

Πρόσθετα και συμπληρωματικά υδραυλικά και αντιπλημμυρικά τεχνικά έργα στην περιοχή της Καλαμάτας

Εξέταση ζητημάτων που αφορούν στην τροποποίηση της αριθμ. 122004/13-07-2004 ΑΕΠΟ του έργου:
«Αυτοκινητόδρομος Τρίπολης – Καλαμάτας τμήμα Τσακώνα –Καλαμάτα»

Τεχνική Έκθεση

Ανάθεση:
Περιφέρεια Πελοποννήσου

Σύνταξη:
Δημήτρης Κουτσογιάννης, Πολ. Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Μηχ. ΕΜΠ
Αθήνα, Οκτώβριος 2022

1 Αντικείμενο και συμβατικά στοιχεία

Η παρούσα τεχνική έκθεση έχει συνταχθεί στο πλαίσιο σχετικής ανάθεσης της Περιφέρειας Πελοποννήσου στην εταιρεία: IRMASYS I.K.E.

Η Περιφέρεια Πελοποννήσου έκρινε αναγκαία την παροχή υπηρεσιών σύνταξης τεχνικής έκθεσης για την εξέταση ζητημάτων που αφορούν στην τροποποίηση της αριθμ. 122004/13-07-2004 ΑΕΠΟ του έργου: «Αυτοκινητόδρομος Τρίπολης – Καλαμάτας τμήμα Τσακώνα –Καλαμάτα» ως προς τα πρόσθετα και συμπληρωματικά υδραυλικά και αντιπλημμυρικά τεχνικά έργα στην περιοχή της Καλαμάτας και ειδικότερα:

1. Στη διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων, ώστε να μην κατεδαφιστεί το καλυμμένο (σκεπασμένο) τμήμα του Νέδοντα.
2. Στην αναζήτηση τρόπου, ώστε να μην αφαιρεθούν τα 170 δέντρα νότια της οδού Μακεδονίας και επί των οδών Αρτέμιδος – Νέδοντος, μαζί με την αποτροπή μειωμένου εύρους των οδών αυτών.
3. Στη συντήρηση και ανακατασκευή των 10 (δέκα) φραγμάτων επί του Νέδοντος στο ανάντη του αυτοκινητοδρόμου.
4. Στην αποκατάσταση των ρεμάτων στο κατάντη του αυτοκινητοδρόμου, μαζί με έργα διεύρυνσης του αποχετευτικού δικτύου του Δ. Καλαμάτας.
5. Στην προστασία της ευρύτερης περιοχής Αγίου Φλώρου και Δυτικής περιοχής του Δ. Καλαμάτας (Νικολέικο ρέμα κ.λ.π.) από πλημμυρικά φαινόμενα.
6. Σε οτιδήποτε άλλο θεωρηθεί αναγκαίο για την προστασία της περιοχής και την υπηρέτηση του δημοσίου συμφέροντος.

Για την καλύτερη κατανόηση αυτών των ζητημάτων αρχικώς επισκοπούνται οι διεθνείς τάσεις και αφετέρου το ιστορικό των έργων στον Νέδοντα και στη συνέχεια συζητούνται τα παραπάνω ζητήματα. Η τεχνική έκθεση αυτή διαρθρώνεται στα ακόλουθα επιμέρους κεφάλαια (επτά συμπεριλαμβανομένου του εισαγωγικού):

- 1 Αντικείμενο και συμβατικά στοιχεία
- 2 Διεθνείς τεχνολογικές, περιβαλλοντικές και θεσμικές τάσεις
 - 2.1 Φυσικές καταστροφές, τεχνολογικό πλαίσιο και πολιτικές επιδράσεις
 - 2.2 Περιβαλλοντικό και θεσμικό πλαίσιο
- 3 Ιστορικό έργων στον Νέδοντα
 - 3.1 Γενικές πληροφορίες
 - 3.2 Έργα ορεινής υδρονομίας
 - 3.3 Έργα διευθέτησης
 - 3.4 Μελέτες αναδιευθέτησης
- 4 Υδρολογικές συνθήκες
 - 4.1 Λεκάνες απορροής

- 4.2 Υδρομετρικά δεδομένα Νέδοντα
 - 4.3 Η πλημμύρα του 2016
 - 5 Εναλλακτικές λύσεις για τον Νέδοντα
 - 5.1 Γενικές παρατηρήσεις
 - 5.2 Λύση 0: Μηδενική
 - 5.3 Λύση 1: Υπάρχουσα μελέτη αναδιευθέτησης (ΜΟΡΕΑ)
 - 5.4 Λύση 2: Απομείωση παροχής του Νέδοντα στην Καλαμάτα
 - 5.5 Λύση 3: Αναδιευθέτηση με επαναφυσικοποίηση κοίτης
 - 6 Λοιπά θέματα
 - 6.1 Προστασία της περιοχής δυτικά της Καλαμάτας
 - 6.2 Αστική ανάπλαση
 - 7 Τελικά συμπεράσματα
- Βιβλιογραφικές αναφορές

Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται στο τέλος («Βιβλιογραφικές αναφορές») ή, αν πρόκειται για ιστοσελίδες, σε υποσημειώσεις.

2 Διεθνείς τεχνολογικές, περιβαλλοντικές και θεσμικές τάσεις

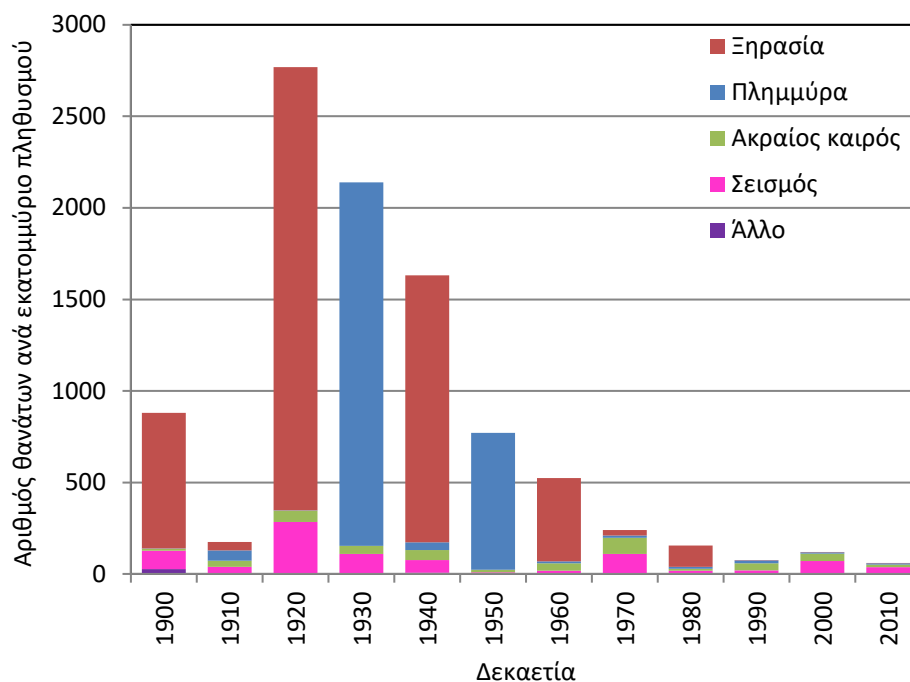
2.1 Φυσικές καταστροφές, τεχνολογικό πλαίσιο και πολιτικές επιδράσεις

Τις πρόσφατες δεκαετίες το θέμα των πλημμυρών και της πλημμυρικής διακινδύνευσης τείνει να είναι συνεχώς στο πολιτικό και επικοινωνιακό προσκήνιο. Η γενική αίσθηση του πληθυσμού είναι ότι οι πλημμύρες και οι επαγόμενες απ' αυτές απώλειες αυξάνονται δραματικά, λόγω της κλιματικής αλλαγής και εν τέλει εξαιτίας των ανθρωπίνων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

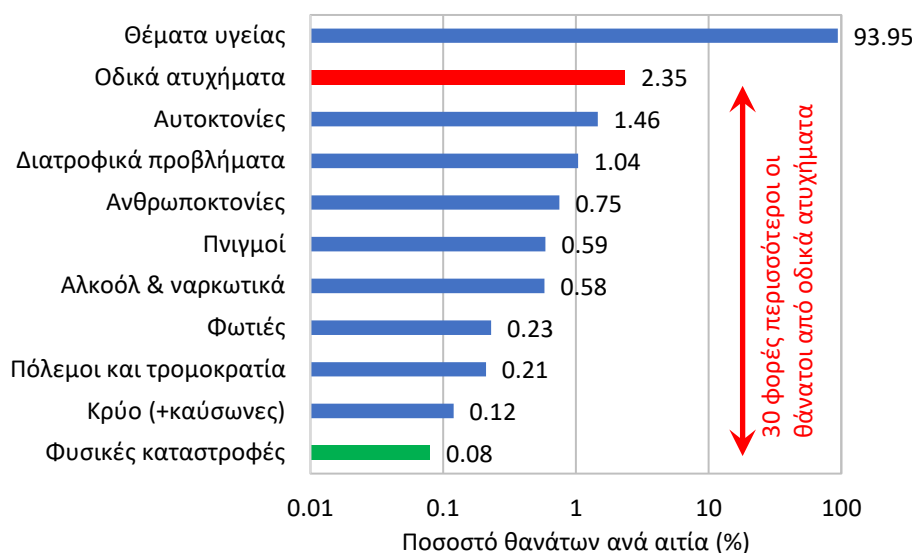
Οι πληροφορίες που διοχετεύονται στον γενικό πληθυσμό από διάφορα κέντρα δεν αντιπροσωπεύουν κατ' ανάγκη την πραγματικότητα και επομένως δεν ανήκουν στη σφαίρα της επιστημονικής γνώσης. Άλλωστε η κλιματική αλλαγή κηρύχθηκε ως αμερικανική πολιτική πρωτοβουλία το 1974 (Koutsoyiannis, 2021), ενώ συνεχίζει να αποτελεί πολιτικό έμβλημα (στην υπηρεσία της επιδίωξης παγκοσμιοποιημένης διακυβέρνησης) και σήμερα (π.χ. κήρυξη κατάστασης κλιματικού συναγερμού από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο το 2019, δημιουργία Υπουργείου Κλιματικής Κρίσης στην Ελλάδα το 2021). Τα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν ένα δυσοίωνα μέλλον, αλλά όταν συγκρίνονται με πραγματικά δεδομένα του παρελθόντος εμφανίζουν ασυμφωνία (Koutsoyiannis et al., 2008; Anagnostopoulos et al., 2010), ιδίως αναφορικά με τα ακραία γεγονότα (Tsaknias et al., 2016). Για τους λόγους αυτούς στην παρούσα έκθεση δεν λαμβάνεται υπόψη η φιλολογία της κλιματικής αλλαγής.

Το κλίμα άλλαζε συνεχώς στην ιστορία της Γης (Koutsoyiannis, 2021), ενώ ακραία γεγονότα πλημμυρών και ξηρασιών πάντα συνέβαιναν και πάντα θα συμβαίνουν. Σε ότι αφορά τον υδρολογικό κύκλο, συμπεριλαμβανομένων των ακραίων φαινομένων που σχετίζονται με αυτόν, τις τελευταίες δεκαετίες, για τις οποίες διατίθενται λεπτομερή επίγεια και δορυφορικά δεδομένα, υπάρχουν φυσικές διακυμάνσεις που δεν αντιστοιχούν στις προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων (Koutsoyiannis, 2020, 2021). Οι διακυμάνσεις δεν εμφανίζονται ως συστηματικές τάσεις, αλλά είναι πότε ανοδικές και πότε καθοδικές. Ωστόσο, οι κίνδυνοι από φυσικές καταστροφές, όπως ποσοτικοποιούνται από τον σκληρό δείκτη των προκαλούμενων θανάτων, έχουν μειωθεί θεαματικά από τις αρχές του 19ου αιώνα ως σήμερα, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχ. 1. Παρόλο που καθημερινά συμβαίνουν και σήμερα θάνατοι από πλημμύρες και ξηρασίες, ο αριθμός τους είναι δραστικά μειωμένος σε σχέση με προηγούμενες δεκαετίες. Σήμερα οι περισσότεροι θάνατοι από φυσικές καταστροφές οφείλονται στους σεισμούς.

Ασφαλώς, η μείωση των θανάτων δεν οφείλεται σε μείωση της συχνότητας των καταστροφικών γεγονότων. Αντίθετα, είναι αποτέλεσμα της τεχνολογικής προόδου, σε συνδυασμό με την οικονομική ανάπτυξη αφενός και με το πνεύμα ορθολογισμού αφετέρου. Είναι εύλογο ότι αν οι δύο τελευταίες προϋποθέσεις αρθούν, όπως είναι πιθανό, τότε η μειωτική ως τώρα τάση θα αντιστραφεί.



Σχ. 1. Εξέλιξη της συχνότητας θανάτων από φυσικές καταστροφές ανά δεκαετία στον 20ο και 21ο αιώνα. Εκτός από τους θανάτους από πλημμύρες και ξηρασίες, καταγράφονται επίσης και θάνατοι από άλλες κατηγορίες φυσικών καταστροφών: ο «ακραίος καιρός» περιλαμβάνει καταιγίδες, ακραίες θερμοκρασίες (κρύο ή καύσωνα, έντονες χειμερινές συνθήκες) και ομίχλη. Ο "σεισμός" περιλαμβάνει επίσης τσουνάμι. Το «άλλο» περιλαμβάνει κατολισθήσεις (υγρές ή ξηρές), πτώσεις βράχων, ηφαιστειακή δραστηριότητα (πτώσεις τέφρας, πυροκλαστική ροή και ροή λάβας) και πυρκαγιές. (Πηγή: Κουτσογιάννης, 2020, 2021· δεδομένα θυμάτων: Διεθνής βάση δεδομένων καταστροφών OFDA/CRED¹· δεδομένα πληθυσμού: Απογραφή Ηνωμένων Πολιτειών².)



Σχ. 2. Κατανομή θανάτων ανά αιτία τη δεκαετία του 2010. Δεδομένα από τη βάση δεδομένων του Our World in Data³ (Πηγή: Κουτσογιάννης, 2021). Σημειώνεται ότι το σύνολο είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από 100% (101,4%, ίσως υποδηλώνοντας ότι σε ορισμένες από τις περιπτώσεις υπάρχουν δύο αιτίες).

¹ <https://ourworldindata.org/ofdacred-international-disaster-data>

² <https://www.census.gov/data-tools/demo/idb/informationGateway.php>

³ <https://ourworldindata.org/grapher/share-of-deaths-by-cause>

Αν συγκριθούν οι θάνατοι από φυσικές καταστροφές με άλλες αιτίες θανάτου, προκύπτει να είναι οι λιγότεροι, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο Σχ. 2. Ειδικότερα, οι θάνατοι που σχετίζονται με κλιματικού τύπου καταστροφές είναι υπεύθυνες για ποσοστό 0.03% των θανάτων παγκοσμίως. Είναι ακόμη ενδιαφέρον ότι οι θάνατοι από μη βέλτιστες θερμοκρασίες (κρύο και ζέστη), που λογίζονται ως ιδιαίτερη κατηγορία στο Σχ. 2, είναι περισσότεροι (0.12%) από αυτούς από τις φυσικές καταστροφές συνολικά (0.08%). Επιπλέον, παρόλο που στη συγκεκριμένη βάση δεδομένων δεν γίνεται διάκριση θανάτων από κρύο ή ζέστη, υπάρχουν μελέτες που έχουν δείξει πως το συντριπτικό ποσοστό αντιστοιχεί στο κρύο. Συγκεκριμένα, στην πρόσφατη μελέτη των Zhao et al. (2021) έχει υπολογιστεί ότι το ποσοστό θανάτων από κρύο είναι άνω του 90% και αυτό από ζέστη κάτω του 10%.

Με βάση την προβολή των κινδύνων από τα μέσα ενημέρωσης και το πολιτικό προσωπικό, μπορεί να διατυπωθεί η εικασία ότι η πρόσληψη των κινδύνων από τον γενικό πληθυσμό είναι τελείως αναντίστοιχη με την πραγματικότητα, όπως αυτή αποτυπώνεται στα παραπάνω στοιχεία. Αν υποθέσουμε ότι διατηρείται στην κοινωνία μας το πνεύμα ορθολογισμού, θα μπορούσε εύλογα να εγερθεί το ερώτημα, γιατί το πολιτικό προσωπικό κήρυξε συναγερμό για τον τελευταίο κίνδυνο στη λίστα, τις φυσικές καταστροφές, και όχι για το κρύο, τη βία, τα ναρκωτικά, τις αυτοκτονίες, τα οδικά ατυχήματα. Ομοίως, γιατί πρέπει οι χώρες να ξοδεύουν \$9.2 τρισ. ετησίως για την «κλιματική κρίση».

Τα παραπάνω στοιχεία παρατέθηκαν με σκοπό αφενός να θέσουν τον κίνδυνο πλημμυρών στις πραγματικές διαστάσεις του, χωρίς βεβαίως να τον θεωρήσουν αμελητέο, και αφετέρου για να δείξουν πως η τεχνολογική πρόοδος και η κατασκευή έργων είναι οι παράγοντες που οδήγησαν σε δραστική μείωση των συνεπειών των επικινδύνων φαινομένων παγκοσμίως. Η κινδυνολογία που φαίνεται να επικρατεί τα τελευταία χρόνια δεν συμβάλλει.

Ενώ είναι δυνατή η μείωση των καταστροφών, θα πρέπει να τονιστεί ότι ούτε οι πλημμύρες καθεαυτές, ούτε οι καταστροφές απ' αυτές εξαλείφονται. Όπως σε όλα τα φυσικά φαινόμενα, δεν υπάρχει ανώτατο όριο στις πλημμυρικές παροχές. Για κάθε τιμή πλημμύρας που θα υιοθετηθεί στο σχεδιασμό ενός αντιπλημμυρικού έργου, υπάρχει μια πιθανότητα υπέρβασης και, κατά συνέπεια, λειτουργικής (ή και δομικής) αστοχίας του έργου. Στην Ελλάδα, το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο ορίζει ως περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού τα 50 χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι κάθε χρόνο υπάρχει πιθανότητα 1/50 ή 2% να ξεπεραστεί η πλημμύρα σχεδιασμού και να υπάρξουν καταστροφές. (Αυτονότητα, δεν σημαίνει ότι η αστοχία θα συμβεί σε 50 χρόνια· θα συμβεί οποτεδήποτε, ακόμη και στο τρέχον έτος, με πιθανότητα 2%). Κατά συνέπεια αν θεωρήσουμε 500 θέσεις στη χώρα που είναι ευάλωτες σε πλημμύρες, με το νομοθετημένο επίπεδο ασφάλειας περιμένουμε ότι, κάθε χρόνο, σε 10 απ' αυτές κατά μέσο όρο θα έχουμε αστοχία και καταστροφές. Άρα

τα καταστροφικά πλημμυρικά φαινόμενα που παρατηρούμε ούτε έκπληξη αποτελούν, ούτε χρειάζεται να αποδοθούν σε αφύσικους (π.χ. ανθρωπογενείς) εξωγενείς παράγοντες.

Αυτονόητα, η υιοθέτηση περιόδου επαναφοράς μεγαλύτερης των 50 ετών θα οδηγούσε σε μείωση της πιθανότητας αστοχίας, χωρίς πάντως η τελευταία να μηδενιστεί. Ωστόσο, αυτό θα ανέβαζε το κόστος των έργων. Η θεσμοθετημένη τιμή αντιπροσωπεύει το κόστος που μπορεί να αναλάβει μια οργανωμένη κοινωνία για την αντιμετώπιση των πλημμυρών. Το ερώτημα που τίθεται είναι τι θα συμβεί όταν έχουμε υπέρβαση της τιμής της πλημμύρας σχεδιασμού. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό θα πρέπει να είναι εκ των προτέρων γνωστή. Για το λόγο αυτό η πρόσφατη ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60 (European Commission, 2007) επιβάλλει την εξέταση σπάνιων πλημμυρικών επεισοδίων μεγάλης περιόδου επαναφοράς. Κατά την εν λόγω Οδηγία, οι σημερινές πλημμύρες σχεδιασμού (περίοδος επαναφοράς ≤ 50 ετών) θεωρούνται πλημμύρες υψηλής πιθανότητας, ενώ απαιτείται η προσομοίωση πλημμυρών μέσης πιθανότητας (περίοδος επαναφοράς ≥ 100 χρόνια) και χαμηλής πιθανότητας (περίοδος επαναφοράς ≥ 1000 χρόνια). Κατά την εφαρμογή της εν λόγω Οδηγίας στην Ελλάδα (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012), οι εν λόγω τρεις κατηγορίες πιθανότητας καθορίστηκαν βάσει της περιόδου επαναφοράς, η οποία θεωρήθηκε 50, 100 και 1000 χρόνια για πλημμύρες υψηλής, μέσης και χαμηλής πιθανότητας υπέρβασης, αντίστοιχα.

Με δεδομένο το παραπάνω γενικό πλαίσιο σχεδιασμού, είναι αναμενόμενο ότι θα υπάρχουν καταστροφές όταν ένα ακραίο πλημμυρικό φαινόμενο υπερβεί την πλημμύρα σχεδιασμού. Οι αντίστοιχες ζημίες τείνουν να καλύπτονται μέσω ασφαλίσεων, οι οποίες μπορεί να είναι δημόσιες (κάλυψη από τον κρατικό προϋπολογισμό, δηλαδή τους φορολογούμενους γενικώς) είτε ιδιωτικές (κάλυψη από ασφαλιστικές εταιρείες και εν τέλει τους ενδιαφερόμενους· Kron et al., 2019).

2.2 Περιβαλλοντικό και θεσμικό πλαίσιο

Η προστασία του περιβάλλοντος εισήχθη ως συνταγματική επιταγή στο Σύνταγμα της Ελλάδας του 1975. Τα προγενέστερα συντάγματα δεν αναφέρονται στο περιβάλλον. Κάτι αντίστοιχο έχει συμβεί με ευρωπαϊκά συντάγματα της δεκαετίας του 1970 (Πορτογαλίας, Ισπανίας, ΕΣΣΔ, Γιουγκοσλαβίας—Μαυριάς και Παντελής, 1990).

Συγκεκριμένα, το άρθρο 24 (Προστασία του περιβάλλοντος) του ισχύοντος ελληνικού συντάγματος αναφέρει μεταξύ άλλων:

Η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξή του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας. Νόμος ορίζει τα σχετικά με την προστασία των δασών και των δασικών εκτάσεων.

Είναι σαφές ότι το άρθρο επικεντρώνεται στα δάση, ενώ στη συνέχεια αναφέρεται σε θέματα χωροταξίας και πολεοδομίας χωρίς να κάνει μνεία υδάτινων σωμάτων και υδατικών πόρων.

Ωστόσο, με μια σειρά αποφάσεών του, το Συμβούλιο της Επικρατείας, έκρινε ότι τα ρέματα υπάγονται στο υπόψη άρθρο του Συντάγματος και καθόρισε όρους προστασίας τους, όπως για παράδειγμα τον αποκλεισμό της κάλυψης της κοίτης τους. Χαρακτηριστικά, η απόφαση ΣτΕ 572/2012 (επταμελής) αναφέρει μεταξύ άλλων⁴:

όπως παγίως έχει κριθεί, ουσιώδες στοιχείο του υπό του άρθρου 24 του Συντάγματος προστατευόμενου φυσικού περιβάλλοντος, και μάλιστα της γεωμορφολογίας του, αποτελούν τα υπό διάφορες ονομασίες «ρεύματα», διά των οποίων συντελείται κυρίως η απορροή προς τη θάλασσα των πλεοναζόντων υδάτων της ξηράς. Εκτός, όμως, από αυτή τη λειτουργία, τα ρέματα αποτελούν, επίσης, φυσικούς αεραγωγούς, μαζί δε με τη χλωρίδα και πανίδα τους είναι οικοσυστήματα με ιδιαίτερο μικροκλίμα που συμβάλλουν πολλαπλώς στην ισορροπία του περιβάλλοντος (ΣΕ 1801/1995, 4577/1998, 2656/1999, 2591/2005, κ.ά.). Κατ' ακολουθίαν, το κράτος υποχρεούται να διατηρεί τα πάσης φύσεως υδρορεύματα στην φυσική τους κατάσταση προς διασφάλιση της λειτουργίας τους ως οικοσυστημάτων, επιτρέπεται δε μόνον η εκτέλεση των απολύτως αναγκαίων τεχνικών έργων διευθέτησης της κοίτης και των πρανών τους προς διασφάλιση της ελεύθερης ροής των υδάτων, αποκλεισμένης κάθε αλλοίωσης της φυσικής τους κατάστασης με επίχωση ή κάλυψη της κοίτης τους, ή τεχνική επέμβαση στα σημεία διακλάδωσής τους (ΣτΕ 899/2011 επτ., 4577/1998, 2315/2002, 2591/2005, 3849/2006 επτ. κ.ά.).

Παρόλα αυτά, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000 η πρακτική της κάλυψης αστικών ρεμάτων συνεχιζόταν, με πιο χαρακτηριστικό το παράδειγμα της κάλυψης του Κηφισού στην Αθήνα και τη μετατροπή του σε αυτοκινητόδρομο, έργο που ολοκληρώθηκε λίγο πριν τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004. Ωστόσο σήμερα, δεδομένων των παραπάνω αποφάσεων, θεωρείται απίθανο, να εγκριθούν άλλες καλύψεις αστικών ρεμάτων.

Το ερώτημα αν οι υπάρχουσες καλύψεις αστικών ρεμάτων θα παραμείνουν ή πρέπει να καθαιρεθούν δεν έχει συζητηθεί προς το παρόν. Αν και είναι πιθανό να τεθεί στο μέλλον, η ελληνική κοινωνία δεν φαίνεται προς το παρόν πρόθυμη για τέτοια δραστικά μέτρα, τα οποία απαιτούν σοβαρές πολεοδομικές παρεμβάσεις και έχουν μεγάλο οικονομικό και κοινωνικό κόστος. Είναι, ωστόσο, χρήσιμο να σημειωθεί ότι σε κάποιες χώρες έχουν υπάρξει τέτοιες παρεμβάσεις. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα εντοπίζεται στη Σεούλ, πρωτεύουσα της Νότιας Κορέας, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 3.

⁴ <http://www.adjustice.gr/webcenter/portal/ste/ypiresies/>



Σχ. 3 Παράδειγμα αστικής ανάπτυξης στη Seoul, Νότια Κορέα. Στην πάνω φωτογραφία (2001) φαίνεται ο αυτοκινητόδρομος Cheonggye τεσσάρων λωρίδων που κατασκευάστηκε την περίοδο 1967 - 71, πάνω από έναν κανονικό δρόμο κατά μήκος της κοίτης του ρέματος Chonggyecheon, μήκους 10 km με λεκάνη απορροής 50 km². Στην κάτω φωτογραφία (2005) φαίνεται η κατάσταση μετά την αστική ανάπτυξη, με καθαίρεση όλων των οδικών έργων, αποκάλυψη του ρέματος και δημιουργία πάρκου αναψυχής. Ορισμένα από τα βάρθρα δεν καθαιρέθηκαν για λόγους ιστορικής μνήμης. (Πηγή: Seoul, South Korea, Cheonggye Freeway⁵).

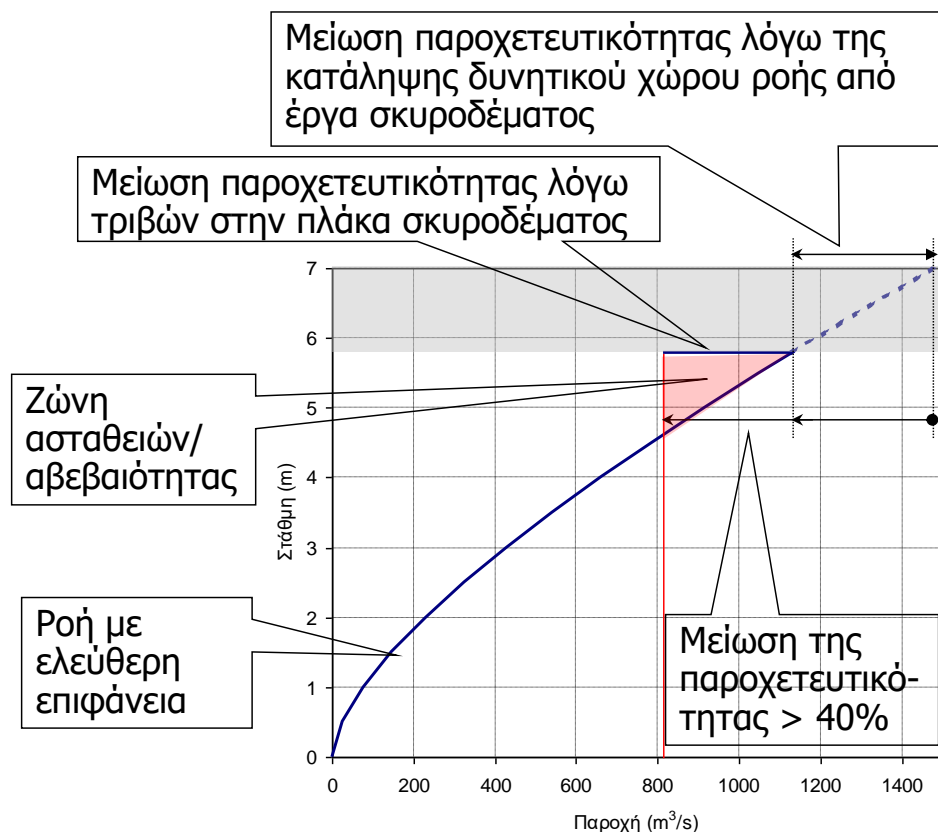
Για λόγους πληρότητας, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η αποκάλυψη των ρεμάτων είναι σήμερα εφικτή χάρη στην τεχνολογική πρόοδο, ιδίως στον τομέα της αντιρρύπανσης. Ομοίως, η κάλυψη αστικών ρεμάτων ήταν δικαιολογημένη στο παρελθόν λόγω της απουσίας αυτής της τεχνολογίας. Η ρύπανση πολλών ρεμάτων από αστικά λύματα, και βιοτεχνικά και βιομηχανικά απόβλητα, καθιστούσαν τις οχλήσεις

⁵ <http://www.preservenet.com/freeways/FreewaysCheonggye.html>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Cheonggyecheon>).

