τη μέγιστη στάθμη της Παραλίμνης μειώνεται από τα 53.6 στα 53.3 m. Αντίστοιχη είναι η διαφορά στο πλέον δυσμενές σενάριο, ήτοι μείωση της μέγιστης στάθμης από τα 55.5 στα 55.2 m. Γενικά, οι διαφορές στα προσομοιωμένα μεγέθη της Παραλίμνης (μέγιστη στάθμη, μέγιστη παροχή σήραγγας Ανθηδώνας, όγκος υπερχειλίσης) κρίνονται ασήμαντες, λαμβανομένων υπόψη των αβεβαιοτήτων του συστήματος.

Τέλος, προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα υπό ποιές συνθήκες η στάθμη της λίμνης μπορεί να υπερβεί το όριο επικινδυνότητας των 56.5 m, προέκυψε ότι κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί θεωρώντας το πολύ δυσμενές σενάριο, με μείωση της παροχεταιυτικότητας της σήραγγας Ανθηδώνας κατά 70%. Θεωρούμε εξαιρετικά ακραίο αυτό τον συνδυασμό, οπότε το ενδεχόμενο αυτό θα πρέπει να αποκλειστεί, τουλάχιστον για τη φετινή χρονιά.

6 Συμπεράσματα – προτάσεις

Τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, και οι λίμνες Υλίκη και Παραλίμνη με τις υπολεκάνες τους, είναι συνιστώσες ενός διασυνδεδεμένου αποστραγγιστικού συστήματος, που έχει ως τελικό αποδέκτη των επιφανειακών εκροών τη σήραγγα και διώρυγα Ανθηδώνας, που εκβάλλει στον ομώνυμο όρμο. Συνεπώς, το σύστημα προσαγωγής της Ανθηδώνας (σήραγγα και διώρυγα) είναι το κατάντη έργο ασφαλείας μιας πολύ μεγάλης περιοχής, η έκταση της οποίας υπερβαίνει τα 2500 km².
- Ο σχεδιασμός και υλοποίηση του όλου συστήματος ανάγεται στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, ενώ εδώ και δεκαετίες τα έργα της Ανθηδώνας έχουν μείνει ανενεργά, καθώς γενικά η στάθμη της Παραλίμνης κυμαίνεται πολύ κάτω από το όριο υπερχειλίσης των +52.0 m. Στην πραγματικότητα, η υπερχειλίση της Παραλίμνης πραγματοποιείται μόνο υπό συνθήκες πολύ υψηλής υδροφορίας, εφόσον η στάθμη της είναι υψηλά και ταυτόχρονα εισρέουν σε αυτή σημαντικές ποσότητες νερού από τη λίμνη Υλίκη.
- Η σπανιότητα του φαινομένου είχε ως συνέπεια την υποβάθμιση του πλημμυρικού κινδύνου εκ μέρους της πολιτείας και των αρμόδιων αρχών, που όχι μόνο παραμέλησαν τη συντήρηση των έργων αλλά επέτρεψαν την ανάπτυξη υποδομών τόσο εντός του πεδίου κατάκλισης της Παραλίμνης (οδικό δίκτυο, έργα υδροδότησης Χαλκίδας) όσο και στο κατάντη πέρας της διώρυγας Ανθηδώνας.