(βλ. επίσης

στους περιοίκους αφόρητες και την κάλυψη μονόδρομο. Αυτό δεν είναι ελληνική πρωτοτυπία: Για παράδειγμα οι παλιοί μεγάλοι υπόνομοι του Παρισιού (πιο γνωστοί χάρη στους «Άθλιους» του Ουγκό) είναι καλυμμένα ρέματα. Ούτε είναι σύγχρονη τεχνολογία: Για παράδειγμα η κάλυψη του Ηριδανού στην Αθήνα έγινε τη ρωμαϊκή περίοδο—πιθανότητα επί Αδριανού—λόγω της ρύπανσης των νερών του.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κάλυψη ρεμάτων είναι και υδραυλικά επιβλαβής, αφού μειώνει την παροχетеυτικότητα, άρα και το επίπεδο ασφάλειας, σε σχέση με μια ακάλυπτη διατομή, όπως καταδεικνύεται στο Σχ. 4.



Σχ. 4. Παράδειγμα για τη μείωση της παροχетеυτικότητας που προκαλεί η κάλυψη ρέματος. Το παράδειγμα αναφέρεται στη διατομή του Κηφισού στο ύψος της Λ. Καβάλας.

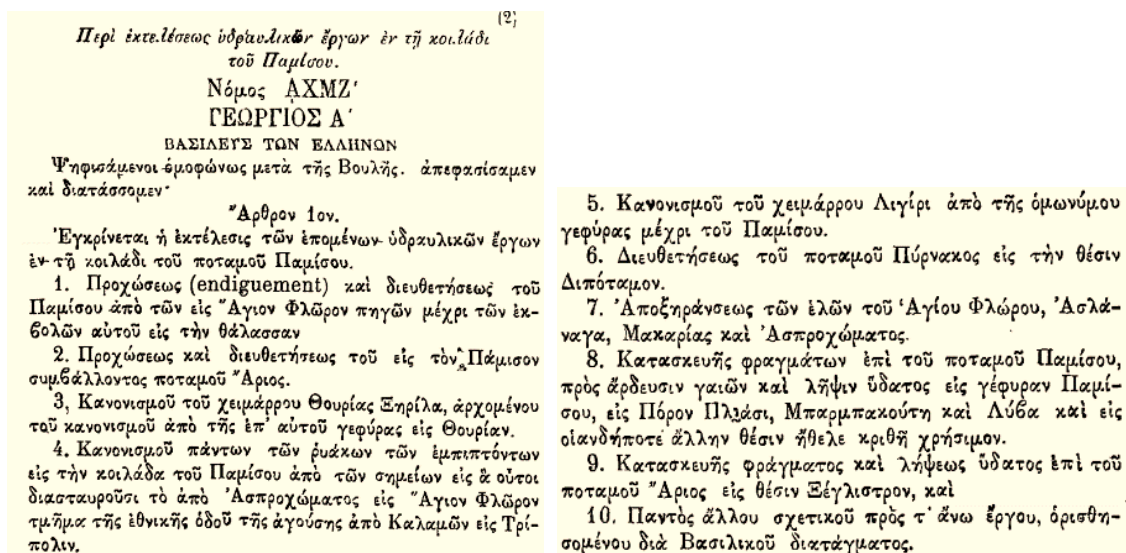
3 Ιστορικό έργων στον Νέδοντα⁶

3.1 Γενικές πληροφορίες

Από τα πρώτα μελήματα του ελληνικού κράτους, τη δεκαετία του 1850, ήταν η κατασκευή υδραυλικών υποδομών, με ιστορικά πρώτη προτεραιότητα την αποξήρανση λιμνών. Η αποξήρανση της Κωπαΐδας ήταν χρονολογικά η πρώτη μέριμνα και ακολούθησαν οι υδραυλικές υποδομές, κυρίως αντιπλημμυρικές, στη Μεσσηνία και τη Θεσσαλία.

Στο Σχ. 5 παρουσιάζεται απόσπασμα από τον Νόμο ΑΧΜΖ' του 1888 που αφορά υδραυλικά έργα στον Πάμισο και στο Σχ. 6 απόσπασμα από τον Νόμο ΑΩΝΕ' του 1890 για υδραυλικά έργα στον Νέδοντα. Σχετικά είναι μεταξύ άλλων και τα ακόλουθα μεταγενέστερα νομοθετήματα:

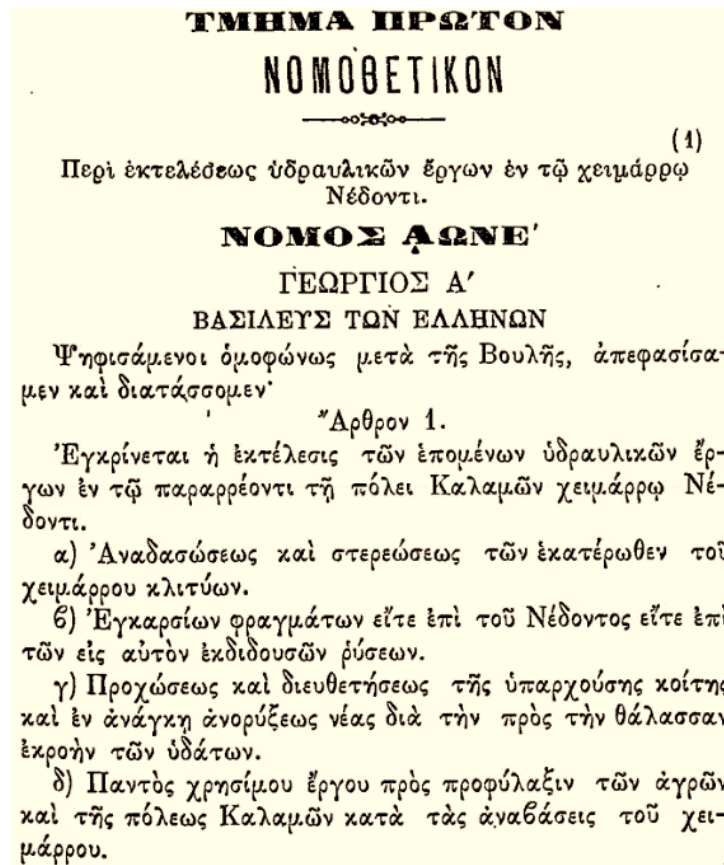
- Ν. ΓΣΛΑ' /7/8-12-1907 (περί των προσθέτων φόρων υπέρ των υδραυλικών έργων του χειμάρρου Νέδοντος και περί αδειάς προς συνομολόγησιν δανείου δια την εκτέλεσιν των έργων τούτων). Συμπληρώθηκε με τον Ν. ΓΣΝΘ' της 26/27.3.1908.
- Ν. ΓΩΖΒ' /4/18-8-1911 (περί συστάσεως ειδικού Ταμείου των υδραυλικών έργων εν τω χειμάρρω Νέδοντι ...).
- Ν. 3690/8/21-12-1928 (περί κυρώσεως ΝΔ ... περί χορηγίας αρωγής του Δημοσίου υπέρ του Ειδικού Ταμείου Χειμάρρου Νέδοντος).
- Α.Ν. 2132/5/13-12-1939 (περί επεκτάσεως του σκοπού του Ειδικού Υδραυλικού Ταμείου Νέδοντος). Συμπληρώθηκε με τον Ν. 83/8/11-5-1943 και το Β.Δ. της 26-1/8-2-1954.



Σχ. 5. Απόσπασμα από τον Νόμο ΑΧΜΖ' της 14 Ιανουαρίου 1888 (ΦΕΚ Α 11⁷), Περί εκτελέσεως υδραυλικών έργων εν τη κοιλάδι του Παμίσου.

⁶ Σε αρχαία κείμενα το όνομα του χειμάρρου απαντά ως Νέδων-Νέδοντος. Εδώ χρησιμοποιείται η νεοελληνική εκδοχή και κλίση Νέδοντας-Νέδοντα.

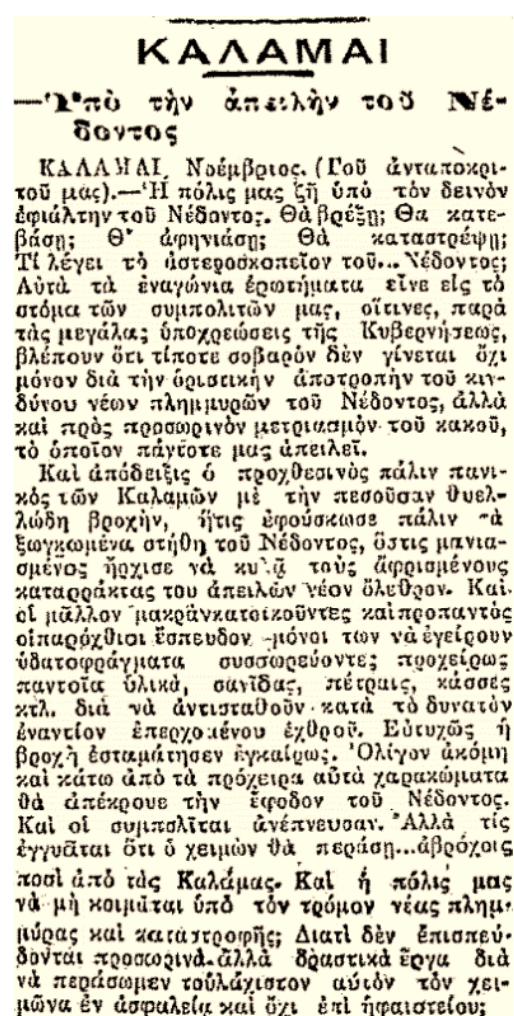
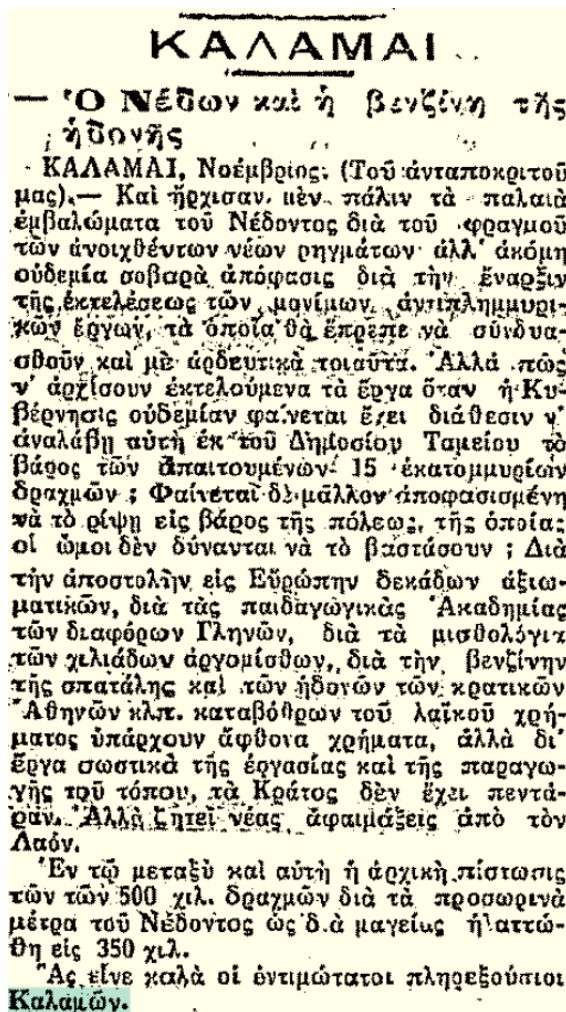
⁷ http://www.et.gr/api/DownloadFeksApi/?fek_pdf=18880100011



Σχ. 6. Απόσπασμα από τον Νόμο ΑΩΝΕ' της 2/6 Ιουνίου 1890 (ΦΕΚ Α 131), Περί εκτελέσεως υδραυλικῶν ἔργων ἐν τῷ χειμάρρῳ Νέδοντι..

Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν ότι στην Καλαμάτα έχει λειτουργήσει από νωρίς και με οργανωμένο τρόπο (με Ειδικό Ταμείο που διέθετε έσοδα) μια διαδικασία κατασκευής αντιπλημμυρικών έργων που είχε σημαντικά αποτελέσματα. Αναφέρονται ιστορικές πλημμύρες τα έτη 1862, 1881, 1903, 1924, 1929.⁸ Αυτό σημαίνει ότι μέχρι τη δεκαετία του 1920 δεν είχε υπάρξει αξιόλογη πρόοδος, γεγονός που επιβεβαιώνονται από δημοσιεύματα σε ελληνικές εφημερίδες (Σχ. 7). Ειδικά η πλημμύρα του 1924 ήταν πολύ σοβαρή και είχε ανθρώπινα θύματα. Περιγραφή της εν λόγω πλημμύρας δίνεται σε άρθρο της εφημερίδας Εμπρός που αναπαράγεται στο Σχ. 8 και δίνει αρκετές χρήσιμες ιστορικές πληροφορίες για τη λεκάνη του Νέδοντα και τις καθυστερήσεις των έργων. Το υπόψη άρθρο αναφέρει 8 νεκρούς για το υπόψη πλημμυρικό επεισόδιο, ενώ άλλες αναφορές ανεβάζουν τον αριθμό των νεκρών σε 15 (Νικολαΐδου και Χατζηχρίστου, 1995).

⁸ <https://web.archive.org/web/20150103052838/http://www.tharrosnews.gr/news/content/ποταμός-νέδοντας-“ο-πάλαι-ποτέ-εφιάλτης-των-καλαματιανών”-φωτογραφίες>



Σχ. 7. Στήλες ἀπὸ τὴν εφημερίδα ΣΚΡΙΠ: Ἀριστερὰ φύλλο 4-11-1924, σελ. 5. Δεξιὰ Φύλλο 18-11-1924, σελ. 5.⁹

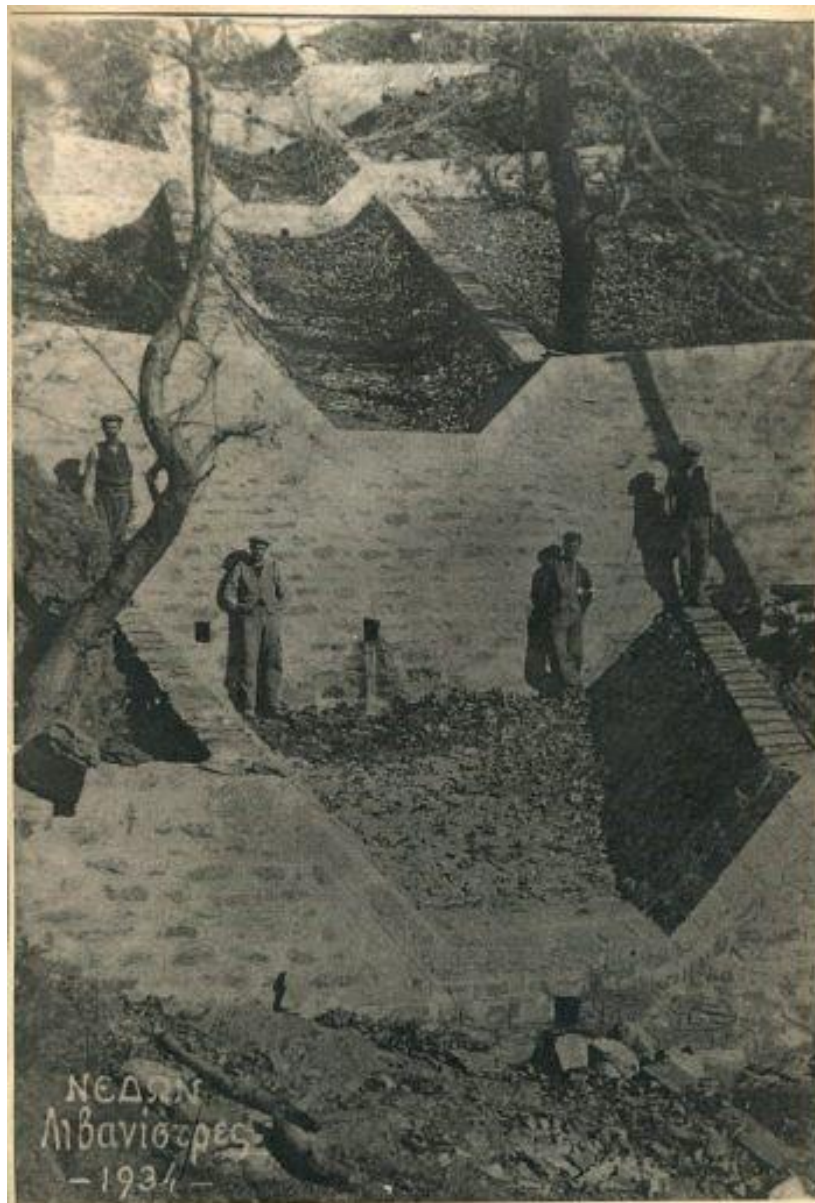
Ἡ κατάσταση διαφοροποιεῖται στη συνέχεια, με μείωση των καταστροφῶν ἀπὸ πλημμύρες. Αναφέρονται πλημμυρικά συμβάντα στις 19 Νοεμβρίου 1979 καὶ 7 Νοεμβρίου 1991 με κατάκλυση υπαίθριων χώρων καὶ κτηρίων, ἀλλὰ χωρὶς ἀνθρώπινα θύματα στην πόλη τῆς Καλαμάτας (Νικολαΐδου καὶ Χατζηχρίστου, 1995). Οἱ πλημμύρες τῶν ἐτῶν 1979 καὶ 1991 δὲν οφείλονταν στον Νέδοντα ἀλλὰ σε ἀστοχίες-υπερχειλίσεις ἄλλων ρεμάτων (Β. Χαντζῆς, προσωπικὴ ἐπικοινωνία).

Ἡ μείωση των πλημμυρικῶν συμβάντων ἐπιτεύχθηκε χάρη στα ἔργα που κατασκευάστηκαν, ὄχι μόνο στην Καλαμάτα ἀλλὰ στο σύνολο τῆς λεκάνης. Ἡ μακροχρόνια ἱστορία αὐτῶν τῶν ἔργων ἀλλὰ καὶ ἡ κάλυψη του συνόλου τῆς λεκάνης καθιστᾶ τὴ λεκάνη τοῦ Νέδοντα μοναδικὸ ἐλληνικὸ πρότυπο που χρήζει περαιτέρω μελέτης, ἀλλὰ καὶ συντήρησης, προστασίας καὶ ἀνάδειξης.

⁹ <http://efimeris.nlg.gr/ns/main.html>

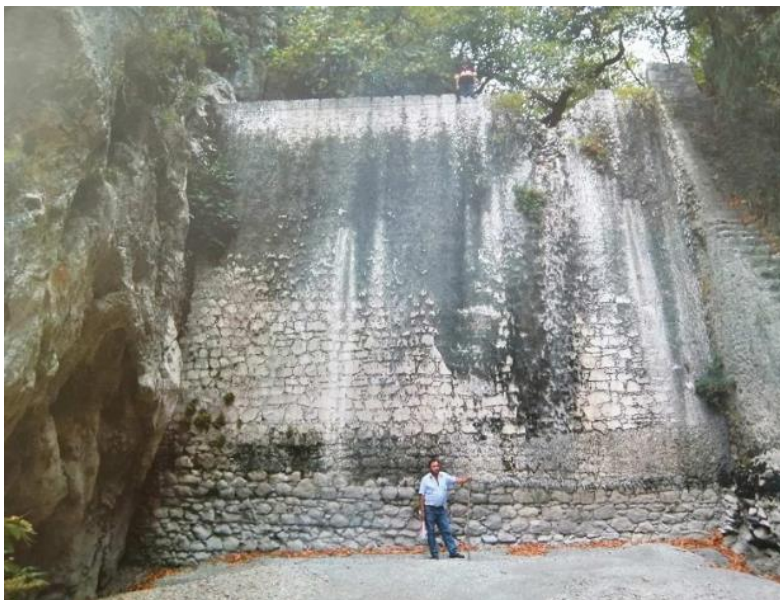
Χαρακτηριστικές φωτογραφίες δίνονται στο Σχ. 9 (από την εποχή της κατασκευής) και Σχ. 10 (σύγχρονες). Οι φωτογραφίες δείχνουν ότι ορθώς τα υπόψη έργα έχουν χαρακτηριστεί ως μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Παράλληλα είναι και τεχνολογικά μνημεία, αλλά και πόλοι έλξης δραστηριοτήτων αναψυχής, σε συνδυασμό και με το φυσιολατρικό και αρχαιολογικό ενδιαφέρον της περιοχής.¹²

Πέραν των φραγμάτων επί της κοίτης του Νέδοντα και των συμβαλλόντων παραχειμάρρων, έχουν κατασκευαστεί ξηρολίθινες αναβαθμίδες και φυτοτεχνικές παρεμβάσεις για την προστασία της λεκάνης από τη διάβρωση (Σχ. 11). Γενικά η πυκνότητα και η ποιότητα των έργων ορεινής υδρονομίας είναι εντυπωσιακές (Σχ. 12).



Σχ. 9. Φωτογραφία από την κατασκευή έργων ορεινής υδρονομίας στη λεκάνη του Νέδοντα του 1934.

¹² <https://eleftheriaonline.gr/stiles/kalimera-kyrie-dimarxe/item/277569-mnimeiaka-kai-arxaiologika-tou-nedonta>

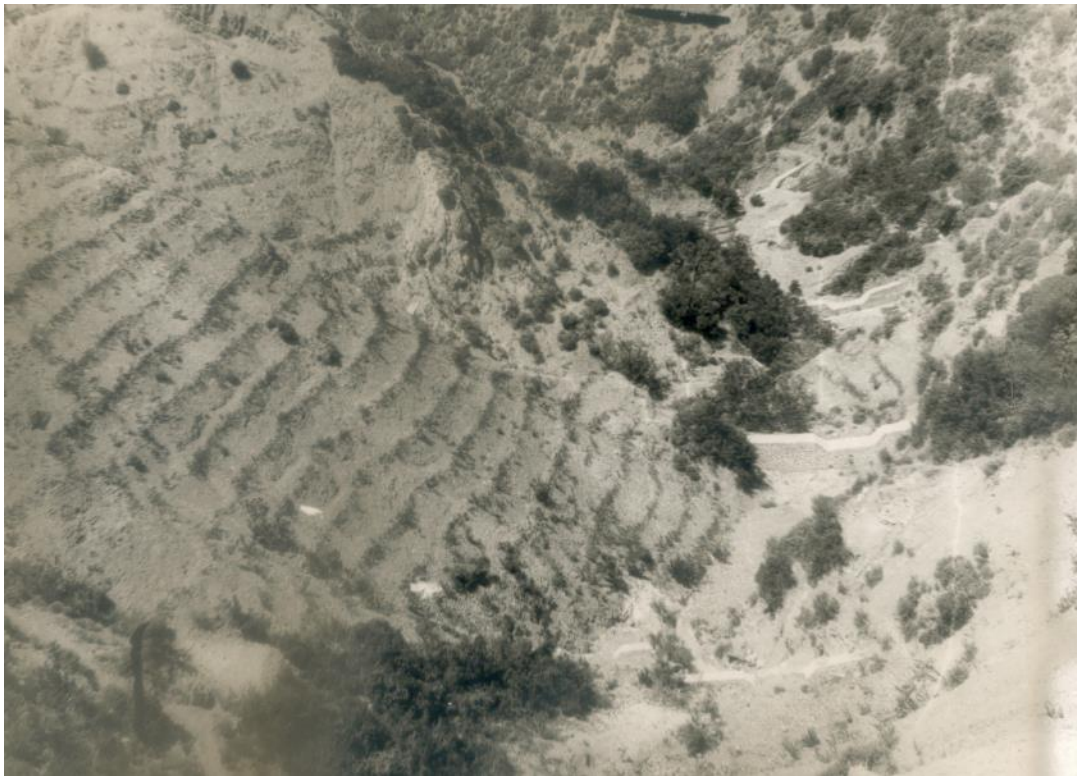


Σχ. 10. Σύγχρονες φωτογραφίες από λιθόδημητους αναβαθμούς στον Νέδοντα. Η τελευταία εικόνα αποτελεί λεπτομέρεια της προηγούμενης και δείχνει το έτος κατασκευής.^{13,14,15}

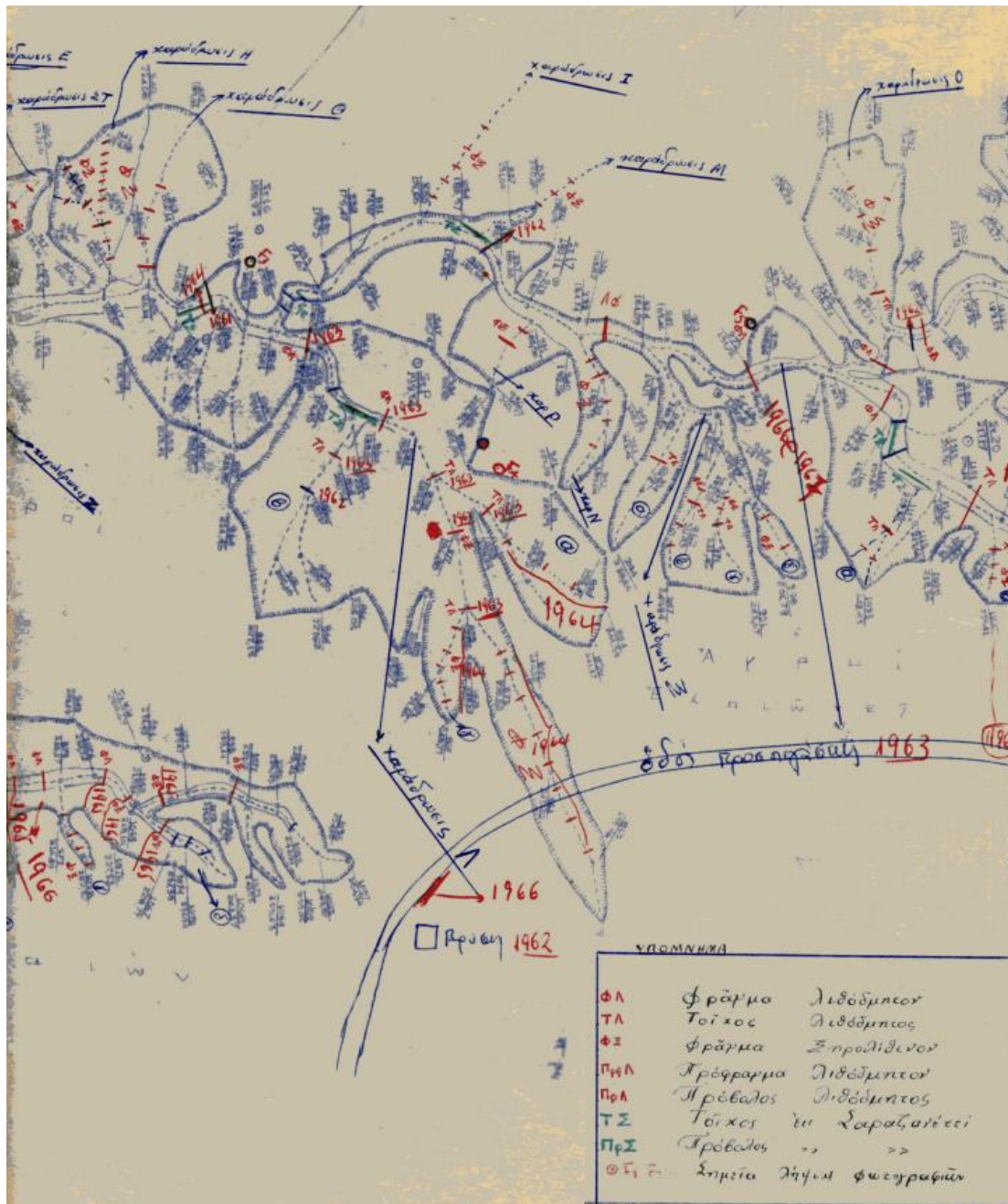
¹³ <https://kalamatajournal.gr/koinonia/eksormiseis/item/10603-sta-petrina-fragmata-kai-tous-katarraktes-tou-nedonta>

¹⁴ <https://kalamatajournal.gr/messinia/kalamata/item/29452-panagiwths-giannakeas-erwthmata-kai-scholia-schetika-me-th-mpe-toy-antiplhmyrikoy-ths-kalamatas>

¹⁵ <https://www.messinialive.gr/pezoporiam-ston-nedonta-enas-fysikos-ploutos-gia-tin-kalamata-kindynoi-kai-apeiles/>



Σχ. 11. Φωτογραφίες από ξηρολίθινες αναβαθμίδες για την προστασία της λεκάνης του Νέδοντα από τη διάβρωση. (Αρχείο τοπικής Δασικής Υπηρεσίας, ευγενική χορηγία Β. Χαντζή.)



Σχ. 12. Τμήμα οριζοντιογραφίας του Δαφνορέματος (νοτιότερου κλάδου του Νέδοντα) που δείχνει την πυκνότητα των έργων ορεινής υδρονομίας. (Αρχείο τοπικής Δασικής Υπηρεσίας, ευγενική χορηγία Β. Χαντζή.)

Από υδραυλική άποψη τα έργα των αναβαθμών έχουν τρεις κύριες λειτουργίες: (α) προσφέρουν χώρο για αποθήκευση φερτών υλικών, τα οποία δεν μεταφέρονται στα κατάντη, (β) μειώνουν την ταχύτητα ροής και άρα διαχέουν στο χρόνο το πλημμυρικό φαινόμενο, και (γ) καταστρέφουν μέρος της ενέργειας της ροής κάνοντάς την έτσι λιγότερο καταστροφική στα κατάντη. Η πρώτη λειτουργία φθάνει σε κορεσμό όταν ο διατιθέμενος χώρος στα ανάντη πληρωθεί με φερτά, αλλά τεχνολογικά υπάρχει η δυνατότητα απομάκρυνσης των φερτών που έχουν συσσωρευτεί. Οι λειτουργίες (β) και (γ) είναι διαχρονικές και ανεξάρτητες από την απομάκρυνση των φερτών ή όχι. Η

επαγόμενη απομείωση της ταχύτητας και της πλημμυρικής αιχμής εξετάζονται περαιτέρω στο εδάφιο 5.4.1.

3.3 Έργα διευθέτησης

Παράλληλα με τα έργα ορεινής υδρονομίας, ξεκίνησαν και τα έργα διευθέτησης της κοίτης του Νέδοντα στην πόλη της Καλαμάτας. Σύμφωνα με αναφορές, τα έργα εκβάθυνσης της κοίτης ξεκίνησαν το 1937.¹⁶ Στις δεκαετίες 1970-80 μελετήθηκε και κατασκευάστηκε η κάλυψη τμημάτων της κοίτης του Νέδοντα σε συνολικό μήκος 807 m.

Σύμφωνα με στοιχεία από τη μελέτη των Λημναίου κ.ά. (2010), η σημερινή κατάσταση της διευθετημένης κοίτης από πλευράς διατομών, μηκών και κλίσεων, παρουσιάζεται στον Πίν. 1. Το καλυμμένο τμήμα Δ, το παλαιότερο και πιο προβληματικό, είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και έχει δύο σειρές ενδιάμεσων υποστυλωμάτων. Στα νεότερα τμήματα Γ και Ε έχει χρησιμοποιηθεί προένταση και δεν υπάρχουν ενδιάμεσα υποστυλώματα. Χαρακτηριστικές φωτογραφίες των διατομών φαίνονται στα Σχ. 13 έως Σχ. 15.

Πίν. 1. Χαρακτηριστικά διατομών του διευθετημένου τμήματος του Νέδοντα στην πόλη της Καλαμάτας.

Τμήμα	ΧΘ αρχής	ΧΘ τέλους	Μήκος (m)	Σύμβολο*	Πλάτος, B (m)**	Ύψος, H + πάχος κάλυψης (m)***	Κλίση, J (%)
A	0+000	0+108	108.0	ΥΑ1	15.6	1.7	0.564
B	0+108	1+642	1534.0	ΥΑ2	15.6	2.6	0.7-1.0
Γ	1+642	2+005	363.0	ΥΚ3	15.6	2.8+0.5	0.9-1.0
Δ	2+005	2+243	238.0	ΥΚ4****	15.6	2.8+0.5	0.9-1.0
Ε	2+243	2+449	206.0	ΥΚ3	15.6	2.8+0.5	0.9-1.0
ΣΤ	2+449	3+126	677.0	ΥΑ2	15.6	2.6	0.7-1.0

* Υ: υπάρχουσα, Α: ακάλυπτη, Κ: καλυμμένη

** Υπάρχουν τοπικές στενώσεις σε θέσεις γεφυρών (π.χ. στη Γέφυρα Μεγάλου Χορού το πλάτος είναι 14.4 m).

*** Το ύψος δεν είναι σταθερό στη διατομή, δεδομένου ότι ο πυθμένας έχει κατασκευαστεί με εγκάρσιες ρύσεις 5-10%. Δεν είναι βέβαιο αν το αναφερόμενο ύψος είναι το μέσο, το μέγιστο ή το ελάχιστο. Στους υπολογισμούς θεωρείται ότι είναι το μέγιστο.

**** Η διατομή ΥΚ4 έχει ενδιάμεσα υποστυλώματα διατάσεων 0.60 m × 0.60 m, σε δύο παράλληλες σειρές ανά 6.0 m περίπου.

Το τμήμα Δ είναι και το κρίσιμο, αφού έχει τη μικρότερη παροχετευτικότητα και άρα καθορίζει την παροχετευτικότητα του όλου έργου διευθέτησης. Στη μελέτη των Λημναίου κ.ά. (2010), η παροχετευτικότητα του εν λόγω τμήματος εκτιμάται σε 75 m³/s για την υπάρχουσα κατάσταση με τα μεμονωμένα υποστυλώματα, ενώ παράλληλα εκτιμάται ότι, αν ενωθούν τα μεμονωμένα υποστυλώματα με τοιχία, θα υπερδιπλασιαστεί η παροχετευτικότητα, φθάνοντας τα 170 m³/s.

¹⁶ <https://eleftheriaonline.gr/local/politismos/synentefkseis-parousiaseis/item/20304-o-vedontas-de-menos-me-tin-istoria-tis-kalamatas>



Σχ. 13. Φωτογραφίες του τμήματος Δ της διευθετημένης και καλυμμένης κοίτης του Νέδοντα.¹⁷



Σχ. 14. Φωτογραφία του τμήματος Γ της διευθετημένης και καλυμμένης κοίτης του Νέδοντα. Το τμήμα Ε είναι παρόμοιο.¹⁷

¹⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=7tfU2MjlBgl>



Σχ. 15. Ανω: Φωτογραφία του τμήματος Β της διευθετημένης και καλυμμένης κοίτης του Νέδοντα. Το τμήμα ΣΤ είναι παρόμοιο.¹⁷ Κάτω: Εικόνα από το Google Earth στην περιοχή του τμήματος Β όπου φαίνονται τα δέντρα εκατέρωθεν της διευθετημένης κοίτης.

3.4 Μελέτες αναδιευθέτησης

Στις εξεταζόμενες μελέτες (Λαζαρίδης & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστας, 2021, Λαγούδη κ.ά., 2021) προτείνεται αναδιευθέτηση του Νέδοντα σε όλο το μήκος με σημαντική επαύξηση της παροχετευτικότητάς του ώστε να καλύπτει την παροχή 50ετίας που εκτιμήθηκε σε $463.7 \text{ m}^3/\text{s}$ από την εκβολή μέχρι τη ΧΘ 2+820 και σε 451.7 ανάντη αυτής. Για να επιτευχθούν αυτές οι τιμές γίνονται οι ακόλουθες προβλέψεις:

- Το τμήμα Β μέχρι τη ΧΘ 0+700 προβλέπεται να διαπλατυνθεί αποκτώντας πλάτος 22.65 m και να εκβαθυνθεί σε βάθος 3.2 m (διατομή ΤΔ-1).
- Μετά τη θέση αυτή προβλέπεται εκβάθυνση σε βάθη $3.70\text{--}6.30 \text{ m}$ (διατομή ΤΔ-2).

- Η ίδια διατομή (ΤΔ-2) προβλέπεται να εφαρμοστεί και για το τμήμα ΣΤ.
- Για τα τμήματα Γ και Ε προβλέπεται εκβάθυνση σε βάθη 4.80-5.80 m με διατήρηση της υφιστάμενης κάλυψης (διατομή ΤΔ-3).
- Τέλος για το τμήμα Δ προβλέπεται ανακατασκευή της επικάλυψης και του όλου στατικού φορέα χωρίς υποστυλώματα και με εκβάθυνση στα 4.8 m.

Σημειώνεται ότι οι χιλιομετρικές θέσεις στη μελέτη των Λαγούδη κ.ά. (2021) παρουσιάζουν κάποιες διαφορές σε σχέση με αυτές της μελέτης Λημναίου κ.ά. (2010), αλλά αυτές αμελούνται στην παρούσα έκθεση.



Σχ. 16. Προτεινόμενα έργα στις εξεταζόμενες μελέτες αναδιευθέτησης (Λαζαρίδης & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστας, 2021, Λαγούδη κ.ά., 2021. Αναπαραγωγή της Εικόνας 6.3 της μελέτης Λαγούδη κ.ά., 2021).

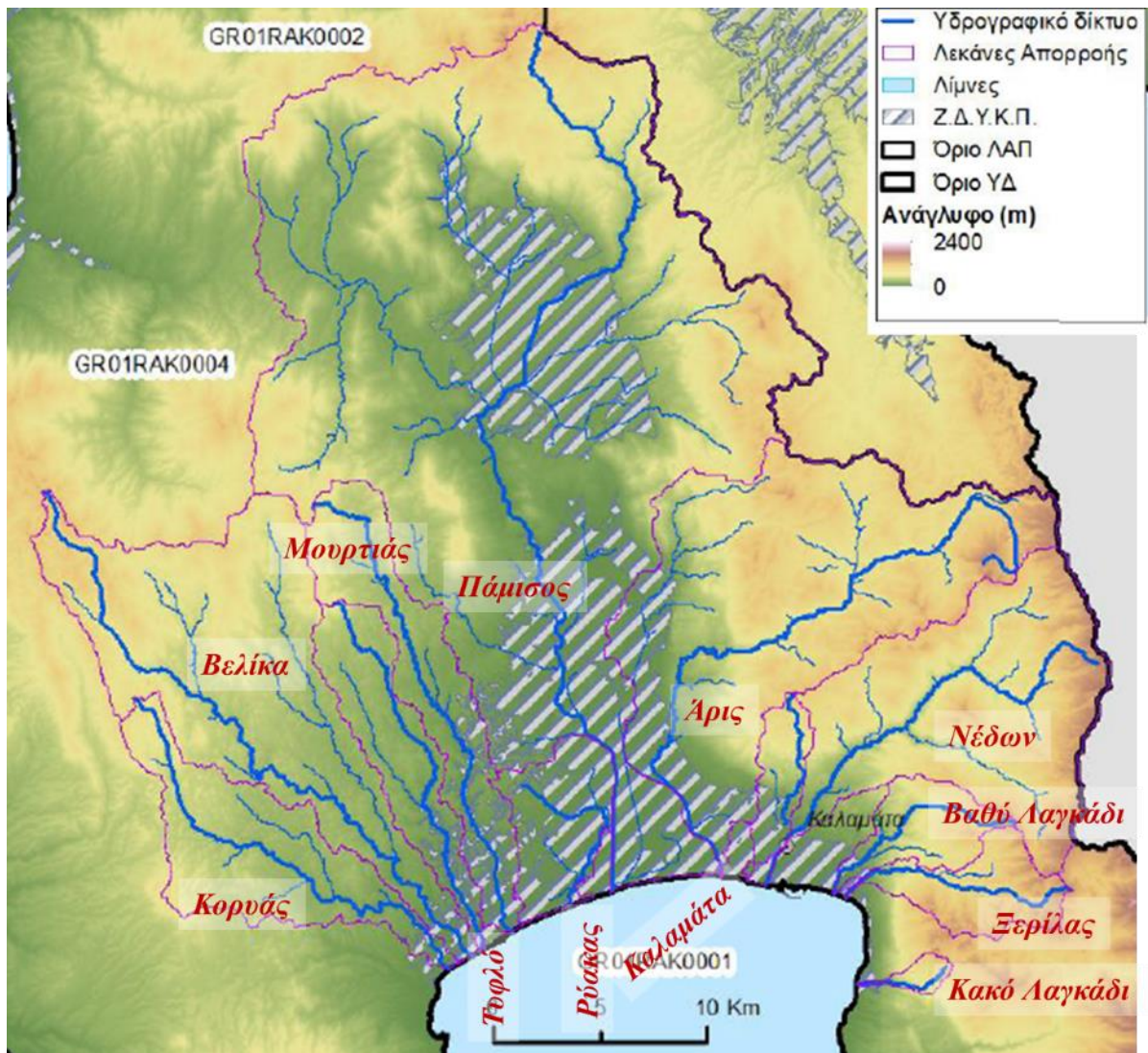
Εξ άλλου, στις εν λόγω μελέτες προβλέπονται και τα παρακάτω επιπρόσθετα έργα που απεικονίζονται και στο Σχ. 16.

- Κατασκευή υδραυλικής σήραγγας μήκους ~850 m παράλληλης με τον αυτοκινητόδρομο στην οποία απορρέουν τα όμβρια του ρ. Ελαφογκρέμη λεκάνης 5.3 km² και του ρ. Λαγκάδα λεκάνης 3.95 km².
- Διευθέτηση της υφιστάμενης κοίτης ρ. Καραμπογιά σε συνολικό μήκος 1.1 km κατάντη της Περιμετρικής Οδού μέχρι τον π. Νέδοντα.
- Μικρής κλίμακας αναβαθμοί, λεκάνες ηρεμίας και διαμόρφωση αναχώματος ανάντη του αυτοκινητοδρόμου ΜΟΡΕΑ στα ρέματα Ελαφογκρέμη, Λαγκάδας και Καραμπογιά.
- Λεκάνες συγκράτησης φερτών μετά των αναγκαίων εκατέρωθεν διευθετήσεων ανάντη της Περιμετρικής οδού, του αυτοκινητοδρόμου ΜΟΡΕΑ, στα ρέματα Ελαφογκρέμη, Λαγκάδας και Καραμπογιά.
- Καθοδήγηση του ρ. Καλαμίτσι (Οχ.037) στον π. Νέδοντα (και τμήμα λεκάνης ρ. Βέλιουρα), σύμφωνα με μελέτη της ΔΕΥΑΚ με αγωγό 1.5 m x 2.0 m κάτω από την οδό Καλαμάτας - Σπάρτης.

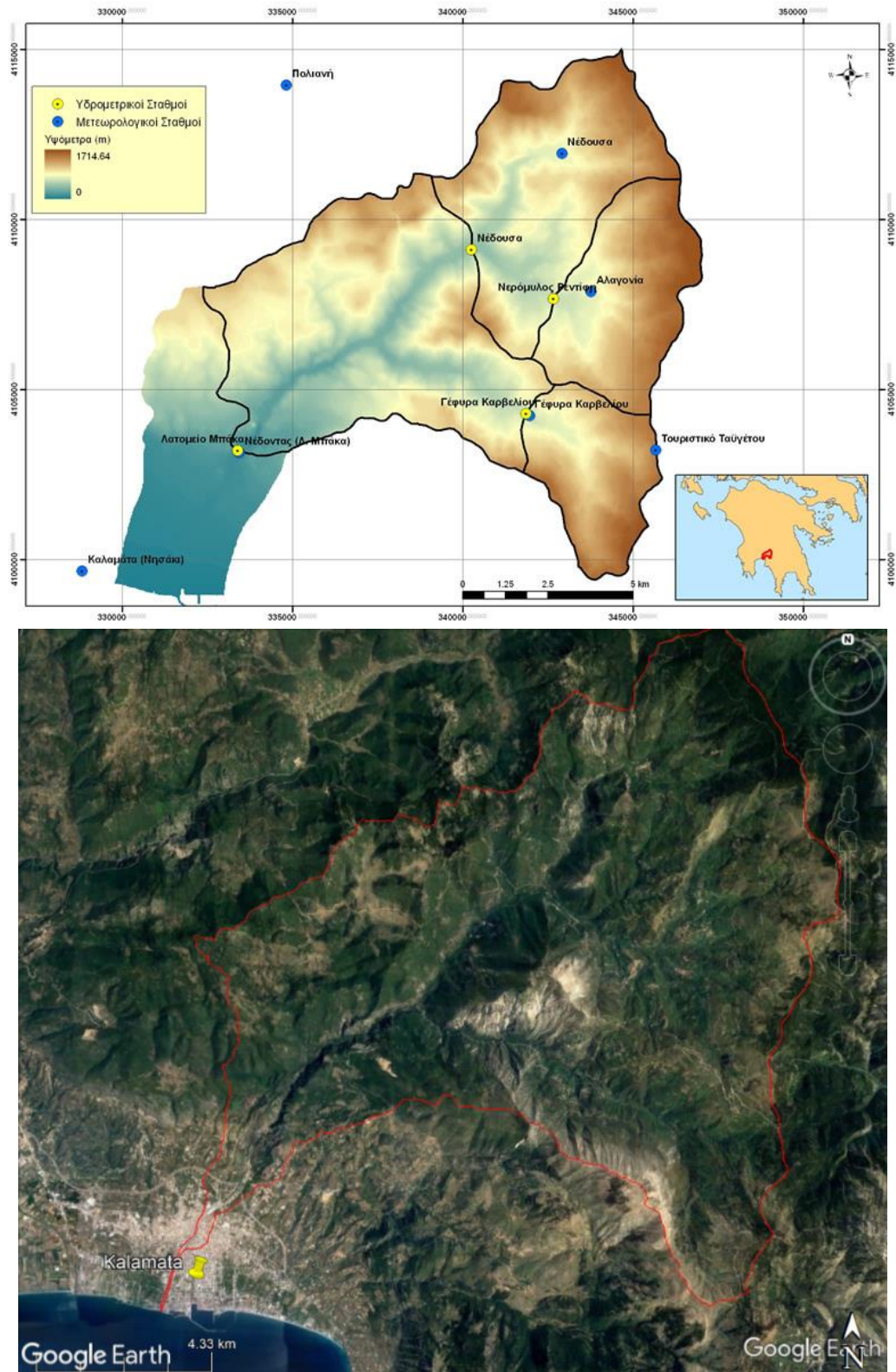
4 Υδρολογικές συνθήκες

4.1 Λεκάνες απορροής

Η ευρύτερη περιοχή της Καλαμάτας αποτελεί ένα φυσικό πλημμυρικό πεδίο στο οποίο εκβάλλουν 12 υδατορεύματα. Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (Θεοδώρου κ.ά., 2018) έχει χαρακτηριστεί ως Ζώνη Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ) της πεδινής περιοχής ρεμάτων Καλαμάτας-Μεσσήνης (π. Πάμισος, Άρις, Βέλικας) με κωδικό GR01RAK0001 (Σχ. 17).



Σχ. 17. Υδρογραφικό δίκτυο, λεκάνες απορροής και όρια της ΖΔΥΚΠ. (Αναπαραγωγή του Σχήματος 1 από την πραγματογνωμοσύνη Μαμάση, 2019, με πρωτογενή πηγή Θεοδώρου κ.ά., 2018).



Σχ. 18. Λεκάνη απορροής του Νέδοντα. Πάνω: σύμφωνα με το Ερευνητικό Έργο Δευκαλίων (με επισήμανση και των υδρομετρικών και μετεωρολογικών σταθμών).¹⁸ Κάτω: από το Google Earth.

¹⁸ <http://deucalionproject.itia.ntua.gr/basins/gr/nedontas/index.htm>

Ειδικότερα η λεκάνη απορροής του Νέδοντα φαίνεται στο Σχ. 18, ενώ χαρακτηριστικά μεγέθη αυτής στις θέσεις όπου έχουν εγκατασταθεί υδρομετρικοί σταθμοί, στο πλαίσιο του Ερευνητικού Έργου Δευκαλίων,^{18,19,20} φαίνονται στον Πίν. 2.

Πίν. 2. Χαρακτηριστικά υπολεκανών της λεκάνης του Νέδοντα στην πόλη της Καλαμάτας. Πηγή: Ερευνητικό Έργο Δευκαλίων.²⁰

	Λατομείο Μπάκα	Καρβελιώτης	Αλαγονία	Νέδουσα
Έκταση λεκάνης (km ²)	120.8	15.3	20.9	32.2
Μήκος κύριου υδατορεύματος (km)	18	6.5	5.6	8.1
Μέσο υψόμετρο λεκάνης (m)	875.7	1098.5	1092.6	927.6
Υψόμετρο στην έξοδο (m)	93	596.2	597.5	397.5
Διαφορά μέσου υψομέτρου και υψομέτρου στην έξοδο (m)	782.7	502.3	495.1	530.1
Χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti (h)	3.17	1.42	1.50	1.89

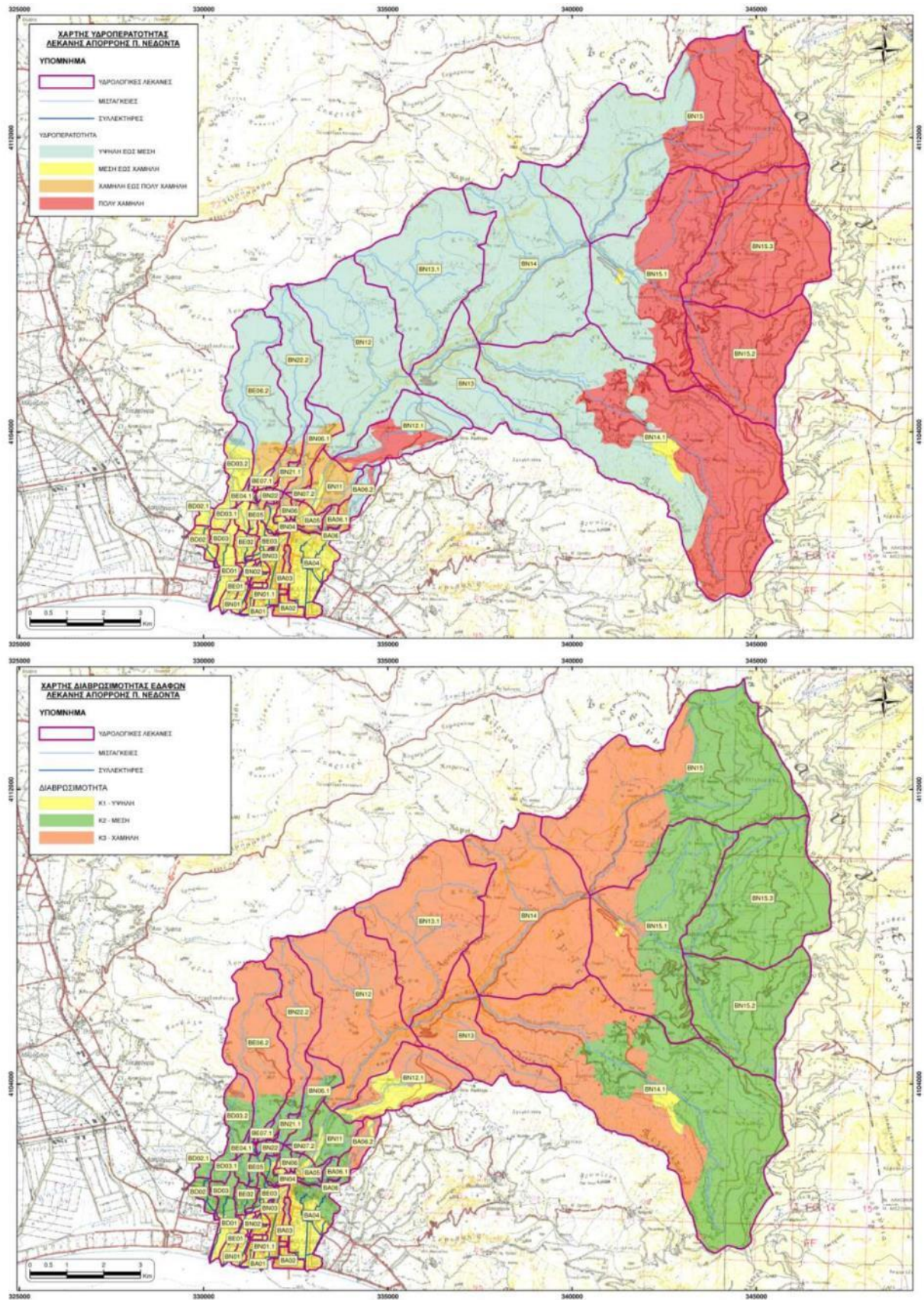
Η συνολική έκταση της λεκάνης μέχρι την εκβολή, σύμφωνα με τις μελέτες αναδιευθέτησης (Λαζαρίδης & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστας, 2021, Λαγούδη κ.ά., 2021) είναι ~124 km² και το συνολικό μήκος του κύριου υδατορεύματος ~25 km. Επισημαίνεται ότι τα όρια του πλέον κατάντη τμήματος της λεκάνης δεν είναι σαφή, επειδή εξαρτώνται από τη χάραξη του δικτύου ομβρίων και τυχόν έργα εκτροπής άλλων ρεμάτων. (Για τον λόγο αυτό στο Σχ. 18 δίνονται δύο διαφορετικές εκδοχές των ορίων της λεκάνης.)

Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Νέδοντα και συγκεκριμένα χάρτες υδροπερατότητας και διαβρωσιμότητας παρουσιάζονται στο Σχ. 19 (Λαζαρίδης & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστας, 2021). Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης καλύπτεται από διαπερατούς γεωλογικούς σχηματισμούς, κυρίως ασβεστόλιθους καρστικοποιημένους κατά θέσεις. Ωστόσο, στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης εμφανίζονται αδιαπέρατοι σχηματισμοί, φυλλίτες, χαλαζίτες, αργιλικοί σχιστόλιθοι, κ.ά. Πετρώματα χαμηλής διαπερατότητας εμφανίζονται και σε μια μικρή περιοχή ανάντη της Καλαμάτας.

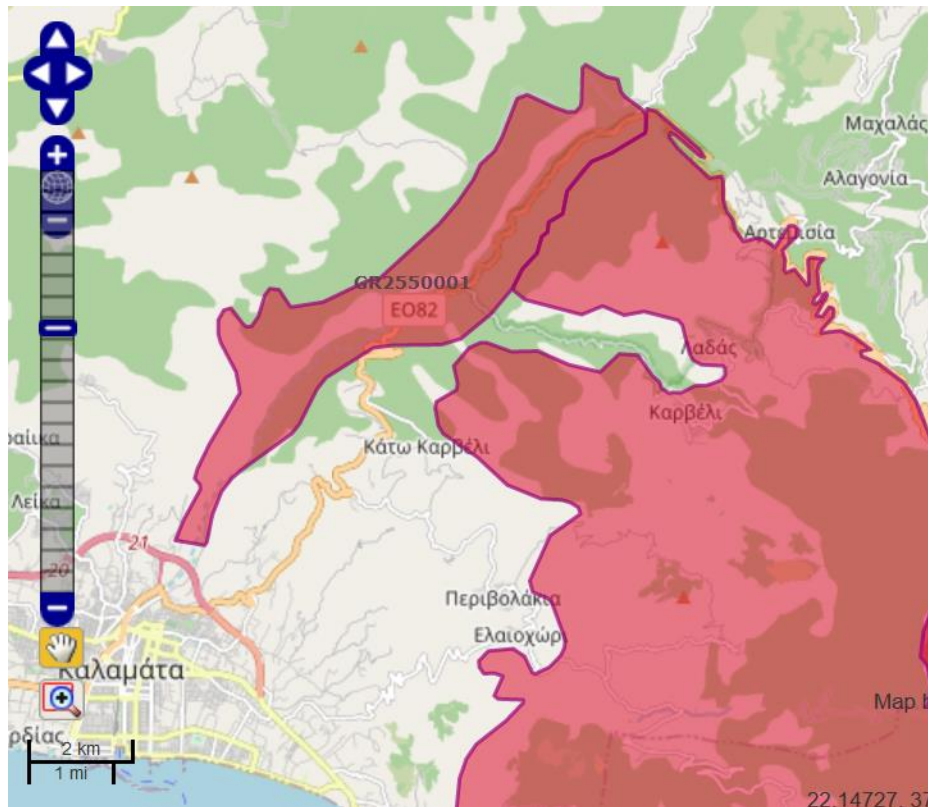
Θα πρέπει ακόμη να σημειωθεί ότι τα φαράγγι του Νέδοντα καθώς και τμήμα της λεκάνης μεταξύ των χωριών Λαδάς και Αρτεμισία αποτελούν περιοχές Natura (Σχ. 20). Επισημαίνεται ότι για σχέδια και έργα σε περιοχές Natura ισχύει σχετική ευρωπαϊκή οδηγία (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

¹⁹ <http://www.itia.ntua.gr/el/projinfo/164/>

²⁰ http://deucalionproject.itia.ntua.gr/events/gr/nedontas/event_N1_2013a.htm



Σχ. 19. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του Νέδοντα. Πάνω: υδροπερατότητα. Κάτω: διαβρωσιμότητα. Πηγή: Λαζαρίδης & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστα, 2021.



Σχ. 20. Βιότοποι NATURA στην περιοχή μελέτης. Αριστερά τα όρια του φαραγγιού Νέδοντα και δεξιά τα όρια της περιοχής NATURA του Όρους Ταΰγέτου.^{21,22}

4.2 Υδρομετρικά δεδομένα Νέδοντα

Στο πλαίσιο του Ερευνητικού Έργου OpenHi^{23,24} λειτουργούν, υπό την ευθύνη της υδρολογικής ομάδας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, 4 υδρομετρικοί σταθμοί στη λεκάνη του Νέδοντα. Συγκεκριμένα τρεις από τους σταθμούς, σε θέσεις στις ανάντη υπολεκάνες που φαίνονται στο Σχ. 18 (πάνω), εγκαταστάθηκαν (από την ίδια ομάδα) αρχικώς στο πλαίσιο του προγενέστερου έργου Δευκαλίων. Ο τέταρτος σταθμός του Σχ. 18 (πάνω), συγκεκριμένα στην πιο κατάντη θέση Λατομείο Μπάκα, εγκαταστάθηκε επίσης στο τελευταίο έργο αλλά καταστράφηκε στο πλημμυρικό επεισόδιο του 2016 (βλ. εδάφιο 4.3) και αντικαταστάθηκε από νέο σταθμό στην πόλη της Καλαμάτας και συγκεκριμένα στη θέση Γέφυρα Μεγάλου Χορού.