- Η φετινή χρονιά χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά πλούσια υδροφορία. Ειδικότερα, το τρίμηνο Ιανουαρίου-Μαρτίου καταγράφηκε η δεύτερη υψηλότερη αθροιστική απορροή του Βοιωτικού Κηφισού, μετά το αντίστοιχο τρίμηνο του 1928 (363 έναντι 377 hm³). Συνέπεια των εξαιρετικά υψηλών εισροών ήταν η άνοδος της στάθμης της Υλίκης πάνω από το όριο υπερχειλίσης (+79.5 έναντι +78.3 m), και πολύ κοντά στην θεσμοθετημένη ανώτατη στάθμη λειτουργίας (+80.0 m). Συνεπώς, από τις αρχές Φεβρουαρίου ξεκίνησε η διοχέτευση μεγάλων ποσοτήτων πλεοναζόντων υδάτων προς την Παραλίμνη, μέσω της Διώρυγας Μουρικίου. Από τις αναλύσεις του υδατικού ισοζυγίου εκτιμάται ότι από την 1/2/2019 μέχρι το τέλος Μαρτίου θα έχουν υπερχειλίσει προς την Παραλίμνη πάνω από 140 hm³.
- Συνέπεια των υπερχειλίσεων της Υλίκης, σε συνδυασμό με επιφανειακές εισροές από την τοπική της λεκάνη και εισροές από υπόγεια νερά (μέρος των οποίων προέρχεται από διαφυγές της Υλίκης), ήταν η ταχεία άνοδος της στάθμης της Παραλίμνης, στα επίπεδα των +46.5 m, ήτοι μόλις 5.5 m κάτω από το όριο της δικής της υπερχειλίσης. Σημειωτέον ότι σε διάστημα έξι μόλις ημερών, ήτοι μεταξύ 15/3 και 21/3, η στάθμη της Παραλίμνης ανέβηκε κατά 1.5 m, συνεπώς εισέρχονταν ημερησίως περί τα 2.9 hm³.
- Ήδη, με την άνοδο της στάθμης στα υπόψη επίπεδα, τα πιο χαμηλά αντλιοστάσια της ΔΕΥΑ Χαλκίδας έχουν βυθιστεί στο νερό, ενώ εκφράζεται έντονη ανησυχία σχετικά με την κεντρική ηλεκτρική εγκατάσταση, που βρίσκεται βεβαίως σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο, ήτοι +56.5 m. Η ανησυχία αυτή εντείνεται όχι μόνο επειδή το φαινόμενο είναι σε πλήρη εξέλιξη, αλλά και επειδή δεν είναι γνωστό το κατά πόσον θα μπορέσει να ανταποκριθεί το σύστημα ασφαλούς υπερχειλίσης μέσω της σήραγγας Ανθηδώνας, από πλευράς παροχетеυτικότητας.
- Οι αναλύσεις μας, που βασίστηκαν σε εξειδικευμένες τεχνικές στοχαστικής πρόγνωσης της απορροής του Βοιωτικού Κηφισού, και προσομοιώσεις του υδατικού ισοζυγίου της Υλίκης και Παραλίμνης σε χρονικό ορίζοντα τριμήνου, έδειξαν ότι η υπερχειλίση της Παραλίμνης θα πρέπει να θεωρηθεί σχεδόν βέβαιη, με το μέσο σενάριο να προβλέπει άνοδο της στάθμης μέχρι τα

επίπεδα των +53.6 m, και το πλέον δυσμενές (εκτιμώμενης πιθανότητας υπέρβασης 1%), να μην υπερβαίνει τα +55.5 m.