Η διακύμανση της στάθμης του Νέδοντα στις θέσεις των τεσσάρων υδρομετρικών σταθμών του OpenHi από το 2018 μέχρι σήμερα παρουσιάζεται στο Σχ. 21.

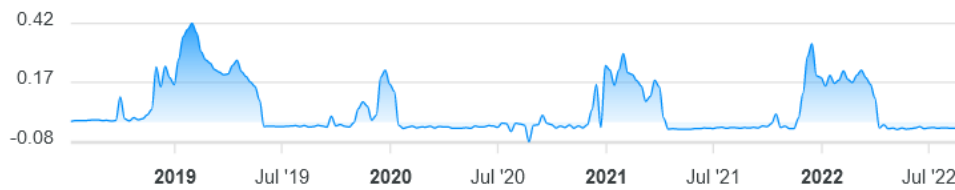
²¹ <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/GR2550001/>

²² <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/GR2550006/>

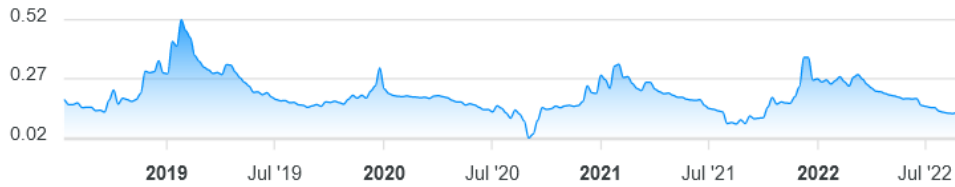
²³ <http://www.itia.ntua.gr/el/projinfo/194/>

²⁴ <https://openhi.net/>

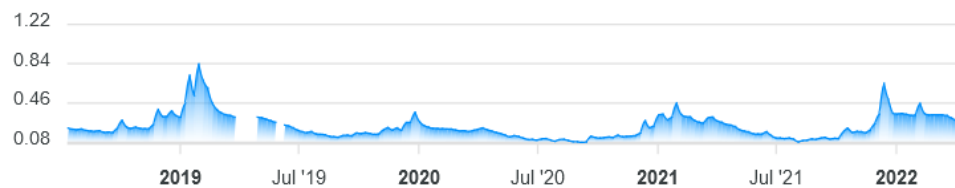
Νέδοντας Καλαμάτα (Γέφυρα Μεγάλου Χορού), <https://system.openhi.net/stations/1482/>



Νέδουσα, <https://system.openhi.net/stations/1487/>



Αλαγονία (Νερόμυλος Ρεντίφη) <https://system.openhi.net/stations/1486/>



Καρβελιώτης, <https://system.openhi.net/stations/1356/>



Σχ. 21. Μεταβολή της στάθμης του Νέδοντα (σε m) στις θέσεις των τεσσάρων υδρομετρικών σταθμών του OpenHi από το 2018 μέχρι σήμερα. Τα δεδομένα είναι ελεύθερα διαθέσιμα στις διευθύνσεις που αναφέρονται.

Ακόμη δεν έχει γίνει επεξεργασία των δεδομένων προκειμένου να εξαχθούν οι παροχές του Νέδοντα στις αντίστοιχες θέσεις. Ωστόσο τα σταθμηγραφήματα μας επιτρέπουν να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Κατά τους θερινούς μήνες η στάθμη (άρα και η παροχή) στο κατάντη τμήμα του Νέδοντα μηδενίζεται.
- Αντίθετα, στους ανάντη σταθμούς υπάρχει διαρκής ροή.

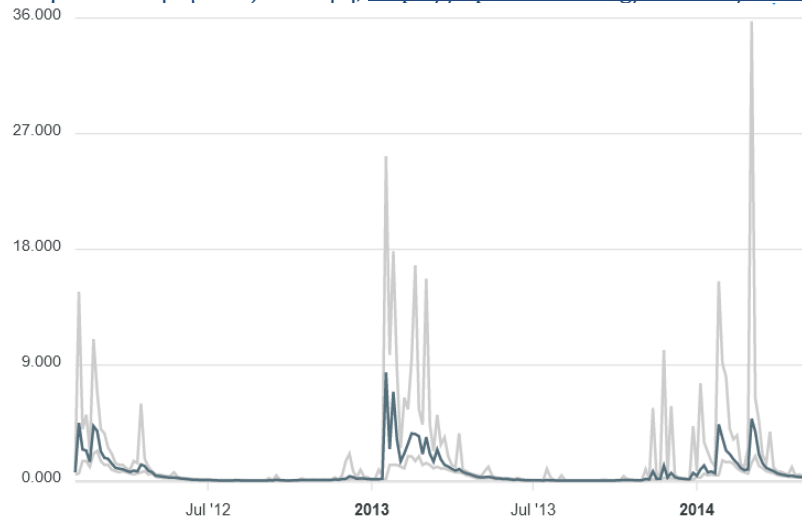
Η πιθανότερη εξήγηση για τη φαινομενικά παράδοξη συμπεριφορά αυτή θα πρέπει να αποδοθεί στους καρστικούς γεωλογικούς σχηματισμούς του ενδιάμεσου τμήματος της λεκάνης. Όταν η ροή διέρχεται απ' αυτούς κατεισδύει μέσω καταβοθρών και συνεχίζει ως υπόγεια ροή, τροφοδοτώντας υδροφορείς που εκφορτίζονται σε πηγές, επίγειες ή υποθαλάσσιες, ή αντλούνται από γεωτρήσεις. Για την περίοδο που λειτουργούσε το Ερευνητικό Έργο Δευκαλίων (2012-14), τα υδρομετρικά δεδομένα υπέστησαν επεξεργασία και από τις μετρήσεις στάθμης έχουν εξαχθεί οι τιμές της παροχής, οι οποίες παρουσιάζονται διαγραμματικά στο Σχ. 22. Στο διάστημα αυτό σημειώθηκαν 13 πλημμυρικά επεισόδια τα οποία έχουν αναλυθεί λεπτομερώς.²⁵

²⁵ <http://deucalionproject.itia.ntua.gr/events/gr/nedontas/index.htm>

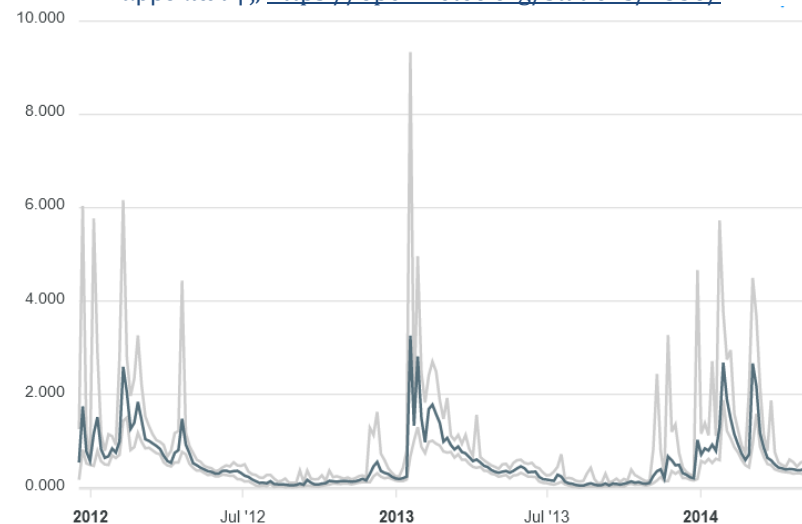
Καλαμάτα - Λατομείο Μπάκα, <https://openmeteo.org/stations/1354/>



Αλαγονία - Νερόμυλος Ρεντίφη, <https://openmeteo.org/stations/1486/>

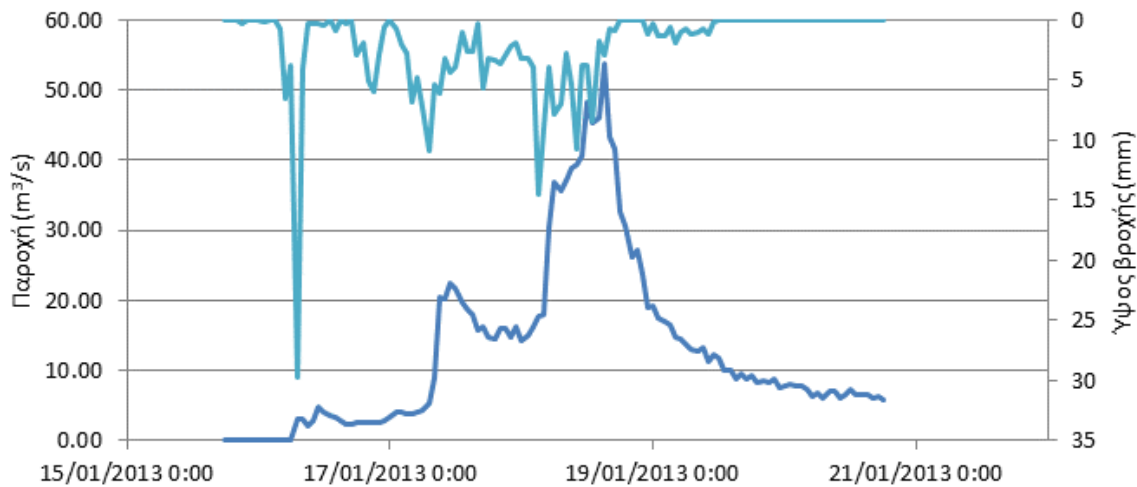


Καρβελιώτης, <https://openmeteo.org/stations/1356/>



Σχ. 22. Μεταβολή της παροχής του Νέδοντα (σε m^3/s) στις θέσεις τριών υδρομετρικών σταθμών του Δευκαλίων από το 2012 μέχρι το 2014. Με έντονη γραμμή απεικονίζονται οι μέσες παροχές τετραήμερου και με λεπτές γραμμές οι μέγιστες και ελάχιστες παροχές 15λέπτου. Τα δεδομένα είναι ελεύθερα διαθέσιμα στις διευθύνσεις που αναφέρονται.

Το ισχυρότερο από τα 13 επεισόδια (N1_2013a) που ξεκίνησε στις 15-01-2013 και τελείωσε στις 20-01-2013 απεικονίζεται στο Σχ. 23, ενώ τα κύρια χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίν. 3.



Σχ. 23. Εξέλιξη του ωριαίου ύψους βροχής και της μέσης ωριαίας παροχής στη θέση Λατομείο Μπάκα του πλημμυρικού επεισοδίου N1_2013a που σημειώθηκε την περίοδο από 15-01-2013 μέχρι 20-01-2013.²⁶

Πίν. 3. Χαρακτηριστικά του πλημμυρικού επεισοδίου N1_2013a στη θέση Λατομείο Μπάκα που σημειώθηκε την περίοδο από 15-01-2013 και μέχρι 20-01-2013.²⁶

Συνολικό ύψος βροχής (mm)	262.9
Συνολική διάρκεια βροχής (h)	84
Μέση ένταση βροχής (mm/h)	3.13
Μέγιστη ένταση βροχής (mm/h)	29.7
Παροχή αιχμής (m ³ /s)	53.63
Ύψος άμεσης απορροής (mm)	36.35
Συντελεστής απορροής	0.14
Όγκος απορροής (hm ³)	4.39

Η επιφανειακή βροχή συνολικού ύψους 262.9 mm ξεκινά στις 16/1 01:00 και λήγει στις 19/1 11:00 με τις μεγαλύτερες εντάσεις να καταγράφονται στις 16/1 07:00 (μέγιστη ένταση 29.7 mm/h), στις 17/1 07:00 (10.9 mm/h) και στις 18/1 03:00 (14.5 mm/h). Με βασική ροή ίση με 0, η απορροή αρχίζει να αυξάνεται ακολουθώντας το προφίλ της βροχής φθάνοντας στην 1η μεγάλη αιχμή της στις 17/1 11:00 (22.40 m³/s), τη 2η αιχμή της στις 18/1 12:00 (48.37 m³/s) και στη συνέχεια στη μεγαλύτερη τιμή της στις 18/1 15:00 (53.63 m³/s). Έπειτα, μειώνεται μέχρι τη σταθεροποίησή της στα 6.00 m³/s περίπου, δύο μέρες μετά την εμφάνιση της αιχμής.

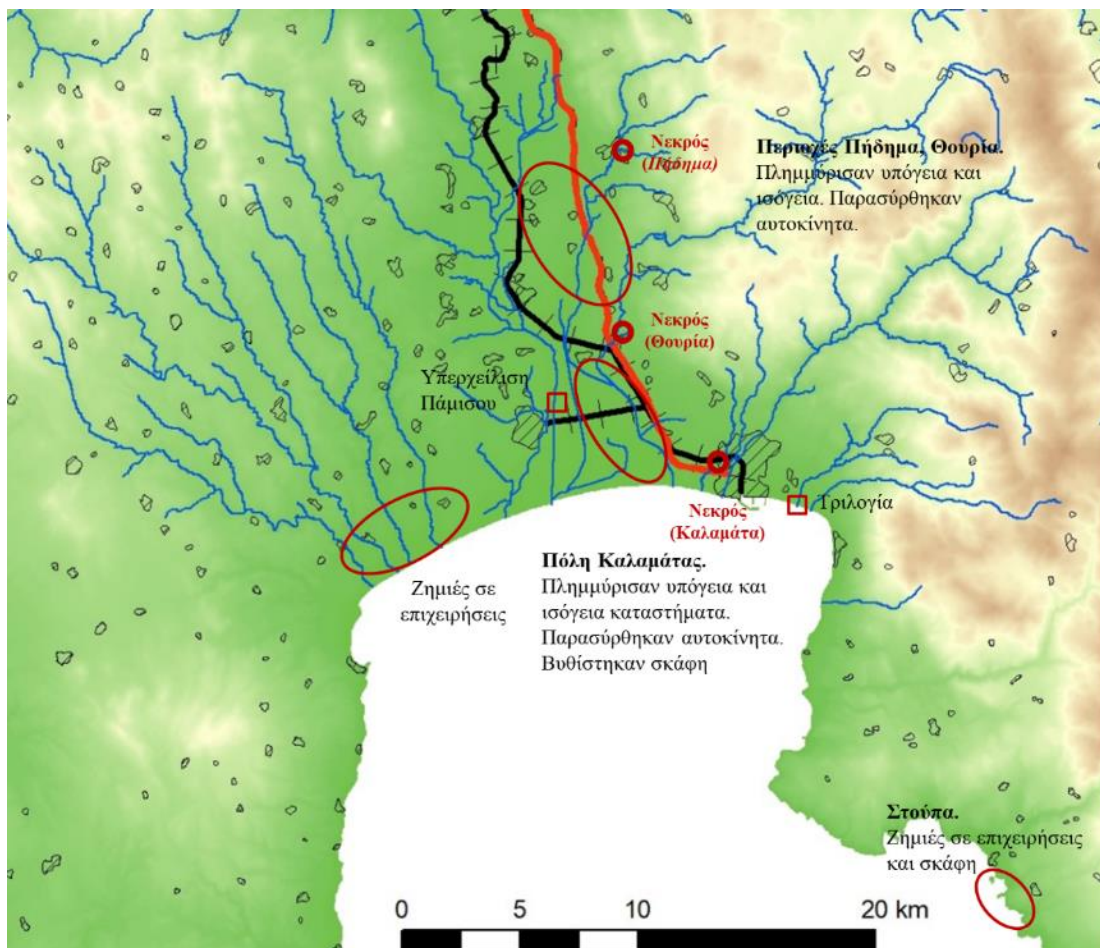
²⁶ http://deucalionproject.itia.ntua.gr/events/gr/nedontas/event_N1_2013a.htm

4.3 Η πλημμύρα του 2016

4.3.1 Γενική περιγραφή

Στις 6 και 7 Σεπτεμβρίου 2016 σημειώθηκε ένα ακραίο, εξαιρετικά σπάνιο, επεισόδιο καταιγίδας και πλημμύρας στην ευρύτερη περιοχή της Καλαμάτας, η ανάλυση του οποίου είναι πολύ χρήσιμη για τους σκοπούς της παρούσας έκθεσης. Έχουν προηγηθεί αναλύσεις από τον Μαμάση (2019—δικαστική πραγματογνωμοσύνη), τους Λαζαρίδη & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστα (2021), και τον Γιαννακέα (2022).

Σύμφωνα με τον Μαμάση (2019), οι ζημιές που προκλήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή ήταν ιδιαίτερα σημαντικές (Σχ. 24). Τρεις άνθρωποι πνίγηκαν στο Πήδημα, τη Θουρία, και την Καλαμάτα. Τα θύματα ήταν ηλικιωμένοι με κινητικά προβλήματα που βρίσκονταν σε κατοικίες ευάλωτες στη συσσώρευση νερού (υπόγεια ή ημιυπόγεια). Ακόμη, σημειώθηκαν σημαντικές καταστροφές σε υποδομές ενώ αυτοκίνητα παρασύρθηκαν, σπίτια και επιχειρήσεις πλημμύρισαν και το αεροδρόμιο της Καλαμάτας διέκοψε τη λειτουργία του.



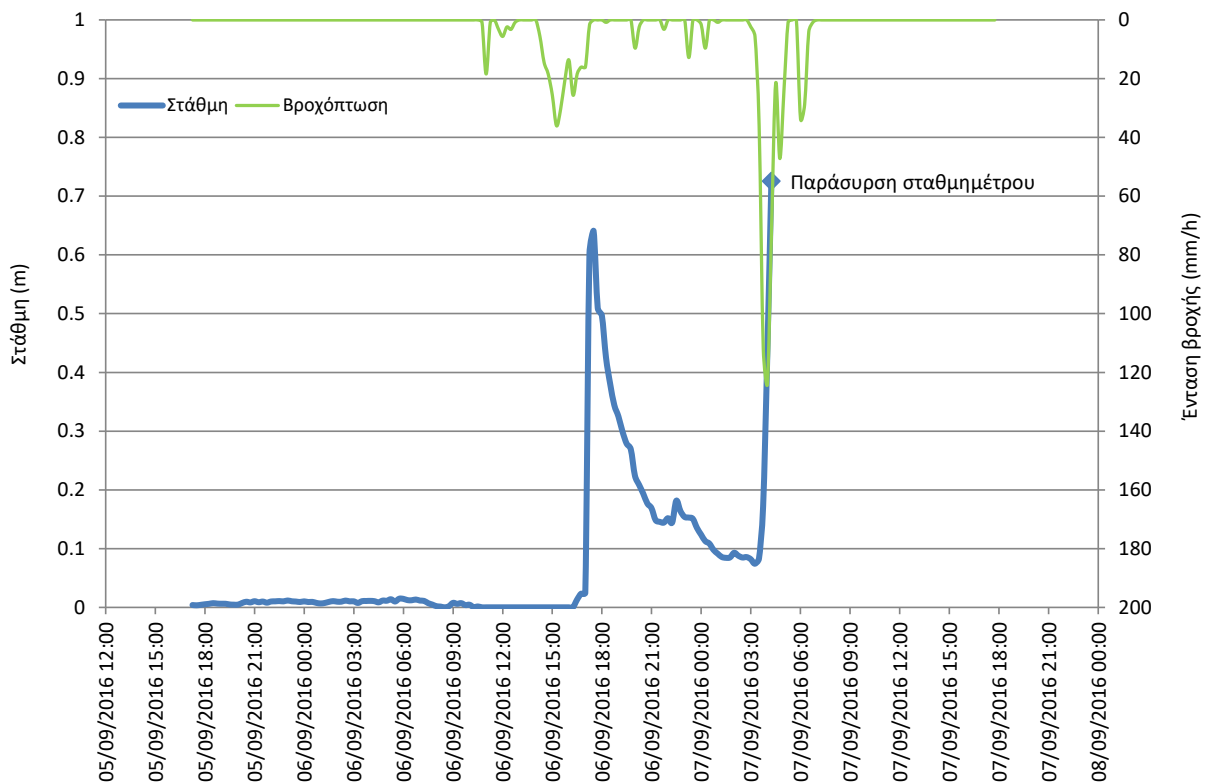
Σχ. 24. Περιοχές στις οποίες καταγράφηκαν ανθρώπινες απώλειες και σημαντικές ζημιές. Αναπαραγωγή από την πραγματογνωμοσύνη Μαμάση (2019).

Στο Πήδημα τα νερά πέρασαν μέσα από τις κατοικίες λόγω της ανεπάρκειας των μικρών χειμάρρων της περιοχής να παραλάβουν τόσο μεγάλες ποσότητες νερού. Στη

Θουρία ο κύριος χείμαρρος Ξερίλας μπόρεσε σε κάποιο βαθμό να παροχετεύσει την πλημμύρα αλλά το μικρό ρέμα των Αγίων Θεοδώρων υπερχειλίσε. Στην περιοχή της πόλης της Καλαμάτας ο Νέδοντας δεν υπερχειλίσε, αλλά στην περιοχή που βρίσκεται δυτικά του, τα έργα αποχέτευσης δεν μπόρεσαν να παραλάβουν τα όμβρια.

4.3.2 Εκτίμηση της παροχής

Η βροχοπτώση έχει καταγραφεί επαρκώς ως προς τη χρονική και χωρική κατανομή της, όπως θα φανεί παρακάτω. Δυστυχώς το σταθμήμετρο στη θέση Λατομείο Μπάκα που είναι σχετικά κοντά στην Καλαμάτα παρασύρθηκε από την πλημμύρα και έτσι δεν έχουμε υδρομετρικά δεδομένα για την αιχμή της πλημμύρας. Στο Σχ. 25 απεικονίζεται η εξέλιξη της έντασης βροχής και της παροχής σε κλίμακα 15λέπτου στη θέση Λατομείο Μπάκα, για όσο διάστημα υπάρχουν δεδομένα. Είναι αξιοσημείωτη—και φαίνεται κατ' αρχήν παράδοξη—η άμεση απόκριση της λεκάνης, που εκφράζεται ως αύξηση της στάθμης (άρα και της παροχής) μετά την αιχμή της έντασης βροχής που σημειώθηκε στις 07/09/2016 04:00. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι είχε προηγηθεί χρονικά η αύξηση της έντασης βροχής στα ανάντη της λεκάνης.



Σχ. 25. Εξέλιξη της έντασης βροχής και της παροχής σε κλίμακα 15λέπτου στη θέση Λατομείο Μπάκα του πλημμυρικού επεισοδίου Σεπτεμβρίου 2016. Η μέγιστη ένταση βροχής ανήλθε σε 124 mm/h και καταγράφηκε στις 07/09/2016 04:00. Στις 07/09/2016 04:15 καταγράφηκε στάθμη 0.725 m και αμέσως μετά το σταθμήμετρο παρασύρθηκε από την πλημμύρα και δεν υπάρχουν μετρήσεις.

Προσπαθώντας να εκτιμήσουμε με άλλον τρόπο, αναγκαστικά προσεγγιστικό, την παροχή αιχμής που πέρασε από τον Νέδοντα στη διάρκεια του εν λόγω πλημμυρικού

επεισοδίου, λαμβάνουμε υπόψη τοπική πληροφορία ότι στη Γέφυρα Μεγάλου Χορού η μέγιστη στάθμη άφησε περιθώριο περί το 0.5 m από την πλάκα. Με βάση τα δεδομένα του Πίν. 1, το βάθος ροής θα ήταν $y = 2.1$ m, το πλάτος $B = 2 \times 7.2 = 14.4$ m (δύο τμήματα λόγω του μεσοβάθρου) και η κλίση $J = 1\%$. Από τον τύπο του Manning,

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} \quad (1)$$

όπου $R = A/P = By/(B + 2y)$ η υδραυλική ακτίνα (με A την υγρή επιφάνεια και P τη βρεχόμενη περίμετρο), και για συντελεστή Manning $n = 0.018$, η ταχύτητα προκύπτει $V = 6.71$ m/s και η παροχή

$$Q = AV \quad (2)$$

προκύπτει $Q = 2 \times 101 = 202$ m³/s. Η παροχή αυτή πέρασε από όλα τμήματα της διευθετημένης κοίτης, ακόμη και το προβληματικό τμήμα Δ, χωρίς αστοχία (υπερχειλίση προς την πόλη). Παρακάτω θα προσπαθήσουμε να διασταυρώσουμε αυτή την εκτίμηση και με άλλο τρόπο.

Κατά συνέπεια, η σημερινή παροχετευτικότητα της διευθετημένης κοίτης μπορεί να θεωρηθεί 200 m³/s, δηλαδή υπερδιπλάσια των εκτιμήσεων 75 – 100 m³/s που προαναφέρθηκαν. Περαιτέρω θα πρέπει να επισημανθούν τα ακόλουθα:

- Αν δεν υπήρχαν τα υποστρώματα, η παροχετευτικότητα του κρίσιμου τμήματος, θεωρώντας ένα ασφαλές ελεύθερο περιθώριο από την πλάκα ώστε το μέσο βάθος ροής να είναι $y = 2.25$ m, το πλάτος $B = 15.6$ m και η κλίση $J = 1\%$, η παροχετευτικότητα θα ήταν ~ 280 m³/s.
- Αν και πάλι δεν υπήρχαν τα υποστρώματα, η παροχετευτικότητα του κρίσιμου τμήματος για ολική πλήρωση, ήτοι μέσο βάθος ροής $y = 2.45$ m, πλάτος $B = 15.6$ m και κλίση $J = 1\%$, η παροχετευτικότητα θα ήταν 193 m³/s (μείωση λόγω της τριβής στην πλάκα του σκυροδέματος).
- Αν υπήρχαν τοιχία αντί υποστρώματα, οπότε η πλήρης διατομή θα χωριζόταν σε ένα κεντρικό τμήμα πλάτους $B = 5.8$ m και μέσου βάθους ροής $y = 2.7$ m και δύο ακραία τμήματα πλάτους $B = 4.3$ m και μέσου βάθους ροής $y = 2.3$ m (μικρότερο λόγω των ρύσεων), τότε η παροχετευτικότητα για ολική πλήρωση θα ήταν 82 m³/s για το μεσαίο τμήμα και 45 m³/s για καθένα από τα δύο ακραία τμήματα, ήτοι σύνολο 172 m³/s.

Συνδυάζοντας τα παραπάνω προκύπτει ότι η σημερινή παροχετευτικότητα στο κρίσιμο τμήμα της διευθέτησης είναι μεγαλύτερη αυτής που θα είχε μια διατομή με τοιχία και επομένως δεν ευσταθεί η πρόταση κατασκευής τοιχιών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι

υπολογισμοί της επίδρασης των υποστυλωμάτων στη ροή είναι εξαιρετικά αβέβαιοι.²⁷ Για ασφαλή αποτελέσματα θα πρέπει το σύστημα να μελετηθεί σε φυσικό μοντέλο υπό κλίμακα σε εργαστήριο. Ωστόσο, εδώ δεν βασιστήκαμε σε εργαστηριακά αποτελέσματα αλλά στο εμπειρικό δεδομένο ότι στο επεισόδιο του Σεπτεμβρίου 2016 πέρασε από το σύστημα παροχή περίπου 200 m³/s.

4.3.3 Εκτίμηση της περιόδου επαναφοράς

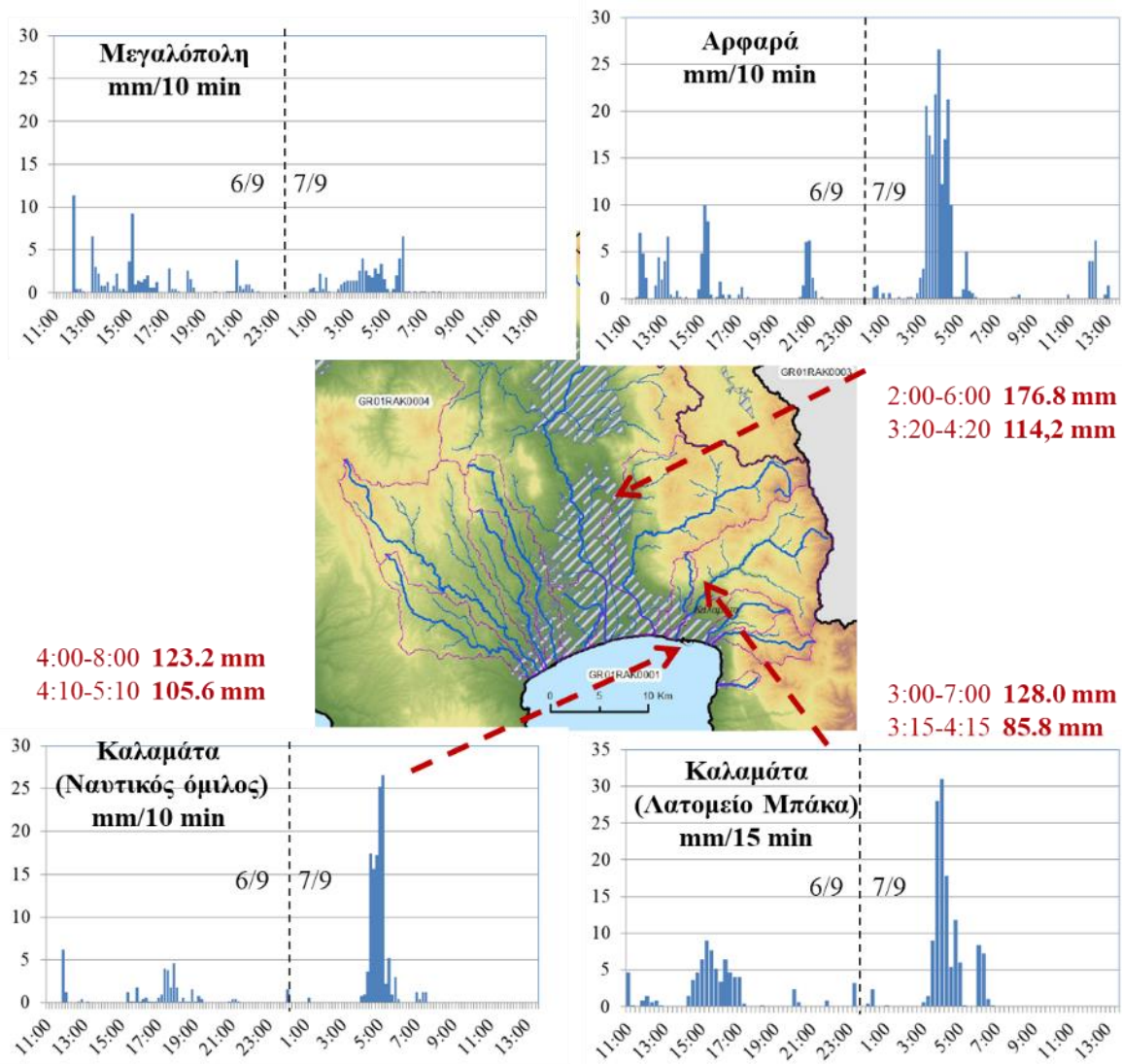
Με δεδομένα ότι (α) το κρίσιμο τμήμα της καλυμμένης κοίτης είναι και το παλαιότερο, με ηλικία άνω των 40 ετών, και (β) το επεισόδιο του Σεπτεμβρίου 2016 ήταν το πιο έντονο στην περίοδο αυτή, μια πρώτη εκτίμηση της περιόδου επαναφοράς είναι, ως τάξη μεγέθους, η πεντηκονταετία. Ωστόσο, αυτή είναι μια χονδροειδής εκτίμηση και θα χρειαζόταν η πλήρης σειρά παροχών, ή έστω η σειρά των ετήσιων μέγιστων παροχών, προκειμένου να γίνει ασφαλής εκτίμηση, αφού προηγουμένως προσαρμοστεί κατάλληλο στατιστικό μοντέλο στις εν λόγω σειρές.

Επειδή γενικώς σπανίζουν μακροχρόνιες σειρές δεδομένων παροχής, η συνήθης πρακτική είναι να γίνεται εκτίμηση της περιόδου επαναφοράς με βάση δεδομένα βροχόπτωσης με την υπόθεση ότι υπάρχει αντιστοιχία των δύο (κατά μέσο όρο ταύτιση). Μετά την κατάρτιση, με αρκετά αξιόπιστο τρόπο, όμβριων καμπυλών στο σύνολο της χώρας (στο πλαίσιο των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών), η εκτίμηση της περιόδου επαναφοράς ενός επεισοδίου βροχής είναι ευχερής, εφόσον καθοριστεί μια κρίσιμη διάρκεια βροχής.

Εν προκειμένω, υπάρχουν παρατηρημένα υετογραφήματα για το επεισόδιο του Σεπτεμβρίου 2016 σε διάφορες θέσεις της λεκάνης ή γειτονικές. Στο Σχ. 26 παρουσιάζονται τα υετογραφήματα και τα χαρακτηριστικά μεγέθη της καταιγίδας του Σεπτεμβρίου 2016, όπως έχουν μετρηθεί σε τέσσερις θέσεις και έχουν μελετηθεί στην πραγματογνωμοσύνη Μαμάση (2019). Στην εν λόγω μελέτη σημειώνεται:

το επεισόδιο βροχής που προκάλεσε την πλημμύρα είχε ιδιαίτερα μεγάλες εντάσεις από τις 2:00 έως τις 7:00 [στις 7-9-2016] και περιορίζεται στην ευρύτερη περιοχή της Καλαμάτας αφού στην Μεγαλόπολη ήταν ηπιότερο. Ειδικότερα καταγράφηκαν δεκάλεπτα ύψη βροχής πάνω από 25 mm, ωριαία από 85 έως 115 mm και τετράωρα από 125 έως 175 mm, Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η μέση μηνιαία βροχόπτωση Σεπτεμβρίου και Οκτωβρίου στην Καλαμάτα είναι 30 και 85 mm αντίστοιχα και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι της τάξης των 780 mm. Ακόμη, η ημερήσια βροχόπτωση στην περιοχή κατά τις πλημμύρες του 2006 ήταν της τάξης των 85 mm.

²⁷ Σημειώνεται ότι στην ανάλογη περίπτωση των βάθρων γεφυρών με μονοδιάστατη θεώρηση της ροής, η συνήθης πρακτική είναι να αφαιρείται η επιφάνεια των βάθρων και να υπολογίζονται στη βρεχόμενη περίμετρο (<https://knowledge.civilgeo.com/knowledge-base/hec-ras-bridge-high-flow-computations/>). Αυτό εφαρμόστηκε και στον πιο πάνω υπολογισμό στη γέφυρα Μεγάλου Χορού. Στην περίπτωση σειρών υποστυλωμάτων θα απαιτούνταν διδιάστατη ή τριδιάστατη θεώρηση, που ακόμη δεν έχει την απαιτούμενη ακρίβεια και εμπειρική τεκμηρίωση.



Σχ. 26. Υετογράμματα και χαρακτηριστικά μεγέθη της καταιγίδας του Σεπτεμβρίου 2016. Αναπαραγωγή του Σχήματος 3 από την πραγματογνωμοσύνη Μαμάση (2019).

Στο σταθμό της Μεγαλόπολης (βρίσκεται περίπου 30 km βόρεια από το σταθμό Αρφαρά) η βροχόπτωση δεν παρουσίασε μεγάλες εντάσεις, όμως το 24ωρο ύψος βροχής (122 mm) είναι αρκετά υψηλό.

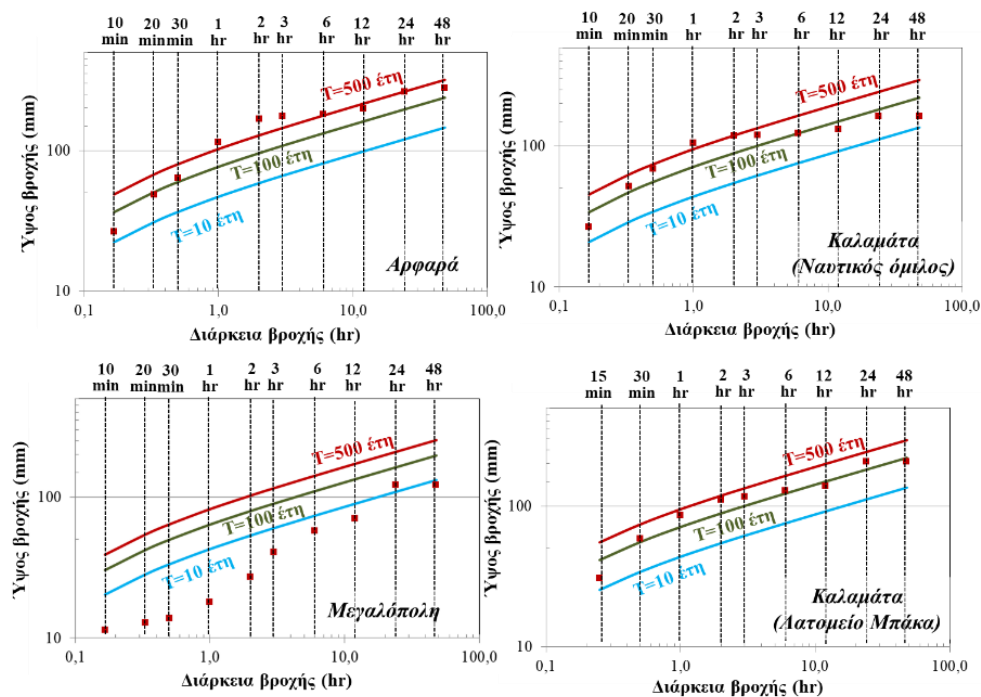
[...]

Η σπανιότητα του ύψους βροχής ενός συγκεκριμένου επεισοδίου για διάφορα χρονικά διαστήματα, εκτιμάται με τη στατιστική ανάλυση ιστορικών δεδομένων βροχόπτωσης και ποσοτικοποιείται με την περίοδο επαναφοράς. Για την εκτίμηση της σπανιότητας του ύψους βροχής κάποιας συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας χρησιμοποιούνται οι όμβριες καμπύλες οι οποίες συνδέουν:

1. το ύψος βροχής που σημειώθηκε σε μία θέση,
2. τη διάρκεια της βροχόπτωσης και
3. την πιθανότητα πραγματοποίησης του φαινομένου που αποδίδεται με την περίοδο επαναφοράς.

Οι όμβριες καμπύλες χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των έργων εκτιμώντας τις εντάσεις τις βροχόπτωσης για καθορισμένες από τους κανονισμούς περιόδους επαναφοράς.

Στο [Σχ. 27] παρουσιάζονται τα μέγιστα ύψη βροχής που σημειώθηκαν στους σταθμούς της περιοχής κατά τη διάρκεια του επεισοδίου στις 6 και 7/9/2016 για διάρκειες 10, 15, 20, 30 min και 1, 2, 3, 6, 12, 24 και 48 ωρών. Στο ίδιο Σχήμα σχεδιάζονται οι όμβριες καμπύλες οι οποίες έχουν καταρτιστεί από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ), στο πλαίσιο εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ για περιόδους επαναφοράς 10, 100 και 500 έτη. Για τις όμβριες καμπύλες χρησιμοποιήθηκαν οι σταθμοί Πήδημα (βρίσκεται κοντά στο σταθμό Αρφαρά), Καλαμάτα και Ζώνη (βρίσκεται κοντά στο σταθμό Μεγαλόπολη).



Σχ. 27. Ύψη βροχής της καταιγίδας του Σεπτεμβρίου 2016 για διάφορες χρονικές κλίμακες και σύγκρισή τους με τις όμβριες καμπύλες. Αναπαραγωγή του Σχήματος 4 από την πραγματογνωμοσύνη Μαμάση (2019).

Από το σχήμα μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Το επεισόδιο βροχής που καταγράφηκε στους 3 σταθμούς της περιοχής Καλαμάτας ήταν σπάνιο σχεδόν σε όλες τις χρονικές κλίμακες, αφού αντιστοιχεί σε περιόδους επαναφοράς 100 έτη.
- Στο σταθμό Αρφαρά το επεισόδιο ήταν ιδιαίτερα ακραίο στις διάρκειες 1, 2, 3, και 6 hr, δεδομένου ότι τα ύψη βροχής αντιστοιχούν σε περιόδους επαναφοράς **πολύ μεγαλύτερες από 500 έτη**.
- Στους 2 σταθμούς της Καλαμάτας το επεισόδιο ήταν επίσης ιδιαίτερα ακραίο στις διάρκειες 1, 2, 3 hr, δεδομένου ότι τα ύψη βροχής αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς **περίπου 500 έτη**.

- Στο σταθμό της Μεγαλόπολης το επεισόδιο ήταν συνηθισμένο στις μικρές εντάσεις όμως η 24ωρή βροχόπτωση ήταν αρκετά μεγάλη και αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς περίπου 10 έτη.

Παρόμοιες εκτιμήσεις έχουν γίνει και στη μελέτη των Λαζαρίδη & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστα (2021), όπως φαίνονται στον Πίν. 4 για τρεις σταθμούς της ευρύτερης περιοχής. Σημειώνεται ότι ο σταθμός Κοπανάκι είναι απομακρυσμένος, σε περίπου ίδια απόσταση με τη Μεγαλόπολη που χρησιμοποιήθηκε στην πραγματογνωμοσύνη Μαμάση (2019). Στον Πίν. 4 που προέρχεται από την Λαζαρίδη & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστα (2021) παρατηρούμε ότι για χρονικές κλίμακες 2-6 h που προσιδιάζουν στη λεκάνη του Νέδοντα, η καταιγίδα στην περιοχή της Καλαμάτας είχε περίοδο επαναφοράς 100-500 έτη, δηλαδή ήταν ένα εξαιρετικά σπάνιο συμβάν.

Εξ άλλου, στον Πίν. 5 συγκρίνονται οι καταιγίδες του Σεπτεμβρίου 2016 και του Ιανουαρίου 2013 (N1_2013A). Παρατηρούμε ότι, για τις παραπάνω χρονικές κλίμακες οι πρώτες είναι περίπου τριπλάσιες από τις δεύτερες. Δεδομένου ότι η παροχή αιχμής του Ιανουαρίου 2013 ανήλθε σε 54 m³/s στο Λατομείο Μπάκα (Πίν. 3), μπορούμε να θεωρήσουμε το τριπλάσιο αυτής της τιμής, ~160 m³/s ως ένα κάτω όριο της παροχής στο Λατομείο Μπάκα για την πλημμύρα του Σεπτεμβρίου 2016. Λαμβάνοντας υπόψη και τον παράγοντα μεγέθυνσης (μεγαλύτερες βροχές οδηγούν σε μεγαλύτερους συντελεστές απορροής κτλ.) καθώς και τις συμβολές κατάντη της εν λόγω θέσης, μπορούμε να συμπεράνουμε πως η παροχή του Νέδοντα στην πόλη της Καλαμάτας ήταν περί τα 200 m³/s, επικυρώνοντας έτσι την εκτίμηση που έγινε παραπάνω στη βάση της υδραυλικής.

Πίν. 4. Εκτίμηση της περιόδου επαναφοράς των υψών βροχής της καταιγίδας του Σεπτεμβρίου 2016 για διάφορες χρονικές κλίμακες με βάση την όμβρια Καλαμάτας. Αναπαραγωγή του Πιν. 3-6 της μελέτης των Λαζαρίδη & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστα (2021).

Χρονική κλίμακα (h)	0.167	0.50	1	2	3	6	12	24
Καλαμάτα, ΕΑΑ (έτη)	30	326	928	500	257	101	50	55
Αρφαρά, ΕΑΑ (έτη)	30	210	1500	4300	2583	885	480	793
Κοπανάκι, ΕΑΑ (έτη)	2	8	9	10	11	9	11	14

Πίν. 5. Σύγκριση, για διάφορες χρονικές κλίμακες, των εντάσεων βροχής (mm/h) στην Καλαμάτα των επεισοδίων (α) του Σεπτεμβρίου 2016 σύμφωνα με τον Πιν. 3-5 της μελέτης των Λαζαρίδη & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστα (2021) και (β) του Ιανουαρίου 2013 (N1_2013A) σύμφωνα με το Ερευνητικό Έργο Δευκαλίων (Πίν. 3).

Χρονική κλίμακα (h)	0.17	0.5	1	2	3	6	12	24
Σεπ. 2016	159.6	138.0	105.6	59.4	39.9	20.5	10.9	6.7
Ιαν. 2013			29.74	16.94	13.35	7.69	6.76	4.83
Λόγος των δύο			3.55	3.51	2.99	2.67	1.61	1.39

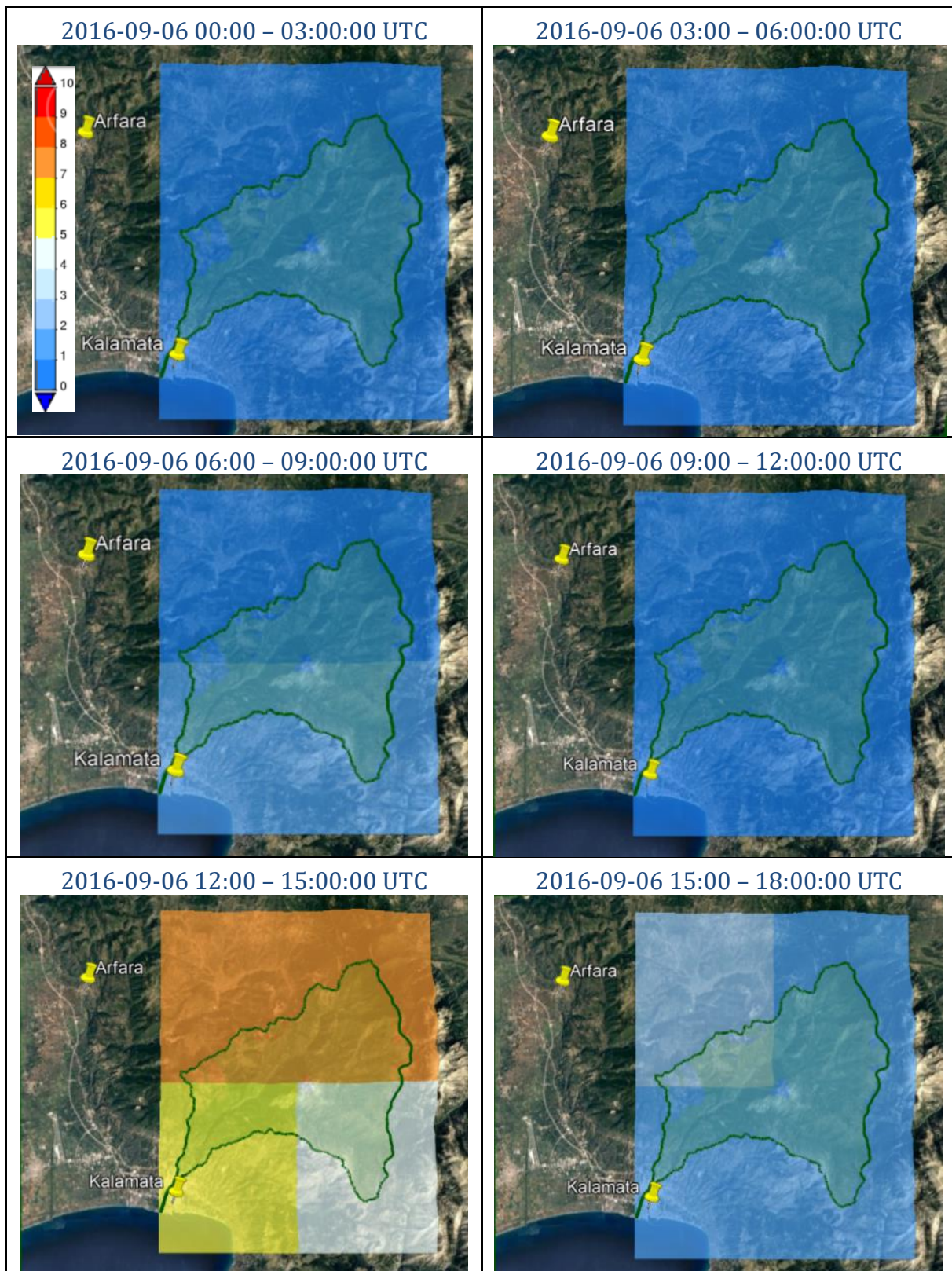
Οι παραπάνω εκτιμήσεις εγείρουν διάφορα ερωτήματα. Ένα πρώτο ερώτημα είναι εάν η βροχόπτωση που μετρήθηκε στην Καλαμάτα είναι αντιπροσωπευτική του συνόλου

της λεκάνης ή είναι σημειακή. Εν προκειμένω, οι μετρήσεις στα Αρφαρά, που δίνουν ακόμη μεγαλύτερες τιμές υψών βροχής σε σχέση με την Καλαμάτα, υποδεικνύουν ότι είναι απίθανο να πρόκειται για σημειακό (περιορισμένο τοπικά) επεισόδιο βροχής. Όμως υπάρχει και άλλη πηγή δεδομένων που οδηγεί στην αποδοχή της υπόθεσης ότι πρόκειται για γενικευμένο επεισόδιο βροχής στο σύνολο της λεκάνης.

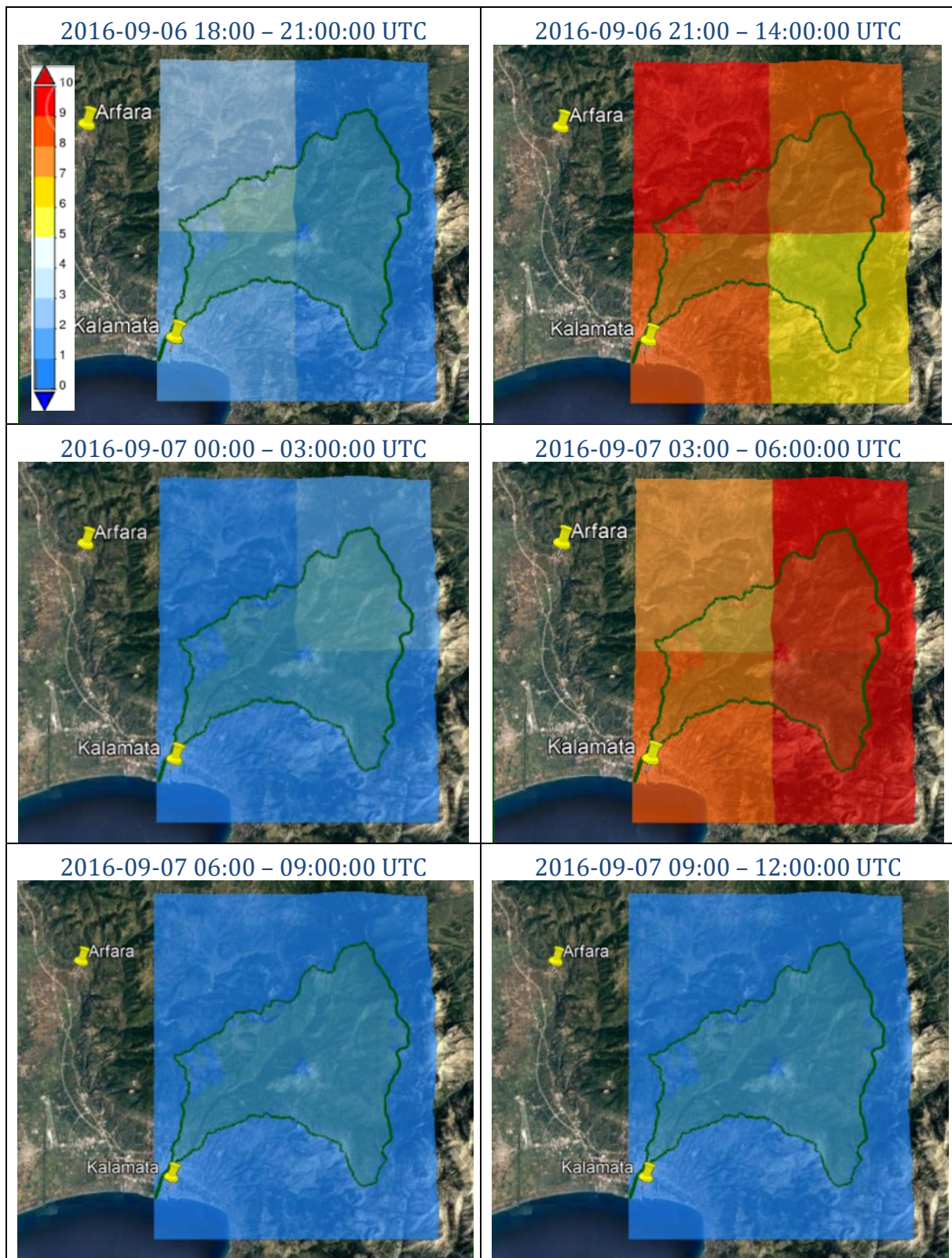
Συγκεκριμένα, τα δορυφορικά δεδομένα IMERG (Multi-satellite precipitation estimate with gauge calibration - Final Run, recommended for general use, half-hourly 0.1 deg; GPM GPM_3IMERGHH v06) επιτρέπουν να δούμε τη χωρική κατανομή του επεισοδίου σε χρονική διακριτότητα 0.5 h. Η χωρική διακριτότητα των δεδομένων είναι 0.1°, οπότε η λεκάνη του Νέδοντα που περιέχεται στην περιοχή 22.1E, 37N, 22.3E, 37.2N αντιπροσωπεύεται από 4 κύτταρα. Στο Σχ. 28 παρουσιάζεται η χωροχρονική εξέλιξη του επεισοδίου βροχής ανά τρίωρο. Είναι σαφές ότι όχι μόνο το επεισόδιο επεκτάθηκε στο σύνολο της λεκάνης, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις οι ανάντη περιοχές είχαν μεγαλύτερες εντάσεις.

Ένα δεύτερο ερώτημα είναι πως σχετίζεται η περίοδος επαναφοράς της πλημμυρικής αιχμής με αυτήν της βροχής. Η επιστημονικά συνεπής απάντηση είναι ότι υπάρχει συσχέτιση αλλά όχι ταύτιση. Άλλωστε, και στη βροχόπτωση δεν ορίζεται μια μοναδική περίοδος επαναφοράς αλλά η τιμή της διαφέρει ανάλογα με τη χρονική κλίμακα. Κατά συνέπεια, αν υποθέσουμε ότι για τις χρονικές κλίμακες που προσιδιάζουν, η περίοδος επαναφοράς της καταιγίδας κυμαίνεται στο εύρος 100 έως 500 χρόνια, τότε η περίοδος επαναφοράς της πλημμύρας μπορεί κατ' αρχήν να είναι ίδια, μικρότερη ή μεγαλύτερη. Για να την εκτιμήσουμε θα χρειαζόταν να υπάρχουν συνεχή δεδομένα υδρομετρήσεων για μεγάλο διάστημα. Μη διαθέτοντας τέτοιο δείγμα μετρήσεων, κατά σύμβαση θεωρούμε, ως μέση εκτίμηση, ότι οι δύο περίοδοι επαναφοράς είναι ίδιες.

Ένα τρίτο ερώτημα είναι εάν υπάρχει συμβατότητα μεταξύ αφενός των πιο πάνω εκτιμήσεων και αφετέρου της μελέτης αναδιευθέτησης του Νέδοντα, στην οποία η παροχή 50ετίας εκτιμήθηκε σε 463.7 m³/s. Εκ πρώτης όψεως φαίνεται να υπάρχει αναντιστοιχία, δεδομένου ότι η παροχή του σπάνιου συμβάντος (περιόδου επαναφοράς > 50 ετών) του Σεπτεμβρίου 2016 είναι υποδιπλάσια της παροχής σχεδιασμού των 50 ετών. Ωστόσο, θα πρέπει να καταστήσουμε σαφές ότι η παροχή σχεδιασμού δεν είναι άμεσα συγκρίσιμη με την παροχή ενός φυσικού γεγονότος. Για τον προσδιορισμό της παροχής σχεδιασμού ακολουθείται μια σειρά από θεσμικές ρυθμίσεις και προδιαγραφές, οι οποίες δεσμεύουν τις θεσμικές αποφάσεις, ενώ προφανώς τα φυσικά γεγονότα δεν δεσμεύονται από αυτές. Συχνά οι προδιαγραφές, λόγω της αβεβαιότητας των φυσικών φαινομένων, λειτουργούν υπέρ της ασφάλειας των κατασκευών και υπέρ της μείωσης της διακινδύνευσης.



Σχ. 28 Γεωγραφική κατανομή της μέσης έντασης βροχής ανά τρίωρο στο επεισόδιο της 2016-09-06 έως 2016-09-07, με βάση δορυφορικά δεδομένα IMERG σε mm/hr (Multi-satellite precipitation estimate with gauge calibration - Final Run, recommended for general use, half-hourly 0.1 deg; GPM GPM_3IMERGHH v06]). Περιοχή 22.1E, 37N, 22.3E, 37.2N. Χωρική διακριτικότητα 0.1°. Χρονική διακριτικότητα 0.5 h. Με πράσινη γραμμή απεικονίζεται η λεκάνη του Νέδοντα. Σημειώνεται ότι οι χρόνοι δίνονται σε UTC και όχι σε ώρα Ελλάδας.



Σχ. 28 (συνέχεια) Γεωγραφική κατανομή της μέσης έντασης βροχής ανά τρίωρο στο επεισόδιο της 2016-09-06 έως 2016-09-07, με βάση δορυφορικά δεδομένα IMERG σε mm/hr (Multi-satellite precipitation estimate with gauge calibration - Final Run, recommended for general use, half-hourly 0.1 deg; GPM GPM_3IMERGHH v06J). Περιοχή 22.1E, 37N, 22.3E, 37.2N. Χωρική διακριτικότητα 0.1°. Χρονική διακριτικότητα 0.5 h. Με πράσινη γραμμή απεικονίζεται η λεκάνη του Νέδοντα. Σημειώνεται ότι οι χρόνοι δίνονται σε UTC και όχι σε ώρα Ελλάδας.

Για παράδειγμα, ένα στοιχείο κρίσιμο για την εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού είναι ο συντελεστής CN (curve number—αριθμός καμπύλης), βάσει του οποίου εκτιμώνται οι απώλειες βροχής. Αυτές με τη σειρά τους επηρεάζουν τόσο την αιχμή του υδρογραφήματος σχεδιασμού όσο και τον όγκο απορροής. Ο συντελεστής και η αντίστοιχη μέθοδος εκτίμησης των απωλειών προτάθηκαν από την αμερικανική υπηρεσία SCS (Soil Conservation Service, USDA που αργότερα μετονομάστηκε σε NRCS – Natural Resources Conservation Service), αλλά έχει μεταφερθεί και στην ελληνική πρακτική και στις αντίστοιχες προδιαγραφές. Εν προκειμένω, η μελέτη αναδιευθέτησης προέβη σε λεπτομερή εκτίμηση των συντελεστών απορροής ανά υπολεκάνη του Νέδοντα, με διακύμανση των εκτιμημένων τιμών από 36.4 έως 85.3 (με μέγιστη τιμή το 100) και μέση τιμή 60 (όπου έχει γίνει στάθμιση με τις αντίστοιχες επιφάνειες).