- Βάσει των ως άνω σεναρίων, που προφανώς βασίζονται σε ορισμένες παραδοχές, και με δεδομένο ότι το σύστημα διέπεται από πολλαπλές αβεβαιότητες, θεωρούμε ότι δεν διαφαίνεται άμεσος κίνδυνος για τις κεντρικές εγκαταστάσεις της ΔΕΥΑ Χαλκίδας, παρά μόνο υπό τον εξαιρετικά ακραία συνδυασμό πραγματοποίησης του πολύ δυσμενούς σεναρίου εισροών και πολύ περιορισμένης λειτουργικότητας της σήραγγας Ανθηδώνας, ήτοι μόλις στο 30% της θεωρητικής της παροχетеυτικότητας.
- Από την άλλη πλευρά, είναι εξαιρετικά πιθανό το ενδεχόμενο αφενός να βυθιστούν ο δρόμος πρόσβασης προς το κτήριο που φιλοξενεί τις εγκαταστάσεις της ΔΕΥΑ Χαλκίδας, καθώς και κάποια από τα αντλιοστάσια, και αφετέρου να κατακλυστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα η περιοχή του στομίου της διώρυγας Ανθηδώνας, όπου υπάρχουν κάποια σπίτια και παραλιακός δρόμος πρόσβασης σε αυτά. Επισημαίνεται ότι εξαιτίας της μεγάλης ανάσχεσης που γίνεται στην Παραλίμνη, η απόκριση του συστήματος είναι αργή, που σημαίνει ότι η υπερχειλίση θα εξελιχθεί σε χρονικό ορίζοντα που υπερβαίνει το τρίμηνο, ενδεχομένως δε να συνεχιστεί κατά τη θερινή περίοδο.
- Πέραν των προγνώσεων που βασίζονται στις στοχαστικές αναλύσεις των ιστορικών απορροών, θεωρούμε εύλογο από υδρολογική σκοπιά, το σενάριο υψηλής υδροφορίας για το επόμενο διάστημα. Αυτό οφείλεται στο ιδιόμορφο υδρογεωλογικό καθεστώς της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού, η οποία έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων υπόγειων υδάτων, η εκφόρτιση των οποίων είναι σαφώς πιο προβλέψιμη αλλά και πιο αργή σε σχέση με τα επιφανειακά νερά. Σε αυτό συνηγορεί και η ύπαρξη σημαντικών ποσοτήτων χιονιού στον Παρνασσό, που αναμένεται να συνεισφέρουν περαιτέρω στην παραγωγή απορροής, άρα και τις εισροές της Υλίκης. Σε κάθε περίπτωση, στην έναρξη της επόμενης υδρολογικής περιόδου, είναι βέβαιο ότι θα έχουν συσσωρευτεί μεγάλες ποσότητες υπόγειων νερών στους υδροφορείς του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα η στάθμη τόσο της Υλίκης όσο και της Παραλίμνης θα βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα. Συνεπώς, η επόμενη χρονιά ενδέχεται να είναι ακόμα πιο κρίσιμη, ιδιαίτερα αν υπάρξει αντίστοιχα υψηλή υδροφορία με φέτος.

Οι προτάσεις μας προς και τους αρμόδιους φορείς του Δημοσίου σχετικά με την ως άνω διαμορφωθείσα κατάσταση έχει ως εξής:

- Άμεσα, θα πρέπει να γίνει επιθεώρηση των έργων της Ανθηδώνας, ώστε σε περίπτωση μη επαρκούς λειτουργικότητας να ληφθούν ταχεία μέτρα βελτίωσής τους. Ήδη, τεχνικοί της ΔΕΥΑ Χαλκίδας έχουν επισκεφτεί το ανάντη και κατόντη τμήμα της σήραγγας Ανθηδώνας, η οποία φαίνεται να βρίσκεται σε αρκετά καλή κατάσταση.
- Άμεσα, οι αρμόδιοι φορείς (ΟΤΑ) θα πρέπει προχωρήσουν σε εργασίες καθαρισμού της διώρυγας της Ανθηδώνας σε όλο της το μήκος, ώστε να εξασφαλιστεί η δυνατότητα παροχέτευσης των προβλεπόμενων ποσοτήτων νερού στο στόμιο εξόδου. Θεωρούμε ότι για την ασφάλεια της παραλιακής ζώνης, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα ομαλής παροχέτευσης έως και 20 m³/s. Σε κάθε περίπτωση, ανάλογα και με την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος, θα πρέπει να προσδιοριστούν οι περιοχές πλημμυρικής κατάκλυσης, και εφόσον δεν καταστεί εφικτή η διοχέτευση της ως άνω παροχής, οι υπόψη περιοχές να εκκενωθούν. Η ενέργεια αυτή είναι απολύτως κρίσιμη, και πρέπει να υλοποιηθεί άμεσα, καθώς ο μέσος χρονικός ορίζοντας για την έναρξη υπερχειλίσης της Παραλίμνης είναι της τάξης του ενός μόλις μήνα.
- Σε επόμενο στάδιο, θα πρέπει να γίνει ένας ευρύτερος ανασχεδιασμός της περιοχής, με πιθανή μετατόπιση κάποιων υποδομών σε μεγαλύτερα υψόμετρα, δεδομένου ότι έχει υποεκτιμηθεί ο πλημμυρικός κίνδυνος του συστήματος. Ήδη, η ΔΕΥΑ Χαλκίδας έχει προγραμματίσει και υλοποιεί τέτοιες δράσεις, στο πλαίσιο των έργων αρμοδιότητάς της.