Ωστόσο οι τιμές που έχουν υπολογιστεί στη δημοσίευση των Savvidou et al. (2018) για τη λεκάνη του Νέδοντα, εκτιμημένα από 11 παρατηρημένα επεισόδια, είναι μικρότερες, με μέση τιμή 53. Αυτό δεν σημαίνει ότι θα έπρεπε να ληφθούν μειωμένες τιμές στη μελέτη αναδιευθέτησης.

Άλλος παράγοντας που μπορεί να επέδρασε στη σχετικά μικρή παροχή του επεισοδίου του 2016 είναι το γεγονός ότι συνέβη Σεπτέμβριο, οπότε τα εδάφη της λεκάνης δεν ήταν κορεσμένα. Αν είχε συμβεί το ίδιο τον χειμώνα ή την άνοιξη η παροχή θα ήταν μεγαλύτερη. Μείωση της παροχής προκαλούν επίσης οι αναβαθμοί κατά μήκος του υδατορεύματος (βλ. εδάφιο 5.4.1). Γενικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την μετατροπή της βροχής σε απορροή είναι πολλοί και μεταβλητοί, με αποτέλεσμα η αβεβαιότητα να είναι πολύ μεγάλη όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις παροχής (Efstratiadis et al., 2014) και να επιβάλλεται η στοχαστική προσέγγιση ακόμη και όταν υπάρχουν μετρήσεις (Koutsoyiannis and Montanari, 2022).

Μετά την παραπάνω ανάλυση, δεν θεωρείται σκόπιμη ούτε δόκιμη η αναθεώρηση της παροχής σχεδιασμού που εκτιμήθηκε στη μελέτη αναδιευθέτησης (Λαζαρίδης & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστας, 2021). Το πλημμυρικό συμβάν του Σεπτεμβρίου 2016 δεν είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί για την αμφισβήτηση της παροχής σχεδιασμού που προτάθηκε. Ωστόσο τόσο το ίδιο το επεισόδιο, όσο και το όλο ιστορικό της διευθετημένης κοίτης, όπου σε μια μακρά περίοδο δεν υπήρξε αστοχία, μας δίνει τη βεβαιότητα ότι η μελέτη αναδιευθέτησης προσφέρει υπερεπαρκές επίπεδο ασφάλειας έναντι του πλημμυρικού κινδύνου για την πόλη της Καλαμάτας. Είναι παράλληλα χρήσιμο να τονίζουμε εκ νέου ότι κανένα αντιπλημμυρικό έργο δεν προσφέρει απόλυτη προστασία από τις πλημμύρες, αλλά μειώνει, χωρίς να μηδενίζει, τον κίνδυνο των καταστροφών.

5 Εναλλακτικές λύσεις για τον Νέδοντα

5.1 Γενικές παρατηρήσεις

Η μελέτη αναδιευθέτησης του Νέδοντα και η σχετική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων έχει τύχει έντονης κριτικής από τις τοπικές κοινωνίες, καθώς και από τους θεσμικούς εκπροσώπους τους στον Δήμο Καλαμάτας και την Περιφέρεια Πελοποννήσου. Τα σημεία κριτικής ή και αντίθεσης περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα ακόλουθα²⁸:

1. Την ανάγκη για διερεύνηση και υλοποίηση έργων στο Νέδοντα, ανάντη της πόλης της Καλαμάτας (όπως μικρών ή μεγάλων ταμιευτήρων και συντήρηση των παλιών λιθοφραγμάτων).
2. Την αντίθεση στην πρόβλεψη για την καθαίρεση και επανακατασκευή του καλυμμένου τμήματος Δ του Νέδοντα και την αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων.
3. Την ανάγκη για περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη διαπλάτυνση του Νέδοντα, όπως το κόψιμο δέντρων.
4. Την ανάγκη αστικής ανάπλασης στην περιοχή που θα γίνουν οι παρεμβάσεις.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι το παραπάνω σημείο 2 είναι το πλέον κρίσιμο και καθοριστικό και για τα επόμενα σημεία. Εάν δεν υιοθετηθεί η συγκεκριμένη πρόταση της μελέτης αναδιευθέτησης, δηλαδή δεν ανακατασκευαστεί πλήρως το τμήμα Δ του Νέδοντα σε τρόπο ώστε να διοχετεύει παροχή 463.7 m³/s, τότε δεν έχει νόημα να υλοποιηθούν οι προβλεπόμενες κατασκευές στα υπόλοιπα τμήματα για να διοχετεύουν την εν λόγω παροχή.

Στα παρακάτω εδάφια γίνεται προσπάθεια να καταγραφεί και να εξεταστεί μια σειρά εναλλακτικών λύσεων (Λύσεις 0, 1, 2 και 3, όπου η αρίθμηση δεν σχετίζεται με αυτή άλλων μελετών), ορισμένες από τις οποίες είναι συμβατές με τα παραπάνω σημεία. Καθοριστική σε κάθε λύση είναι η παροχετευτικότητα του τμήματος Δ.

5.2 Λύση 0: Μηδενική

Στη μηδενική λύση δεν κατασκευάζεται κανένα νέο έργο, παρά μόνο γίνεται συντήρηση και ενδεχομένως επισκευή των υφιστάμενων. Στην περίπτωση του Νέδοντα, απ' όλα τα προηγούμενα και κυρίως απ' το ιστορικό και απ' την ανάλυση του πλημμυρικού επεισοδίου του Σεπτεμβρίου 2016, προκύπτει ότι υπάρχει ήδη ένα αρκετά καλό επίπεδο προστασίας.

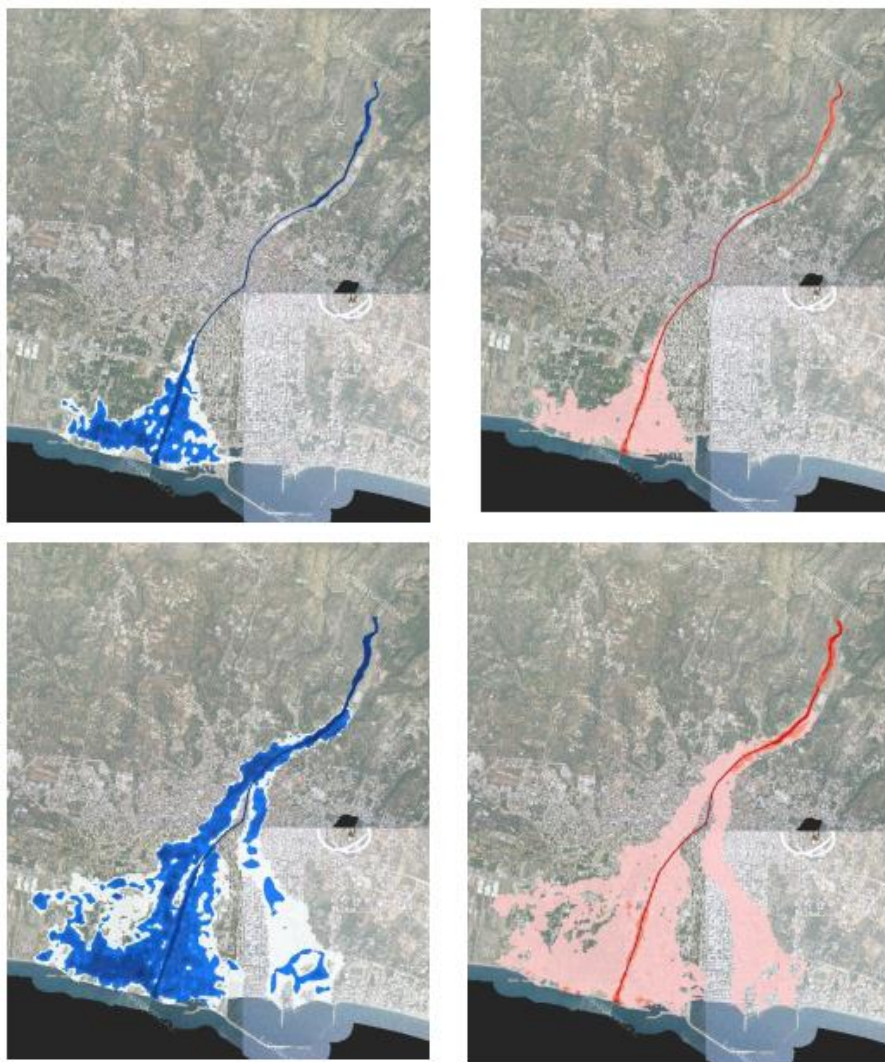
Πλεονέκτημα από την τυχόν υιοθέτηση αυτής της λύσης είναι ότι δεν θα υπάρχουν οχλήσεις και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το μειονέκτημα είναι ότι δεν θα βελτιωθεί η

²⁸ <https://kalamatajournal.gr/messinia/kalamata/item/29178-%E2%80%9Cmanoybra%E2%80%9D-me-anabolh-sthn-tripolh-gia-to-antiplhmyriko-toy-morea-sthn-kalamata>

αντιπλημμυρική προστασία της πόλης και παράλληλα δεν θα αναβαθμιστούν τα υπάρχοντα έργα, τα οποία έχουν υποστεί τη φθορά του χρόνου.

Σε περίπτωση που υιοθετηθεί η λύση αυτή, είναι απαραίτητο να συνδυαστεί με λεπτομερή μελέτη διακινδύνευσης σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου, με αυτοψίες σε όλες τις ευάλωτες περιοχές, καθώς και ανάπτυξη σχεδίων και λήψη μέτρων πολιτικής προστασίας, όπως σύστημα προειδοποίησης του πληθυσμού, η ανάπτυξη του οποίου διευκολύνεται από την παρουσία του δικτύου του Έργου OpenHi (βλ. εδ. 4.2).

Ο προσδιορισμός των ευάλωτων περιοχών μπορεί να γίνει με συνδυασμό αυτοψιών και λεπτομερών μοντέλων πλημμυρικής διάδοσης. Τα τελευταία παράγουν χάρτες όπως αυτοί του Σχ. 29 που προέρχονται από το Σχέδιο Διαχείρισης Πλημμυρών της Δυτικής Πελοποννήσου (Θεοδώρου κ.ά., 2018).



Σχ. 29. Σηματική απεικόνιση έκτασης, βάθους (αριστερά) και ταχυτήτων ροής (δεξιά) της πλημμύρας του π. Νέδοντα για περίοδο επαναφοράς 50 ετών (πάνω) και 1000 ετών (κάτω). Αναπαραγωγή των σχημάτων 3.36 και 6.3 από το Σχέδιο Διαχείρισης Πλημμυρών της Δυτικής Πελοποννήσου (Θεοδώρου κ.ά., 2018),²⁹ στα οποία δεν υπάρχει υπόμνημα για τη χρωματική κλίμακα.

²⁹ https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=1087&Itemid=735

Επισημαίνεται ωστόσο η ακόλουθη παρατήρηση των μελετητών:

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια και λεπτομέρεια των αποτελεσμάτων είναι άμεσα εξαρτημένη από την ποιότητα και λεπτομέρεια του τοπογραφικού υποβάθρου το οποίο σε αρκετά σημεία (και σε μεγαλύτερο βαθμό εντός των αστικών περιοχών) δεν διαθέτει την απαιτούμενη ανάλυση ώστε να προσομοιωθεί πλήρως η επιφάνεια του αναγλύφου τα κτίρια κλπ. Προκειμένου να είναι ακριβής η προσομοίωση, θα πρέπει να εισαχθεί στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους η γεωμετρία των κτιρίων (περίγραμμα και ύψος) ώστε αυτά να εξαιρεθούν από το πλημμυρικό πεδίο. Αυτού του είδους η πληροφορία απαιτεί λεπτομερή τοπογραφική αποτύπωση, σχέδια πόλεως κλπ, και δεν ήταν διαθέσιμη στην παρούσα μελέτη.

Συνεπώς στην περίπτωση της μηδενικής λύσης είναι επιτακτική η ανάγκη λεπτομερούς τοπογραφικής αποτύπωσης του αναγλύφου και των κτηρίων και στη συνέχεια λεπτομερούς υδραυλικής μοντελοποίησης.

5.3 Λύση 1: Υπάρχουσα μελέτη αναδιευθέτησης (ΜΟΡΕΑ)

Η Λύση 1 έχει ήδη συζητηθεί συνοπτικά στο εδάφιο 3.4 και περιγράφεται αναλυτικά στις σχετικές μελέτες (Λαζαρίδης & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστας, 2021, Λαγούδη κ.ά., 2021).

Τα πλεονεκτήματα αυτής της λύσης είναι:

- Το υψηλό επίπεδο προστασίας που προσφέρει στην πόλη, που, σύμφωνα με τις αναλύσεις που παρατέθηκαν προηγουμένως, πιθανότατα υπερκαλύπτει την πλημμύρα 100ετίας.
- Η ταχύτητα και η οικονομικότητα, συγκριτικά με άλλες λύσεις για ίδιο επίπεδο προστασίας.
- Η σχεδόν πλήρης ανανέωση των έργων πολιτικού μηχανικού.

Αντιστοίχως, τα μειονεκτήματα, τα οποία έχουν προκαλέσει κριτική ή και αντίθεση στην τοπική κοινωνία (βλ. εδ. 5.1) είναι:

- Η όχληση που θα προκληθεί στην πόλη την περίοδο της κατασκευής³⁰—ιδίως με την καθαίρεση και επανακατασκευή του καλυμμένου τμήματος Δ του Νέδοντα, που συνεπάγεται καθαίρεση υπαρχουσών υποδομών της πόλης (πάρκινγκ, αναψυκτήριο, παιδική χαρά κτλ.).
- Ο κίνδυνος νομικής εμπλοκής που μπορεί να ακυρώσει την εκ νέου κάλυψη του τμήματος της Δ (βλ. εδ. 2.2).

³⁰ Θα πρέπει να σημειωθεί ότι και άλλες λύσεις, πλην της μηδενικής, δεν θα είναι ελεύθερες όχλησης, αλλά στις λύσεις 1 και 3 η όχληση είναι εντονότερη.

- Περιβαλλοντικά προβλήματα στις περιοχές που προβλέπεται διαπλάτυνση της κοίτης (κοπή ή απομάκρυνση δένδρων).

5.4 Λύση 2: Απομείωση παροχής του Νέδοντα στην Καλαμάτα

Υπάρχουν διάφορες δυνατότητες απομείωσης της παροχής του Νέδοντα στην Καλαμάτα που μπορούν να εφαρμοσθούν είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό, με στόχο να φτάνει στο διευθετημένο τμήμα της Καλαμάτας παροχή μικρότερη των $463.7 \text{ m}^3/\text{s}$, χωρίς να αλλάξουν οι παραδοχές βάσει των οποίων εκτιμήθηκε η εν λόγω τιμή της παροχής σχεδιασμού στη Λύση 1.

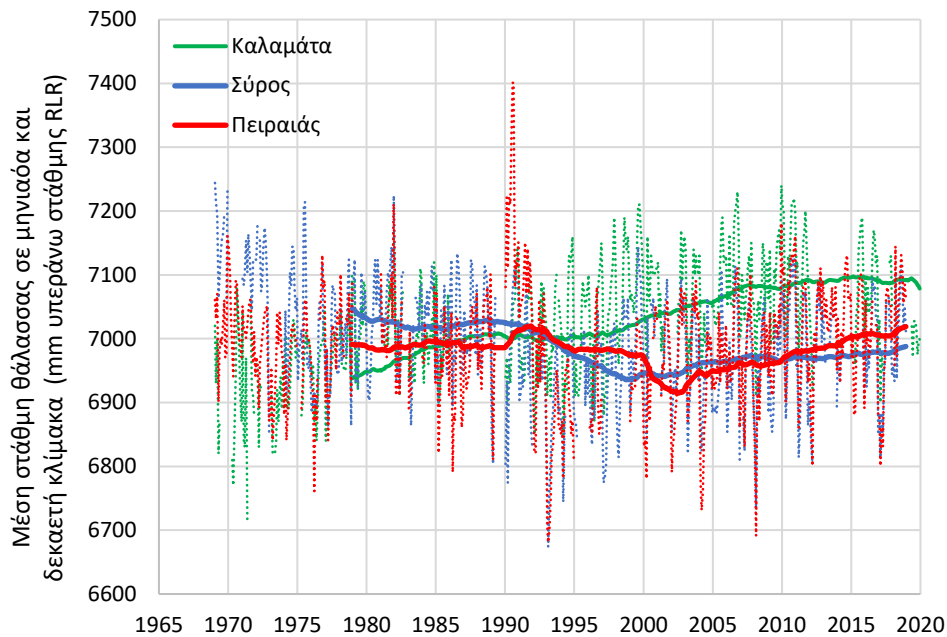
Εφόσον απομειωθεί η παροχή του Νέδοντα, είναι δυνατόν να αναδιαμορφωθεί η διατομή του επιλύοντας τα προβλήματα από χαρακτηριστικά που δεν είναι αποδεκτά από την τοπική κοινωνία. Ειδικότερα, με μικρότερες διαστάσεις διατομών μπορεί να αποφευχθεί η διαπλάτυνση σε όλο το μήκος, άρα και η κοπή δένδρων. Αντίθετα θα πρέπει να γίνει δεκτή η εκβάθυνση, ή ακόμη και να ενισχυθεί. Σχετικά παρατηρούμε ότι στη Λύση 1 η στάθμη του πυθμένα του Νέδοντα στην έξοδό του στη θάλασσα είναι θετική (+0.08 m), ενώ θα μπορούσε να είναι και ελαφρώς αρνητική χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα στην παροχετευτικότητα.

Ωστόσο, τυχόν αρνητική στάθμη είναι πιθανό να δημιουργήσει πρόβλημα στο μέλλον στην περίπτωση ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Εδώ όμως θα πρέπει να σημειώσουμε ότι (α) η στάθμη της θάλασσας στον πλανήτη παρουσιάζει άνοδο τα τελευταία 20 000 χρόνια (συνολικά 120 m τουλάχιστον) και (β) τα δεδομένα των τελευταίων 50 ετών στην Ελλάδα δεν δείχνουν κάποια ανησυχητική συμπεριφορά. Ειδικότερα, στον Πειραιά και τη Σύρο, τα δεδομένα από παλιρροιογράφους (Σχ. 30) δείχνουν μάλλον αυξομειώσεις παρά συστηματική ανοδική τάση.

Για την Καλαμάτα υπήρξε αύξηση της τάξης των 15 cm κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, αλλά η στάθμη έχει σταθεροποιηθεί τον 21^ο αιώνα. Τα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν αύξηση για το μέλλον, αλλά, όπως προαναφέρθηκε (εδάφιο 2.1) δεν είναι αξιόπιστα και δεν συμβαδίζουν με την πραγματικότητα.

Με αυτά τα δεδομένα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι για την προσεχή 50ετία, η οποία αποτελεί έναν εύλογο χρονικό ορίζοντα σχεδιασμού των έργων πολιτικού μηχανικού, μια περαιτέρω εκβάθυνση 0.5 m δεν θα προκαλέσει πρόβλημα στην παροχετευτικότητα. Αυτή μπορεί να γίνει με ομοιόμορφο τρόπο στο σύνολο του διευθετούμενου μήκους, οπότε η στάθμη πυθμένα στην εκβολή θα είναι στα -0.42 m. Αυτό θα έχει ως αρνητική συνέπεια τη θερινή περίοδο (που η παροχή του Νέδοντα μηδενίζεται) να λιμνάζει θαλασσινό νερό σε ένα μήκος περί τα 75 m ανάντη της εκβολής, εκτός κι αν το μέτρο συνδυαστεί με άλλα μέτρα εμπλουτισμού της παροχής του Νέδοντα τους θερινούς μήνες. Εναλλακτικά, είναι δυνατό η πρόσθετη εκβάθυνση να περιοριστεί στο κρίσιμο μήκος (συγκεκριμένα στο τμήμα Δ) και να συνδυαστεί με (πρακτικώς

ανεπαίσθητη) μείωση κλίσης στα κατάντη, χωρίς να μεταβληθεί το υψόμετρο εκβολής (+0.08 m).



Σχ. 30. Εξέλιξη της στάθμης της θάλασσας σε διάφορες θέσεις της χώρας. Οι λεπτές διακεκομμένες γραμμές παριστάνουν μέσες μηνιαίες τιμές και οι έντονες συνεχείς γραμμές της μέσες της δεκαετίας που προηγήθηκε. Πηγή: Koutsoyiannis, 2020 με αυθεντικά δεδομένα του Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL).^{31,32}

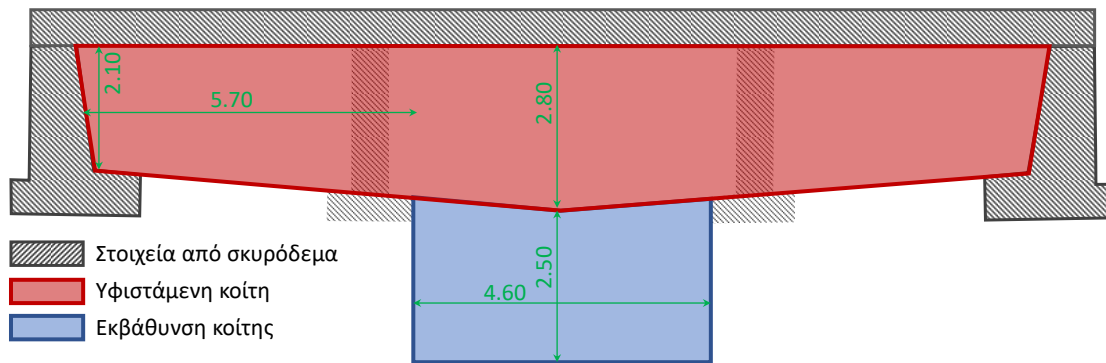
Εναλλακτικά προς τη Λύση 1, η εκβάθυνση του Τμήματος Δ θα μπορούσε να περιοριστεί στο κεντρικό τμήμα της διατομής, ανάμεσα απ' τα υποστυλώματα, όπως φαίνεται στο Σχ. 31, και να γίνει σε μεγαλύτερο βάθος, 2.5 m αντί 2.0 m. Στην περίπτωση αυτή δεν χρειάζεται καθαίρεση του υπάρχοντος φορέα. Από στατική και γεωτεχνική άποψη, η λύση αυτή είναι εφικτή (Μ. Καβαδάς, ομ. καθηγ. γεωτεχνικής ΕΜΠ, προσωπική επικοινωνία), αλλά θα πρέπει να γίνει λεπτομερής επιθεώρηση του φορέα και ενδεχόμενες επισκευές του³³.

Από υδραυλική άποψη, η παροχετευτικότητα του φορέα που φαίνεται στο Σχ. 31 μπορεί να προεκτιμηθεί ως εξής, αρχικώς μη λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία των υποστυλωμάτων, υπολογίζοντας ξεχωριστά την παροχή κάθε τμήματος της σύνθετης διατομής, και θεωρώντας κλίση $J = 1\%$ και συντελεστή τραχύτητας Manning $n = 0.016$ για το νέο (κεντρικό) τμήμα και $n = 0.018$ για το παλιό τμήμα.

³¹ <http://www.psmsl.org/data/obtaining/>

³² Το RLR (Revised Local Reference) σημαίνει Αναθεωρημένη Τοπική Αναφορά και είναι μια στάθμη που ορίζεται να είναι περίπου 7000 mm κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας, όπου αυτή η αυθαίρετη επιλογή γίνεται για να αποφευχθούν αρνητικοί αριθμοί στις προκύπτουσες τιμές.

³³ Θα πρέπει βέβαια να διευκρινιστούν οι συνθήκες θεμελίωσης και το αν τα ενδιάμεσα υποστυλώματα εδράζονται σε μεμονωμένα πέδιλα, ή σε συνεχή πεδιλοδοκό σε κάποιο βάθος κάτω από την κοίτη. Στην περίπτωση της πεδιλοδοκού, μπορεί να γίνει τμηματική εκσκαφή της αναγκαίας εκβάθυνσης στο επιθυμητό βάθος (π.χ. σε μήκη των 5-10 μέτρων αναλόγως του βάθους θεμελίωσης των πεδιλοδοκών), και κατασκευή της μόνιμης επένδυσης της εκβάθυνσης, χωρίς την ανάγκη λήψης σημαντικών μέτρων αντιστήριξης των πρανών της προσωρινής εκσκαφής.



Σχ. 31. Εξεταζόμενη μερική εκβάθυνση της διατομής στο τμήμα Δ (καλυμμένο με υποστυλώματα) της διευθετημένης κοίτης του

- Για ροή με ελεύθερη επιφάνεια με ελεύθερο περιθώριο 0.3 m:
 - Για το κεντρικό τμήμα (βάθος ροής 5.0 m) η ταχύτητα προκύπτει $V = 11.2$ m/s και η παροχή $Q = 257$ m³/s.
 - Για καθένα από τα ακραία τμήματα (μέσο βάθος ροής 2.2 m) η ταχύτητα προκύπτει $V = 7.5$ m/s και η παροχή $Q = 91$ m³/s.
 - Η συνολική παροχή είναι $Q = 257 + 2 \times 91 = 439$ m³/s.
- Για ροή χωρίς ελεύθερο περιθώριο, δηλαδή με ολική πλήρωση της διατομής:
 - Για το κεντρικό τμήμα η ταχύτητα προκύπτει $V = 8.4$ m/s και η παροχή $Q = 206$ m³/s.
 - Για καθένα από τα ακραία τμήματα η ταχύτητα προκύπτει $V = 5.2$ m/s και η παροχή $Q = 63$ m³/s.
 - Η συνολική παροχή είναι $Q = 206 + 2 \times 63 = 332$ m³/s.

Αν ληφθεί υπόψη η επίδραση των υποστυλωμάτων, τα πιο πάνω μεγέθη ταχύτητας και παροχής θα μειωθούν, αλλά εκτιμάται ότι η παροχετευτικότητα θα υπερβεί τα 300 m³/s.

Τα παραπάνω αποτελούν προκαταρκτικές εκτιμήσεις. Επειδή η διατομή είναι σύνθετη, και ιδίως λόγω της παρουσίας των υποστυλωμάτων, οι υπολογισμοί δεν μπορεί να είναι ακριβείς. Εφόσον υιοθετηθεί αυτή η λύση, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η ακριβής παροχετευτικότητα εργαστηριακά, με την κατασκευή φυσικού μοντέλου υπό κλίμακα. Στο εργαστηριακό μοντέλο θα μπορούσε επίσης να μελετηθεί η τροποποίηση της υπάρχουσας (τετραγωνικής) διατομής των υποστυλωμάτων ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενέργειας.

Εξ άλλου, αν υιοθετηθεί η λύση αυτή, η παροχετευτικότητα θα πρέπει να μειωθεί αναλόγως σε όλο το μήκος της διευθέτησης, π.χ. στα ~300 m³/s. Με αυτή την παροχετευτικότητα δεν θα χρειαστεί διαπλάτυνση της κοίτης σε κανένα σημείο. Για παράδειγμα, στο τμήμα που προτείνεται να διαμορφωθεί με κλίση 0.56%, η παροχετευτικότητα για βάθος ροής 3 m και πλάτος 15.6 m διαμορφώνεται στα 345 m³/s.

Θεωρείται απαραίτητο η λύση αυτή να συνδυαστεί και με διευθέτηση του Νέδοντα ανάντη του καλυμμένου τμήματος, μέχρι το Λατομείο Μπάκα. Ειδικότερα, θα ήταν σκόπιμο (α) να περιοριστεί η διάβρωση των πρανών με χρήση συρματοκιβωτίων και (β)

να κατασκευαστεί εσχάρα συγκράτησης κορμών δένδρων³⁴, ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο πρόσκρουσης αυτών στα υποστυλώματα και την πρόκληση δομικών αστοχιών.

Επισημαίνεται ότι, με τη μείωση της παροχευετικότητας σχεδιασμού, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με τους τρόπους που συνοψίζονται παρακάτω, παύει να υφίσταται το περιβαλλοντικό πρόβλημα της κοπής των δένδρων.

5.4.1 Αναβαθμοί και λεπτομερής αναπαράστασή τους

Οι συνήθεις μέθοδοι κατάρτισης των πλημμυρών σχεδιασμού έχουν βασιστεί σε δεδομένα από λεκάνες που βρίσκονται σε φυσική κατάσταση. Έτσι, στις τεχνολογικές μελέτες (συμπεριλαμβανομένης της εξεταζόμενης μελέτης αναδιευθέτησης της Λύσης 1), οι αντίστοιχες εκτιμήσεις υπολογιστικά κρίσιμων μεγεθών, όπως ο χρόνος συρροής της λεκάνης και η προκύπτουσα παροχή αιχμής, δεν λαμβάνουν υπόψη τις επιδράσεις των τυχόν έργων μικρής κλίμακας στη λεκάνη απορροής. Οι επιδράσεις αυτές αποτελούν ερευνητικό αντικείμενο και απαιτούν λεπτομερή δεδομένα για την εκτίμησή τους. Ωστόσο, δίνουμε παρακάτω ορισμένα ποιοτικά στοιχεία.

Όπως προαναφέρθηκε (εδάφιο 3.2), τα έργα των αναβαθμών, που είναι πολλά στη λεκάνη του Νέδοντα, έχουν τρεις κύριες λειτουργίες (α) προσφέρουν χώρο για αποθήκευση φερτών υλικών, τα οποία δεν μεταφέρονται στα κατάντη, (β) μειώνουν την ταχύτητα ροής και άρα διαχέουν στο χρόνο το πλημμυρικό φαινόμενο, και (γ) καταστρέφουν μέρος της ενέργειας της ροής κάνοντάς την έτσι λιγότερο καταστροφική στα κατάντη. Οι λειτουργίες (β) και (γ) εξακολουθούν ακόμη και όταν ο διατιθέμενος χώρος πληρωθεί με φερτά, οπότε στα ανάντη του αναβαθμού σχηματίζεται μια κλίση πυθμένα $J_{\text{αναβ}}$ που είναι μικρότερη από τη φυσική $J_{\text{φυσ}}$.

Εδώ θα επικεντρωθούμε στη λειτουργία (β). Υποθέτοντας ροή μεγάλου πλάτους και βάθους y , η υδραυλική ακτίνα θα είναι $R = y$. Για παροχή ανά μέτρο πλάτους $q = Vy$, η ταχύτητα υπολογίζεται από τον τύπο του Manning σε

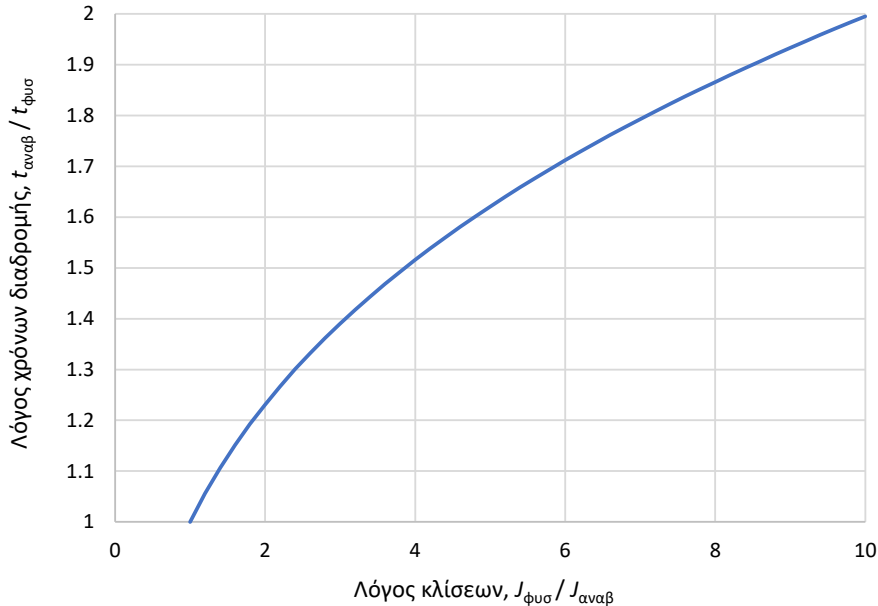
$$V = \frac{q^{2/5}}{n^{3/5}} J^{3/10} \quad (3)$$

Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση για τις περιπτώσεις με και χωρίς αναβαθμούς, διαιρώντας κατά μέλη τις δύο εξισώσεις, και αναγνωρίζοντας ότι οι χρόνοι ροής είναι αντιστρόφως ανάλογοι των ταχυτήτων, παίρνουμε:

³⁴ Ειδικότερα, αντιμετωπίζεται πρόβλημα με ξερούς κορμούς πλατάνου. Οι φυσικοί πληθυσμοί πλατάνου μαστίζονται από την ασθένεια του μεταχρωμικού έλκους του πλατάνου και προκαλείται από το μύκητα *Ceratocystis fimbriata f.sp. platani*. Το παθογόνο προσβάλλει μόνο είδη πλατάνου. Είναι η πλέον καταστρεπτική ασθένεια του πλατάνου διεθνώς, προκαλώντας νέκρωση των δένδρων. Νεαρά δένδρα συνήθως νεκρώνονται σε χρόνο μικρότερο των δύο ετών, ενώ τα μεγαλύτερα δένδρα μπορούν να επιβιώσουν για αρκετά χρόνια μετά την προσβολή τους από το παθογόνο. Ωστόσο, ο θάνατος των προσβεβλημένων δένδρων είναι αναπόφευκτος.

$$\frac{t_{\text{αναβ}}}{t_{\text{φυσ}}} = \frac{V_{\text{φυσ}}}{V_{\text{αναβ}}} = \left(\frac{J_{\text{φυσ}}}{J_{\text{αναβ}}} \right)^{0.3} \quad (4)$$

Γραφική απεικόνιση της παραπάνω σχέσης δίνεται στο Σχ. 32.



Σχ. 32. Επιβράδυνση της ροής λόγω των αναβαθμών, εκφρασμένη ως ο λόγος των χρόνων ροής με και χωρίς αναβαθμούς, συναρτήσει του λόγου της φυσικής κλίσης πυθμένα προς την κλίση που διαμορφώνεται μετά την κατασκευή αναβαθμών.

Παρατηρούμε ότι όταν η κλίση υποτετραπλασιαστεί ο χρόνος ροής αυξάνεται κατά 50% και όταν υποδεκαπλασιαστεί αυξάνεται κατά 100%.

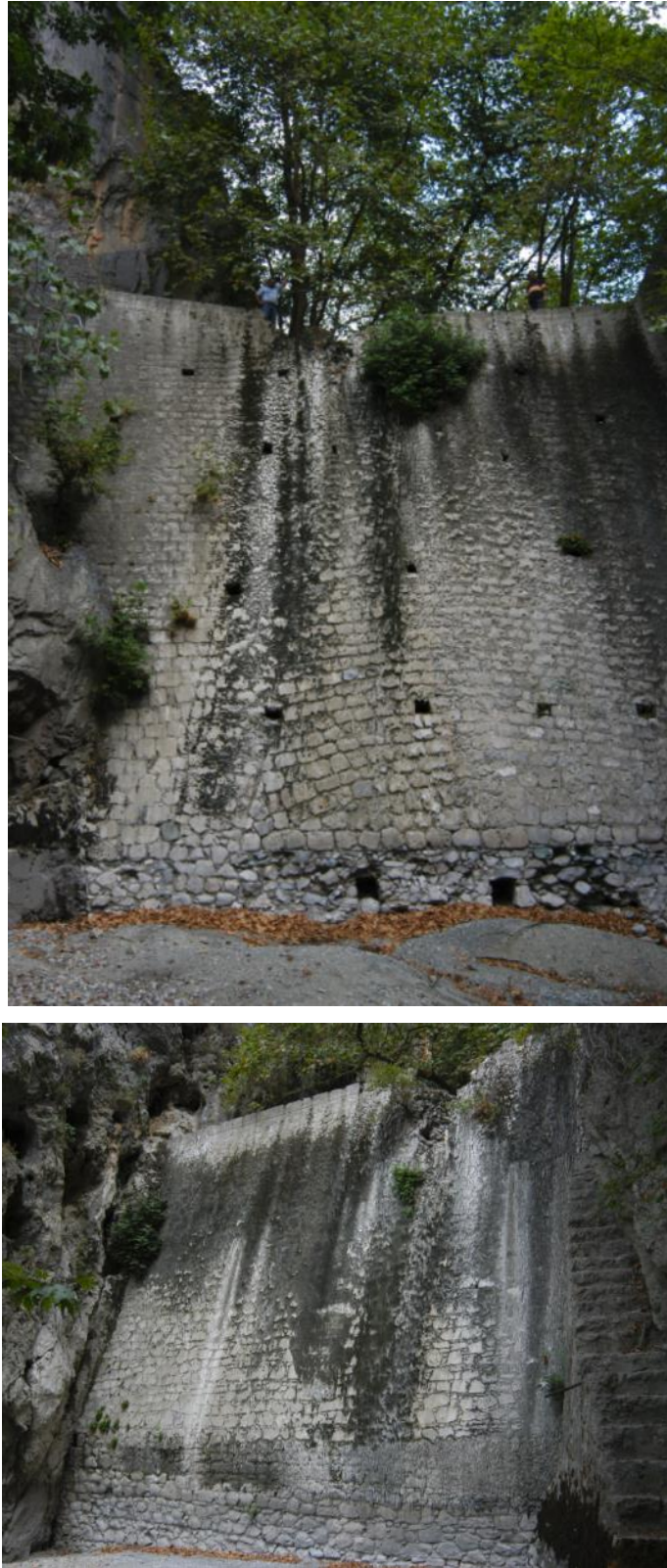
Αν και δεν υπάρχουν μετρητικά (τοπογραφικά) δεδομένα των κλίσεων της κοίτης που έχουν διαμορφωθεί με τα έργα ορεινής υδρονομίας, η μεγάλη πυκνότητά τους αποτελεί ένδειξη ότι η μείωση κλίσεων είναι σημαντική (Σχ. 33).

Κατά συνέπεια η ύπαρξη των αναβαθμών και η προσθήκη νέων, ώστε η μείωση κλίσεων να καλύψει το μεγαλύτερο μήκος του υδατορεύματος, θα μειώσει την πλημμυρική αιχμή. Όμως η λεπτομερής ποσοτικοποίηση της μείωσης θα μπορούσε να γίνει μόνο στο πλαίσιο ενός αυτοτελούς ερευνητικού έργου. Ένα τέτοιο έργο θα είχε μεγάλη αξία, δεδομένου ότι η περίπτωση του Νέδοντα είναι μοναδική για την Ελλάδα από πλευράς τόσο του πλήθους, όσο και της ιστορίας των αναβαθμών. Τα αποτελέσματά του θα ήταν χρήσιμα όχι μόνο για τη συγκεκριμένη λεκάνη, αλλά και για άλλες λεκάνες, με ανάδειξη του Νέδοντα ως προτύπου για τη χώρα.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της λύσης των αναβαθμών είναι η περιβαλλοντική αξία τους και η ανθεκτικότητά τους σε παντοειδείς αρνητικές επιδράσεις. Για παράδειγμα εξακολουθούν να προσφέρουν προστασία σε περίπτωση που μια δασική περιοχή καεί. Μειονεκτήματά τους είναι το μεγάλο κόστος σε σχέση με τα οφέλη και η ανάγκη για συντήρησή τους.



Σχ. 33. Φωτογραφίες ενδεικτικές της μείωσης της φυσικής κλίσης του Νέδοντα λόγω της κατασκευής των αναβαθμών. (Αρχείο τοπικής Δασικής Υπηρεσίας, ευγενική χορηγία Β. Χαντζή.)



Σχ. 34. Φωτογραφίες ενδεικτικές των ζημιών των αναβαθμών. (Αρχείο τοπικής Δασικής Υπηρεσίας, ευγενική χορηγία Β. Χαντζή.)

Ειδικότερα, η συντήρηση είναι ζωτικής σημασίας και δεν έχει τύχει της απαραίτητης προσοχής με αποτέλεσμα αρκετά από τα έργα που είναι μεγάλης ηλικίας να εμφανίζουν φθορές, οι οποίες πάντως δεν είναι σημαντικές (Σχ. 34). Τα έργα ορεινής

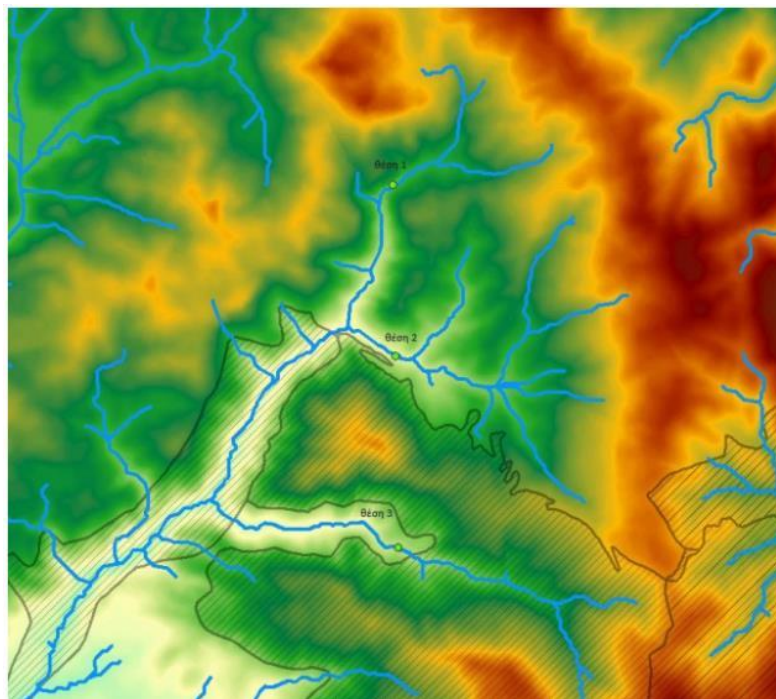
υδρονομίας συνδυάζονται επίσης με φυτοτεχνικές και αναδασωτικές εργασίες που συμβάλλουν στην αντιδιαβρωτική προστασία (Αγγελόπουλος, 2015).

5.4.2 Κατασκευή φραγμάτων

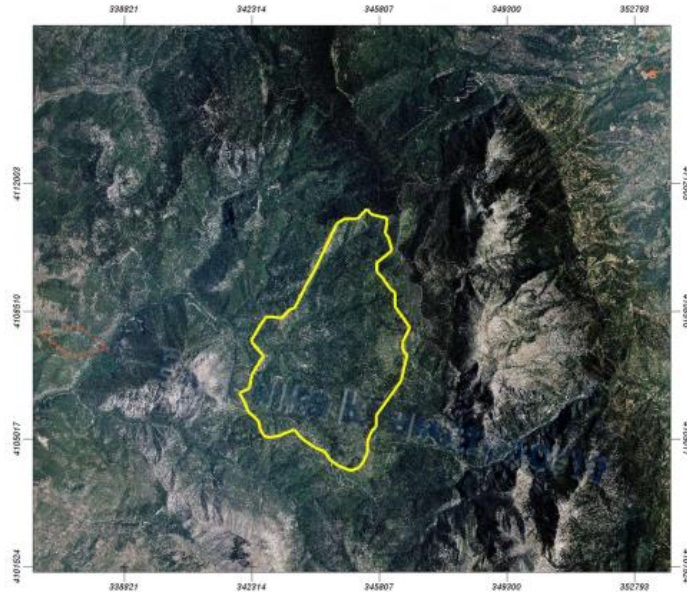
Κάθε φράγμα προκαλεί ανάσχεση των πλημμυρών, μικρότερη ή μεγαλύτερη, ανάλογα με τις διαστάσεις του. Επιπλέον μπορεί να κάνει εποχιακή ή υπερετήσια ρύθμιση της ροής, ανάλογα με τη χωρητικότητά του. Σε γενικές γραμμές, τα φράγματα έχουν πολλαπλά οφέλη για τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Όπως φαίνεται στον υδρογεωλογικό χάρτη στο Σχ. 19, αδιαπέρατα πετρώματα που επιτρέπουν την κατασκευή στεγανού ταμιευτήρα, κατάλληλου για αποθήκευση νερού για υδρευτική ή αρδευτική χρήση, υπάρχουν μόνο σε μικρό τμήμα της λεκάνης στα ανατολικά της. Αυτό το γεγονός περιορίζει τη δυνατότητα για σημαντική ανάσχεση των πλημμυρών, δεδομένου ότι η έκταση της λεκάνης απορροής ανάντη του φράγματος αναγκαστικά θα είναι μικρή.

Στην πρόσφατη εργασία των Μαρκαντώνη κ.ά. (2022) έχουν εξεταστεί προκαταρκτικά τρεις θέσεις πιθανών φραγμάτων, στο υδατοστεγανό ανατολικό τμήμα της λεκάνης, που φαίνονται στο Σχ. 35. Από τις τρεις, αυτή με τη μεγαλύτερη λεκάνη απορροής, συγκεκριμένα 29.6 km², είναι η θέση 2. Στην πιο εμπειριστατωμένη εργασία του Αντωνόπουλου (2021) προτείνεται η κατασκευή φράγματος στην ίδια υπολεκάνη αλλά ανάντη της θέσης 2, οπότε μικραίνει η έκταση λεκάνης στα 19 km², που αντιστοιχεί στο 16% της συνολικής λεκάνης. Κατ' εκτίμηση, ένα τέτοιο φράγμα θα έχει μεν χρησιμότητα ως προς την ταμίευση νερού, αλλά δεν αναμένεται να απομειώσει σημαντικά (πάνω από 10%) την πλημμυρική αιχμή του Νέδοντα στην Καλαμάτα.



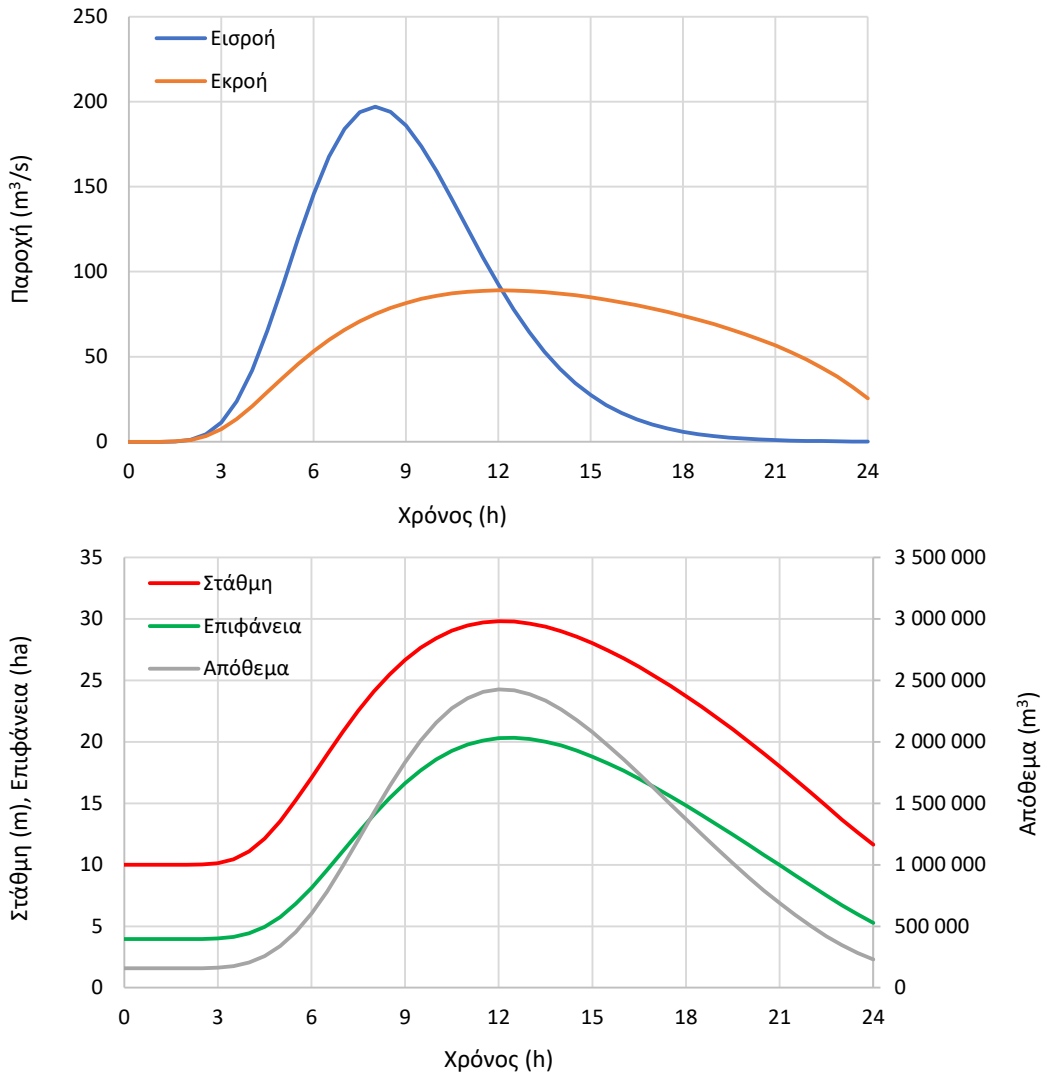
Σχ. 35. Εξετασθείσες εναλλακτικές θέσεις φραγμάτων στην εργασία των Μαρκαντώνη κ.ά. (2022). Αναπαραγωγή από την εν λόγω εργασία.



Σχ. 36. Προταθείσα θέση φράγματος και λεκάνη απορροής εναλλακτικές θέσεις φραγμάτων στην εργασία του Αντωνόπουλου (2021). Αναπαραγωγή από την εν λόγω εργασία.

Ωστόσο, είναι δυνατή η κατασκευή φράγματος ανάσχεσης, χωρίς στεγανή αποθήκευση, σε κατάντη θέση της λεκάνης. Ένα τέτοιο φράγμα θα είναι αποτελεσματικό στην απομείωση της πλημμύρας, ενώ μπορεί να συνδυαστεί και με τον εμπλουτισμό των υδροφορέων. Ενδεικτικές θέσεις για κατασκευή ενός φράγματος ανάσχεσης (ή και δύο) είναι η θέση Διπόταμα μετά τη συμβολή των δύο βασικών κλάδων και η θέση Λιθωμένο Φίδι (λατομείο Μπάκα). Όμως, η χωροθέτηση προϋποθέτει κατάλληλη γεωλογική και υδρογεωλογική μελέτη, προκειμένου να εξασφαλιστεί ο αποτελεσματικός εμπλουτισμός των υδροφορέων. Παρ' όλ' αυτά, εδώ επιχειρούμε, πριν τη χωροθέτηση, να προεκτιμήσουμε ορισμένα χαρακτηριστικά μεγέθη με αδρομερείς υπολογισμούς.

Σε αυτό το πλαίσιο της προεκτίμησης, θεωρούμε ότι το φράγμα θα κατασκευαστεί σε θέση όπου η παροχή του Νέδοντα θα είναι περί τα $200 \text{ m}^3/\text{s}$ για περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια, με υδρογράφημα όπως αυτό του Σχ. 37, που είναι συμβατό ως προς τα χρονικά μεγέθη με υδρογραφήματα της μελέτης αναδιευθέτησης. Θεωρούμε επίσης ότι το απόθεμα του ταμιευτήρα θα αυξάνεται με τη στάθμη υψωμένη στη δύναμη $5/2$. Τέλος, θεωρούμε ότι η παροχή 50ετίας ή μικρότερη θα διοδεύεται αποκλειστικά μέσω εκκενωτή, η παροχή του οποίου είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της διαφοράς στάθμης. Η διαφορά στάθμης λαμβάνεται από τη στάθμη των 10 m πάνω από τον πυθμένα, όπου υποτίθεται ότι αυτά τα 10 m είναι μονίμως κατακλυζόμενα, προκειμένου να εξυπηρετήσουν το σκοπό του εμπλουτισμού του υδροφορέα. Παροχές άνω της 50ετίας θα διοδευθούν με συνδυασμό της λειτουργίας του εκκενωτή και του υπερχειλιστή, ο οποίος απαραίτητως θα κατασκευαστεί για την προστασία του ίδιου του φράγματος.



Σχ. 37. Υποθετικό παράδειγμα χρονικής εξέλιξης των χαρακτηριστικών μεγεθών σε ταμιευτήρα ανάσχεσης – εμπλουτισμού στη λεκάνη του Νέδοντα.

Με αυτές τις παραδοχές, μπορεί να υπολογιστεί η χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών μεγεθών, η οποία παρουσιάζεται στο Σχ. 37. Παρατηρούμε ότι ο ταμιευτήρας υποδιπλασιάζει την παροχή αιχμής. Από το σχήμα μπορούμε να εξαγάγουμε τις ακόλουθες προσεγγιστικές τιμές των μεγεθών σχεδιασμού (χωρίς να υπολογίζονται οι συνθήκες που θα αναπτυχθούν όταν η παροχή υπερβεί αυτήν της 50ετίας και λειτουργήσει ο υπερχειλιστής):

- μέγιστη κατακλυζόμενη έκταση 20 ha, εκ των οποίων 4 ha σε μόνιμη κατάκλυση,
- μέγιστο ύψος νερού 30 m,
- μέγιστο απόθεμα 2.5 hm³.

Εφόσον κατασκευαστεί και το φράγμα ανάσχεσης – εμπλουτισμού και το φράγμα αποθήκευσης, θα υπάρξουν πολλαπλά οφέλη για την περιοχή, πέραν της απομείωσης της πλημμυρικής παροχής. Συγκεκριμένα, θα μπορέσει να ενισχυθεί το υδατικό δυναμικό της ευρύτερης περιοχής και η υδρευτική και αρδευτική χρήση του, και να μετριαστούν τα

προβλήματα από την χρήση γεωτρήσεων. Ο συνδυασμός της ενίσχυσης του επιφανειακού και υπόγειου υδατικού δυναμικού με την απομείωση των πλημμυρικών αιχμών (επομένως και των διαστάσεων της διευθετημένης κοίτης) αποτελεί και το βασικό πλεονέκτημα αυτής της λύσης. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με την 1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείριση Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου (Μίχας, 2017) στο Σύστημα Παμίσου (EL0100100), στο οποίο υπάγεται και η παράκτια περιοχή της λεκάνης του Νέδοντα, η κατάσταση του ισοζυγίου ετήσιας τροφοδοσίας και αποληψης από τα υπόγεια υδατικά συστήματα χαρακτηρίζεται ως «κακή» (Μίχας, 2017, Πίν. 5-10). Ομοίως «κακή» χαρακτηρίζεται η ποιοτική (χημική) αλλά και η ποσοτική κατάσταση του υπόγειου υδατικού συστήματος (Μίχας, 2017, Πίν. 5-16 και 6.11). Συνεπώς τα έργα ενίσχυσης και εμπλουτισμού του υδατικού δυναμικού θα έχουν ευεργετική επίδραση.

Κύριο μειονέκτημα είναι η διακινδύνευση που προκαλείται σε περίπτωση δομικής αστοχίας κάποιου από τα φράγματα, δεδομένου ότι στα κατάντη τους βρίσκεται η πόλη της Καλαμάτας. Για την αντιμετώπισή της χρειάζεται προσεκτική παρακολούθηση της ασφάλειας των έργων σε όλη τη διάρκεια ζωής τους. Πάντως οι κίνδυνοι δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικοί, δεδομένου ότι το φράγμα αποθήκευσης θα είναι αρκετά απομακρυσμένο και σχετικά μικρού μεγέθους, ενώ για το φράγμα ανάσχεσης-εμπλουτισμού, τυχόν αστοχία του θα έχει αποτέλεσμα απλώς να μην απομειωθεί η φυσική παροχή. Στα μειονεκτήματα θα πρέπει να περιληφθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σε κάθε περίπτωση, είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθούν οι όποιες αρνητικές επιπτώσεις, ιδίως αν κάποιο από τα έργα χωροθετηθεί σε περιοχή Natura, οπότε θα πρέπει και να ακολουθηθεί το πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (2021).

Σε ότι αφορά το κόστος των έργων, αυτό δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί στη φάση αυτή, αλλά σε κάθε περίπτωση δεν είναι σκόπιμο να προστεθεί εν συνόλω στο κόστος των αντιπλημμυρικών έργων, αλλά να επιμεριστεί και στις άλλες χρήσεις. Σε ότι αφορά το χρόνο ολοκλήρωσης, αυτός θα είναι μεγάλος, της τάξης της δεκαετίας, αλλά αυτός δεν αποτελεί κρίσιμη παράμετρο δεδομένου ότι το υφιστάμενο επίπεδο προστασίας της Καλαμάτας είναι ικανοποιητικό, ενώ θα αυξηθεί σημαντικά σε μικρό χρόνο με τα έργα αναδιευθέτησης (εδ. 5.4).

5.4.3 Ανασχεδιασμός χαράξεων συμβαλλόντων ρεμάτων

Όπως περιγράφηκε στο εδ. 3.4 και όπως απεικονίζεται στο Σχ. 16, ο σχεδιασμός στη Λύση 1 βασίστηκε στη συγκεντρωτική αρχή, με εκτροπή ή καθοδήγηση όλων των ρεμάτων (Ελαφογκρέμη, Λαγκάδας και Καραμπογιά, Καλαμίτσι, Βέλιουρα) στον Νέδοντα. Ο συγκεντρωτικός σχεδιασμός γενικά δεν θεωρείται δόκιμος γιατί αυξάνει την παροχή του τελικού αποδέκτη. Το επιχείρημα ότι μπορεί να μην αυξηθεί η παροχή, εφόσον δεν συγχρονιστούν οι αιχμές των επιμέρους πλημμυρογραφημάτων δεν ευσταθεί, αφού ο χρονισμός των παροχών είναι ένα στοχαστικό φαινόμενο. Έτσι, είναι στατιστικώς βέβαιο

ότι με την προσθήκη απορροών ομβρίων από επιπρόσθετες λεκάνες η παροχή σχεδιασμού θα αυξηθεί. Η αύξηση είναι μικρότερη από την παροχή αιχμής της επιπρόσθετης λεκάνης, αλλά είναι αύξηση.