Σχετικά με εναλλακτικές δράσεις μερικής ανάσχεσης του φαινομένου, η διερεύνηση που έγινε έδειξε ότι:

- Η απόπειρα τεχνητού καταβιβασμού της στάθμης της Υλίκης από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε., με εντατική απόληψη 140 000 m³ ανά ημέρα από το αντλιοστάσιο Μουρικίου σε χρονικό ορίζοντα τριμήνου, θα έχει ελάχιστο όφελος, όσον αφορά στον περιορισμό των υπερχειλίσεων προς την Παραλίμνη. Οι αναλύσεις μας έδειξαν ότι σε σχέση με το τρέχον σενάριο αντλήσεων, ήτοι 20 000 m³ ημερησίως, δεν θα αποτραπεί η υπερχειλίση της Παραλίμνης, παρά μόνο θα υπάρξει μια μικρή μείωση της μέγιστης στάθμης, της τάξης των 30 cm. Η μείωση αυτή είναι δυσανάλογη του τεράστιου κόστους άντλησης, ιδιαίτερα αν ληφθούν υπόψη οι πολύ μεγάλες αβεβαιότητες του συστήματος.
- Η τοποθέτηση δοκίδων στη διώρυγα Μουρικίου από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. θα προσφέρει ένα πολύ μικρό πρόσθετο αποθηκευτικό όγκο, που θεωρούμε σκόπιμο να μην εξαντληθεί τώρα, αλλά να παραμείνει ως εφεδρεία, για το απευκταίο σενάριο της κατάκλυσης των κεντρικών εγκαταστάσεων της ΔΕΥΑ Χαλκίδας. Σε κάθε περίπτωση, ο χειρισμός των δοκίδων ως μέσων ανάσχεσης θα πρέπει να γίνει με εξαιρετικά μεγάλη προσοχή, καθώς σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται να υπερβληθεί η ανώτατη στάθμη λειτουργίας της Υλίκης, ήτοι +80.0 m, καθώς θα κινδυνεύσει να κατακλυστεί μια ευρεία περιοχή γύρω από τη λίμνη, που περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις της ΕΥΔΑΠ, τον περιφερειακό δρόμο της Υλίκης καθώς και τον ίδιο τον οικισμό Μουρικίου.
- Υπό προϋποθέσεις, ανάσχεση μπορεί να γίνει και στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, με χρήση των πρόχειρων αρδευτικών έργων και των άλλων δυνατοτήτων που παρέχει το αποστραγγιστικό σύστημα της περιοχής, για το οποίο είναι υπεύθυνοι οι αρμόδιοι φορείς του ελληνικού δημοσίου. Ωστόσο, δεδομένου ότι κάποιες περιοχές της λεκάνης έχουν ήδη κατακλυστεί, ως συνέπεια των ακραίων υδρολογικών συνθηκών της φετινής χρονιάς, μια τέτοια δράση θα έχει εξαιρετικά δυσμενείς επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή, και εύλογα θα προκαλέσει σοβαρές κοινωνικές αντιδράσεις.
- Μια επιλογή που χρήζει διερεύνησης αφορά στη χρήση της παλιάς κοίτης του Μέλανα, μέσω της οποίας γινόταν φυσική αποστράγγιση των επιφανειακών υδάτων της λεκάνης στις λεγόμενες καταβόθρες του Ηρακλή, κοντά στο χωριό Κόκκινο. Υπό προϋποθέσεις, αυτή θα μπορούσε να προσφέρει κάποια ανακούφιση στο σύστημα, διοχετεύοντας ένα μέρος της απορροής που καταλήγει στην Υλίκη, κυρίως τα νερά των πηγών Μέλανα (Χαρίτων) και Πολυγύρας, προς τις καταβόθρες. Στην παρούσα μελέτη δεν εξετάστηκε ένα τέτοιο σενάριο, καθώς λόγω της πολύ πυκνής βλάστησης που έχει αναπτυχθεί στις όχθες και την κοίτη, η παροχευευστικότητά του ρέματος φαίνεται πολύ περιορισμένη.

Αναφορές

Ευστρατιάδης, Α., Ι. Ναλμπάντης, και Ε. Ρόζος, Μοντέλο προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού – Υλίκης, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 21, 196 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2004.

Ευστρατιάδης, Α., Γ. Καραβοκυρός, και Ν. Μαμάσης, Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας - Έτος 2009, *Συντήρηση, αναβάθμιση και επέκταση του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για την διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της ΕΥΔΑΠ*, Τεύχος 1, 116 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Απρίλιος 2009.

Ευστρατιάδης, Α., και Π. Παπανικολάου, Υδρολογικός σχεδιασμός έργων εκτροπής και υπερχειλίσης, *Σημειώσεις μαθήματος "Υδραυλικές Κατασκευές - Φράγματα"*, 93 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.

Μακρόπουλος, Χ., Α. Ευστρατιάδης, Γ. Καρακατσάνης, Δ. Νικολόπουλος, και Α. Κουκουβίνος, Τελική έκθεση υπολογισμού χρηματοοικονομικού κόστους αδιύλιστου νερού, *Επικαιροποίηση του χρηματοοικονομικού κόστους αδιύλιστου νερού για την ύδρευση της Αθήνας*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάιος 2018.

Ραυτόπουλος, Θ., και Α. Σίνος, *Οριστική μελέτη υδρεύσεως εξ Υλίκης*, 1951.

Τζεράνης, Ι., και Κ. Τσολακίδης, Επισκόπηση υδρολογικών μελέτων της ευρύτερης περιοχής Υλίκης, *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών – Φάση 2*, Τεύχος 9, 184 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 1990.

Koutsoyiannis, D., and A. Manetas, Simple disaggregation by accurate adjusting procedures, *Water Resources Research*, 32(7), 2105-2117, doi:10.1029/96WR00488, 1996.

Koutsoyiannis, D., Coupling stochastic models of different time scales, *Water Resources Research*, 37(2), 379-391, doi:10.1029/2000WR900200, 2001.

Tsoukalas, I., A. Efstratiadis, and C. Makropoulos, Building a puzzle to solve a riddle: A multi-scale disaggregation approach for multivariate stochastic processes with any marginal distribution and correlation structure, *Journal of Hydrology*, 2019 (υπό έκδοση).

Tsoukalas, I., A. Efstratiadis, and C. Makropoulos, Stochastic periodic autoregressive to anything (SPARTA): Modelling and simulation of cyclostationary processes with arbitrary marginal distributions, *Water Resources Research*, 54(1), 161-185, WRCR23047, doi:10.1002/2017WR021394, 2018a.

Tsoukalas, I., C. Makropoulos, and D. Koutsoyiannis, Simulation of stochastic processes exhibiting any-range dependence and arbitrary marginal distributions, *Water Resources Research*, 54(11), 9484–9513, doi:10.1029/2017WR022462, 2018b.

Tsoukalas, I., *Modelling and simulation of non-Gaussian stochastic processes for optimization of water-systems under uncertainty*, PhD thesis, 339 p., Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens, December 2018.