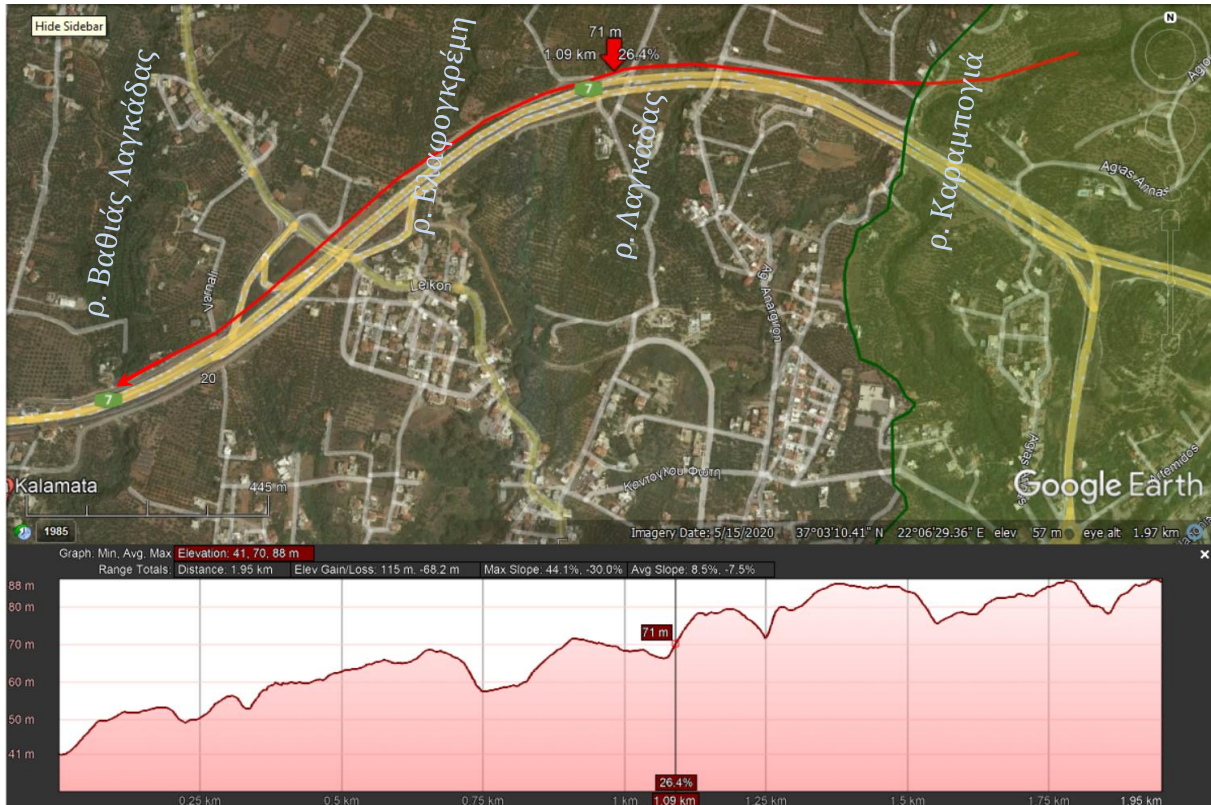
Ωστόσο, ο συγκεκριμένος σχεδιασμός της μελέτης αναδιευθέτησης της Λύσης 1 είναι δικαιολογημένος από πλευράς κόστους, δεδομένου ότι δεν τέθηκαν περιορισμοί για τις διαστάσεις. Άρα η συγκέντρωση ομβρίων στη συγκεκριμένη περίπτωση οδηγεί σε οικονομία κλίμακας.

Στη Λύση 2, όμως, στην οποία τίθενται περιορισμοί ως προς τις διαστάσεις της κοίτης και συνεπώς και ως προς την παροχετευτικότητα του κεντρικού αποδέκτη, θα μπορούσε να εξετασθεί ο αποκεντρωτικός συνδυασμός, με καθοδήγηση των επιπρόσθετων λεκανών σε άλλα ρέματα κατάντη του αυτοκινητοδρόμου, με διευθέτηση των τελευταίων και κατάλληλο ανασχεδιασμό του του αποχετευτικού δικτύου ομβρίων της Καλαμάτας. Το τελευταίο πρόβλημα είναι επιτακτικό, όπως αποδεικνύεται απ' τις συχνές κατακλύσεις οδών, καθώς και από το γεγονός ότι το μοναδικό θύμα μέσα στην Καλαμάτα κατά την πλημμύρα του 2016 δεν προκλήθηκε από υπερχειλίση του Νέδοντα αλλά από περιφερειακή κατάκλυση. Ωστόσο, η μελέτη αυτού του θέματος δεν είναι εφικτό να γίνει στο πλαίσιο της παρούσας έκθεσης, αφού απαιτεί λεπτομερή δεδομένα τοπογραφικής αποτύπωσης που δεν είναι διαθέσιμα.

Πάντως, ένα παράδειγμα αποκεντρωτικού σχεδιασμού δίνεται στο Σχ. 38, όπου η γενική διάταξη των έργων είναι αντίστροφη αυτής της Λύσης 1. Τα ρέματα Λαγκάδας και Ελαφογκρέμη κατευθύνονται με τάφρο προς το ρέμα Βαθιάς Λαγκάδας. Με επέκταση της τάφρου ανατολικά, μπορεί να παραληφθούν και οι απορροές του ρέματος Καραμπογιά, το οποίο ανήκει στη λεκάνη του Νέδοντα. Κατά τον τρόπο αυτό αφαιρείται τμήμα της απορροής της λεκάνης του Νέδοντα, αντί να προστίθεται η απορροή εξωτερικών λεκανών. Το ρέμα Βαθιάς Λαγκάδας θα πρέπει να διευθετηθεί μέχρι την εκβολή του ώστε να παραλάβει τις απορροές του συνόλου των λεκανών. Παράλληλα, η προταθείσα στη Λύση 1 σήραγγα καταργείται, καθιστώντας το όλο έργο απλούστερο. Το σκαρίφημα μηκοτομής εδάφους στο κάτω μέρος Σχ. 38 δείχνει ότι η προτεινόμενη χάραξη εναρμονίζεται με τη φυσική κλίση και άρα δεν απαιτούνται σήραγγες.³⁵

Γενικώς μπορεί να εκτιμηθεί ότι το κόστος του αποκεντρωτικού σχεδιασμού θα είναι εν προκειμένω μεγαλύτερο από αυτό της Λύσης 1 και ότι η όχληση στην πόλη δεν θα αποφευχθεί, αλλά θα αποκεντρωθεί. Πάντως θα μπορούσε να γίνει αποδεκτός ο συγκεκριμένος σχεδιασμός και στη Λύση 2, με την προϋπόθεση ότι η μείωση της παροχής θα γίνει με την κατασκευή στα ανάντη του ενός φράγματος ή και των δύο.

³⁵ Το σκαρίφημα μηκοτομής έχει παραχθεί αυτόματα από το Google Earth. Είναι αυτονόητο ότι αν γίνει λεπτομερής χάραξη της τάφρου, οι αυξομειώσεις υψομέτρων στη μηκοτομή εδάφους θα περιοριστούν.



Σχ. 38. Παράδειγμα αποκεντρωτικού σχεδιασμού με γενική διάταξη έργων αντίστροφη αυτής της Λύσης 1. Τα ρέματα Λαγκάδας και Ελαφογκρέμη κατευθύνονται με τάφρο προς το ρέμα Βαθιάς Λαγκάδας, το οποίο διευθετείται ώστε να παραλάβει τις απορροές του συνόλου των λεκανών. Με επέκταση της τάφρου ανατολικά, μπορεί να παραληφθούν και οι απορροές του ρέματος Καραμπογιά, το οποίο ανήκει στη λεκάνη του Νέδοντα. Το σκαρίφημα μηκοτομής εδάφους στο κάτω μέρος έχει παραχθεί αυτόματα από το Google Earth και δείχνει ότι η προτεινόμενη χάραξη εναρμονίζεται με τη φυσική κλίση.

5.5 Λύση 3: Αναδιευθέτηση με επαναφυσικοποίηση κοίτης

Για λόγους πληρότητας (και παρόλο που εκτιμάται ότι η λύση αυτή δεν θα είναι αποδεκτή στη φάση αυτή από την κοινωνία της Καλαμάτας) οφείλουμε να συμπεριλάβουμε στο σύνολο των εξεταζόμενων εναλλακτικών λύσεων και την επαναφυσικοποίηση της κοίτης του Νέδοντα στην Καλαμάτα, με καθαίρεση όλων των σκεπαστών τμημάτων. Από υδραυλική άποψη, η λύση αυτή μπορεί να βασιστεί στην υπάρχουσα μελέτη αναδιευθέτησης (Λύση 1), στην οποία θα χρειαστεί να γίνουν μικρές τροποποιήσεις ως προς τα υλικά κατασκευής, τους στατικούς φορείς αλλά και τις διαστάσεις, δεδομένου ότι και από στατική και από υδραυλική άποψη η μη κάλυψη προσφέρει ευνοϊκότερες συνθήκες. Κατά συνέπεια η Λύση 3 θα είναι και η πιο οικονομική απ' όλες.

Τα κύρια θέματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν σε αυτή τη λύση είναι της αστικής ανάπλασης και το συγκοινωνιακό. Μια πρώτη προσέγγισή τους παρέχεται από την εργασία των Σαμιώτη και Τσιλίδη (2020), ένα χαρακτηριστικό σκίτσο της οποίας αναπαράγεται στο Σχ. 39.



Σχ. 39. Αναπαραγωγή χαρακτηριστικού σκίτσου αστικής ανάπλασης από την εργασία των Σαμιώτη και Τσιλίδη (2020).

6 Λοιπά θέματα

6.1 Προστασία της περιοχής δυτικά της Καλαμάτας

Όπως προαναφέρθηκε (εδ. 4.3.1), η περιοχή δυτικά της Καλαμάτας επλήγη σφοδρά από την πλημμύρα του Σεπτεμβρίου 2016 με νεκρούς στο Πήδημα και τη Θουρία, και καταστροφές στις πεδινές περιοχές (Σχ. 24). Οι καταστροφές αυτές συνδέονται με τη λειτουργία των υδρογραφικών δικτύων των ποταμών Παμίσου και Άρι και δεν συνδέονται με το καθεστώς ροής στον Νέδοντα.

Όπως αναλύθηκε στα εδ. 4.3.2 και 4.3.3, η καταιγίδα στην περιοχή αυτή ήταν πιο έντονη απ' όσο στην περιοχή της Καλαμάτας (βλ. μετρήσεις βροχής στο σταθμό Αρφαρά). Με δεδομένο ότι η περίοδος επαναφοράς της βροχής στην εν λόγω περιοχή φαίνεται να ξεπέρασε τα 500 χρόνια για ένα εύρος χρονικών κλιμάκων, ήταν αναμενόμενο να υπάρχουν καταστροφές, ανεξάρτητα απ' την ύπαρξη αντιπλημμυρικών έργων. Ενδεικτικά, το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας³⁶ αναφέρει για την περίοδο επαναφοράς 1000 ετών (βλ. και Σχ. 40).

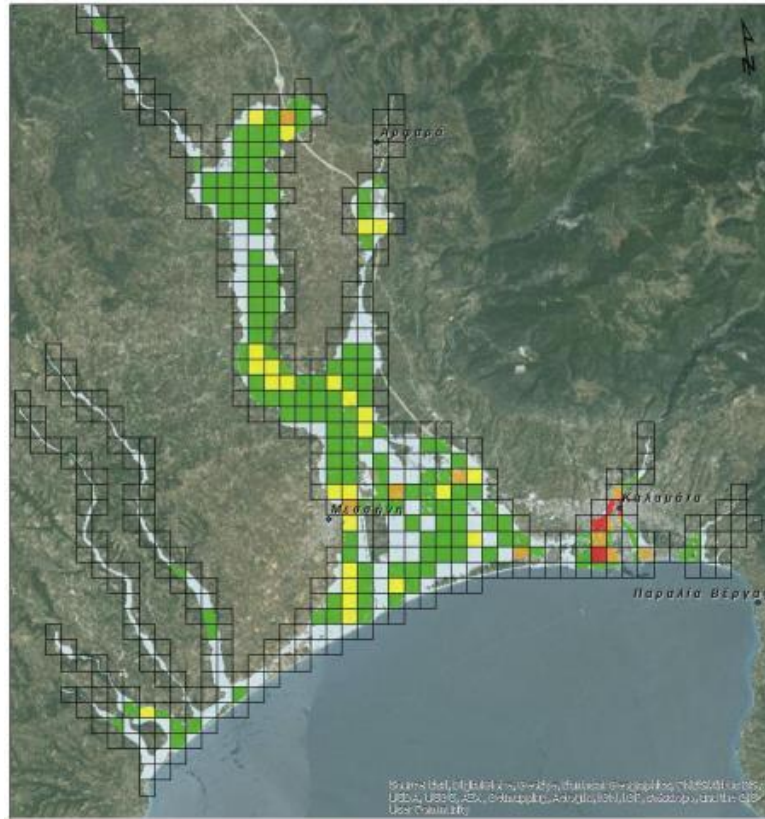
Από το συνδυασμό βάθους και ταχύτητας ροής προέκυψε εντός της ΖΔΥΚΠ, μέτρια επικινδυνότητα εμφανίζεται στο σύνολο του ρου του Παμίσου αρκετά ευρύτερα από την περιοχή της κοίτης καθώς και σε τμήματα του π. Άρι, π. Νέδοντα και στο κάτω ρου των ρ. Μουρτιά, του ρ. Τυφλό, του ρ. Λαγιώτη και του ρ. Βελίκα. Υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα εμφανίζεται στην περιοχή ανάντη της Μεσσήνης, στην περιοχή του Αγίου Φλώρου – Αρφαρών, στο μέσο και κάτω ρου του π. Άρι, στο μέσο ρου του π. Νέδοντα και σε μικρά τμήματα των ρεμάτων Μουρτιά, Τυφλό, Λαγιώτη και Βελίκα.

Παρ' όλ' αυτά, μετά το εν λόγω πλημμυρικό επεισόδιο θεωρείται επιβεβλημένη η επιθεώρηση των συνθηκών και επαναθεώρηση των έργων, κάτι που υπερβαίνει τις δυνατότητες ανάλυσης της παρούσας έκθεσης. Ειδικότερα, θεωρείται άμεση προτεραιότητα να γίνουν διευθετήσεις ομβρίων στις ακόλουθες θέσεις που παρατηρήθηκαν πλημμυρικά φαινόμενα το 2016 και πιθανόν συσχετίζονται με τον αυτοκινητόδρομο.

- Κοινότητα Αγίου Φλώρου Δήμου Καλαμάτας: οι απορροές, ανατολικά και ανάντη του οικισμού, του ρέματος Νικολέικο θα μπορούσαν να παροχετευτούν προς το ρέμα Κουτσουμπού, το οποίο διασχίζει κάθετα την παλιά εθνική οδό, καταλήγοντας στην νέα κοίτη του ποταμού Παμίσου και όχι στην παλαιά κοίτη που μέχρι σήμερα διοχετεύονται, με αποτέλεσμα το έτος 2016 να δημιουργήσουν πλημμυρικά φαινόμενα και να προκαλέσουν διακοπή στην κυκλοφορία του αυτοκινητοδρόμου.

³⁶ https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=101&Itemid=736

- Κοινότητα Πηδήματος Δήμου Καλαμάτας: τα ρέματα που διατρέχουν τον οικισμό χρειάζονται διευθέτηση.
- Κοινότητα Θουρίας Δήμου Καλαμάτας: το ρέμα Αγίων Θεοδώρων χρειάζεται διευθέτηση.



Σχ. 40. Αναπαραγωγή της Εικόνας 6.3 από το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας³⁶ που παρουσιάζει τον χάρτη αξιολόγησης επιπτώσεων πλημμύρας στην πεδινή περιοχή των ρεμάτων Καλαμάτας – Μεσσήνης.

6.2 Αστική ανάπτυξη

Όλες οι λύσεις που συζητούνται στο κεφάλαιο 5 είναι χρήσιμο να συνδυαστούν με αστική ανάπτυξη. Ειδικότερα, για τις Λύσεις 1 και 3 που συνεπάγονται σημαντικές αλλαγές σε σχέση με τις υφιστάμενες συνθήκες, η αστική ανάπτυξη είναι απαραίτητη προϋπόθεση, προκειμένου να αντιμετωπιστούν προβλήματα που δημιουργούνται από τις αλλαγές. Ως παράδειγμα, η κοπή των δένδρων στη Λύση 1 θα μπορούσε να αντικατασταθεί με μεταφύτευσή τους σε άλλο χώρο στο πλαίσιο ανάπτυξης.

Βεβαίως το ζήτημα της ανάπτυξης δεν αποτελεί αντικείμενο αυτής της έκθεσης, αλλά είναι χρήσιμο να επισημανθεί ότι το στοιχείο του νερού θα μπορούσε να αξιοποιηθεί σε σημαντικό βαθμό στο πλαίσιο της ανάπτυξης. Βεβαίως είναι αρνητικό το γεγονός ότι ο Νέδοντας ξηραίνεται το καλοκαίρι στην Καλαμάτα, αλλά εφόσον στα ανάντη η ροή του είναι διηλεκτής, υπάρχει η δυνατότητα τεχνητού εμπλουτισμού της ροής του ώστε να μην ξηραίνεται.

7 Τελικά συμπεράσματα

1. Η πόλη της Καλαμάτας διαρρέεται από τον Νέδοντα, έναν χείμαρρο που εμφανίζει έντονα πλημμυρικά φαινόμενα, και εντάσσεται σε μια περιοχή που αποτελεί ευρύτερο πλημμυρικό πεδίο διαρρεόμενο από 12 υδατορεύματα, σημαντικότερα απ' τα οποία είναι οι ποταμοί Πάμισος και Άρις.
2. Τα πλημμυρικά φαινόμενα ήταν συχνά και καταστροφικά στην Καλαμάτα προ εκατονταετίας. Ωστόσο, η περιοχή είναι η πρώτη στην νεότερη Ελλάδα όπου μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν αντιπλημμυρικά έργα, ξεκινώντας από πυκνά έργα ορεινής υδρονομίας. Ως αποτέλεσμα των έργων, τις τελευταίες δεκαετίες οι καταστροφές περιορίστηκαν σημαντικά.
3. Τον Σεπτέμβριο του 2016 σημειώθηκε ένα εξαιρετικά σπάνιο επεισόδιο καταιγίδας, περιόδου επαναφοράς 100ετίας ή και περισσότερο. Η επακολουθήσασα πλημμύρα μπορεί να χαρακτηριστεί μεταφορικά ως «δοκιμασία πρόσκρουσης» (crash test), στην οποία τα αντιπλημμυρικά έργα ανταποκρίθηκαν θετικά. Η παροχή του Νέδοντα στην Καλαμάτα ήταν της τάξης των 200 m³/s και παροχετεύτηκε σε όλα τα επιμέρους τμήματα χωρίς υπερχειλίση ή αστοχία. Η παροχή αυτής της τάξης μεγέθους είναι σημαντικά μεγαλύτερη των εκτιμήσεων που είχαν γίνει για το κρίσιμο τμήμα της διευθέτησης (αυτό με τα υποστυλώματα), πράγμα που σημαίνει πως η παροχετευτικότητα είχε υπεκτιμηθεί σημαντικά.
4. Το γεγονός ότι για πάνω από 40 χρόνια δεν υπήρξε αστοχία των έργων, σε συνδυασμό με την παροχέτευση χωρίς αστοχία του παραπάνω εξαιρετικά σπάνιου πλημμυρικού επεισοδίου, θα μπορούσε κατ' αρχήν να κάνει αποδεκτή τη «μηδενική λύση» (Λύση 0), στην οποία δεν γίνονται μεταβολές στην υπάρχουσα διευθέτηση.
5. Ωστόσο, η εξεταζόμενη μελέτη αναδιευθέτησης (Λύση 1), σε σχέση με την μηδενική λύση, προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερο επίπεδο προστασίας για την Καλαμάτα, για παροχετευτικότητα ~460 m³/s που επιτυγχάνεται με συνολική εκβάθυνση της κοίτης, τοπική διαπλάτυνσή της και καθαίρεση και ανακατασκευή του κρίσιμου καλυμμένου τμήματος. Όμως, τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά έχουν προβληματίσει την τοπική κοινωνία.
6. Η αύξηση του επιπέδου ασφάλειας που προσφέρει η εν λόγω μελέτη είναι θετική για την πόλη και την κοινωνία και δεν θα πρέπει να αμφισβητηθεί. Παράλληλα δεν θα πρέπει να λησμονούμε ότι τεχνικώς υπάρχουν πάντα εναλλακτικές λύσεις για να επιτευχθεί ο ίδιος στόχος.
7. Είναι τεχνικώς δυνατή η αύξηση της παροχετευτικότητας του Νέδοντα στην Καλαμάτα στο επίπεδο των 300 m³/s τουλάχιστον, χωρίς να απαιτηθεί διαπλάτυνση της κοίτης και καθαίρεση του κρίσιμου τμήματος (Λύση 2). Αυτή η

αύξηση της παροχετευτικότητας θα επιτευχθεί με εκβάθυνση της κοίτης, στο σύνολο της διατομής ή σε μέρος της. Η ακριβής εκτίμηση της παροχετευτικότητας στη σύνθετη διατομή που δημιουργείται στην τελευταία περίπτωση προϋποθέτει εργαστηριακές μετρήσεις σε φυσικό μοντέλο υπό κλίμακα.

8. Στην περίπτωση που επιλεγεί η περιορισμένη αύξηση της παροχετευτικότητας (Λύση 2), προκειμένου να επιτευχθεί το ίδιο επίπεδο ασφάλειας όπως στη Λύση 1, θα πρέπει να γίνουν έργα στην ανάντη λεκάνη. Αυτά περιλαμβάνουν (α) συντήρηση και επέκταση των υπαρχόντων έργων ορεινής υδρονομίας, (β) κατασκευή εσχάρας συγκράτησης κορμών δένδρων ανάντη της ήδη διευθετημένης κοίτης και πλησίον της γέφυρας της περιμετρικής οδού, (γ) κατασκευή φράγματος ανάσχεσης – εμπλουτισμού υδροφορέων στην κεντρική ορεινή κοίτη, και (δ) κατασκευή φράγματος αποθήκευσης στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Τα έργα αυτά θα δημιουργήσουν επιπρόσθετα οφέλη, προσφέροντας επιπλέον υδατικούς πόρους. Στον ίδιο στόχο μπορεί να συμβάλει ο ανασχεδιασμός των χαράξεων των ρεμάτων που συμβάλλουν στον Νέδοντα.
9. Μια ακόμη επιλογή που οφείλουμε να συμπεριλάβουμε στο φάσμα των εφικτών τεχνικών λύσεων είναι η επαναφυσικοποίηση της κοίτης με καθαίρεση όλων των τμημάτων που περιλαμβάνουν κάλυψη της κοίτης. Η λύση αυτή είναι η ευνοϊκότερη από πλευράς υδραυλικής, στατικής και οικονομικής.
10. Όποια λύση επιλεγεί θα πρέπει να συνδυαστεί με κατάλληλα μελετημένα έργα αστικής ανάπλασης και περιβαλλοντικής αναβάθμισης.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Anagnostopoulos, G.G., Koutsoyiannis, D., Christofides, A., Efstratiadis, A., and Mamassis, N., 2010. A comparison of local and aggregated climate model outputs with observed data. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (7), 1094–1110, doi: 10.1080/02626667.2010.513518.
- Efstratiadis, A., Koussis, A.D., Koutsoyiannis, D., and Mamassis, N., 2014. Flood design recipes vs. reality: can predictions for ungauged basins be trusted?, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1417–1428, doi:10.5194/nhess-14-1417-2014.
- European Commission, 2007. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, *Official Journal of the European Communities*, L 288, 6.11.2007, p. 27.
- Μίχας, Σ., Λαζαρίδης, Λ., Δανιήλ, Α., Λαζαρίδου, Π., Μπουκλής, Γ., Τσιάλας, Θ., Παπαγιάννης, Ν., Λυμπέρης, Γ., Γλαβάς, Α., Φραγκοπούλου, Ε., Λαζαρίδου, Σ., Γκατζογιάννη, Ε., Ζερβού, Α., Χούλη, Ε., Οικονομίδης, Δ., Τριανταφυλλόπουλος, Π., Μπάνου, Σ., Τριανταφυλλοπούλου, Ε., Αλεξοπούλου, Β., Σιταρά, Α., Παϊδούση, Μ., Δρακοπούλου, Ε., Λιονής, Μ., Μπηλιώνης, Σ., Λιονή, Α., Βακάκης, Φ., Κοτσόβουλος, Κ., Κοτζαμπόπουλος, Α., Βακιρτζίδης, Ν., και Κιτσιδής, Α., 2017. 1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείριση Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου. Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα, http://wfdver.vpeka.gr/wp-content/uploads/2017/12/EL01_SDLAP_APPROVED.pdf.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021. Ανακοίνωση της Επιτροπής, Εκτίμηση σχεδίων και έργων σε σχέση με τόπους Natura 2000 — Μεθοδολογική καθοδήγηση σχετικά με το άρθρο 6 παράγραφοι 3 και 4 της οδηγίας 92/43/ΕΟΚ για τους οικοτόπους. https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/pdf/methodological-guidance_2021-10/EL.pdf
- Koutsoyiannis, D., 2020. A voyage in climate, hydrology and life on a 4.5-billion-years old planet. Self-organized lecture. School of Civil Engineering – National Technical University of Athens, Athens, 20 July 2020. doi: 10.13140/RG.2.2.27000.26883.
- Koutsoyiannis, D., 2021. *Stochastics of Hydroclimatic Extremes – A Cool Look at Risk*. ISBN: 978-618-85370-0-2, Kallipos, doi: 10.57713/kallipos-1, <https://www.itia.ntua.gr/2000/>.
- Koutsoyiannis, D., Efstratiadis, A., Mamassis, N., and Christofides, A., 2008. On the credibility of climate predictions. *Hydrological Sciences Journal*, 53 (4), 671–684, doi: 10.1623/hysj.53.4.671.
- Koutsoyiannis, D., and Montanari, A., 2022. Climate extrapolations in hydrology: The expanded Bluecat methodology. *Hydrology*, 9, 86, doi: 10.3390/hydrology9050086.
- Kron, W., Eichner, J. and Kundzewicz, Z.W., 2019. Reduction of flood risk in Europe–Reflections from a reinsurance perspective. *Journal of Hydrology*, 576, 197-209.
- Savvidou, E., Efstratiadis, A., Koussis, A.D., Koukouvinos, A., and Skarlatos, D., 2018. The Curve Number Concept as a Driver for Delineating Hydrological Response Units. *Water*, 10, 194, doi: 10.3390/w10020194.
- Tsaknias, D., Bouziotas, D., and Koutsoyiannis, D., 2016. Statistical comparison of observed temperature and rainfall extremes with climate model outputs in the Mediterranean region, *ResearchGate*, doi: 10.13140/RG.2.2.11993.93281.
- Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., et al., 2021. Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), e415-e425.
- Αγγελόπουλος, Π., 2015. *Ειδική Μελέτη Φυτοτεχνικών - Αναδασωτικών εργασιών για την Αντιδιαβρωτική Προστασία της Ορεινής Λεκάνης Απορροής του Χειμάρρου Νέδοντα Ν. Μεσσηνίας*. Διεύθυνση Δασών Μεσσηνίας, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Πελοποννήσου - Δυτικής Ελλάδας & Ιονίου, Καλαμάτα.
- Αντωνόπουλος Δ. Μ., 2021. *Τεχνική Έκθεση για την Προτεινομένη Μελέτη του Υδραυλικού Έργου, Κατασκευής Ταμιευτήρα Εμπλουτισμού – Άρδευσης – Υδρευσης Τ. Κ. Αρτεμισίας, Δ. Ε. Καλαμάτας, Δήμου Καλαμάτας*. Δήμος Καλαμάτας, Καλαμάτα.

- Γιαννακέας, Π., 2022. *Ερωτήματα και σχόλια σχετικά με την ΜΠΕ για την “αντιμετώπιση προβλημάτων από τα πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή ανάντη και κατόντη της Περιμετρικής οδού Καλαμάτας”*. Υπόμνημα προς τον Περιφερειάρχη Πελοποννήσου Π. Νίκα, Καλαμάτα.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012. Προδιαγραφές μελετών. *Σχέδια Διαχείρισης Κίνδυνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της Χώρας*, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα, http://floods.ypeka.gr/egyFloods/reports/SDKP_Prodiagrafes_Meleton.pdf.
- Θεοδώρου, Ε., Λαγουδάκος Γ., Κασούνης, Ι., Αργυροπούλου, Α., Χαβδούλας, Κ., Ρουχωτάς, Γ., Κακωνάς, Α., Κατραμή, Β., Ζαλαχώρη, Ι., Μαλαματάρης, Δ., Αλμπαντάκης, Ν., Μπουρούνης, Χ., Κούσια, Ε., Τονιόλος, Π., Τσιλιμαντός, Ε., Μαράβας, Η., Κόκκινος, Ι., Μουντανέας, Α., Περδίου, Α., Σιαπαρίνας, Κ., Χατζιόπουλος, Ε., Χριστοπούλου, Α., Αγγελίδης, Ι., Σκούρας, Π., Θωμάς, Δ., Καραγιλάνης, Σ., Παπαγεωργίου, Γ., Τσιτούρα, Π., Ζαγαλίκης, Γ., Κίγκας, Ν., Χατζηπαρασκευάς, Κ., Αραχωβίτης, Σ., Αγγελίδη, Β., Καϊμάκη, Π.Σ., Ραδαίος, Α., Νικολάου, Κ., Παπαποστόλου, Κ. Παναγάκης, Γ., Τσαντίλα, Σ., Ματίσεν, Ρ., και Γκουβάτσου, Ε., 2018. *Χάρτες Επικινδυνότητας Πλημμύρας – Τεχνική Έκθεση, Κατάρτιση Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου*, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα https://floods.ypeka.gr/egyFloods/gr01/Reports/EL01_P05-T1.pdf.
- Λαγουδά, Α., Σπανός, Γ., Σωτηρόπουλος, Α., Καραβά, Λ., Μπαραφάκα, Σ., Αργυροπούλου, Δ., και Καϊμάκη, Σ., 2021. *Τεχνική Έκθεση. Αντιμετώπιση Προβλημάτων από Πλημμυρικά Φαινόμενα στην Περιοχή Ανάντη και Κατόντη της Περιμετρικής Οδού Καλαμάτας – Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την Τροποποίηση των Αποφάσεων Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων του Τμήματος «Τσακώνα – Καλαμάτα» του Αυτοκινητοδρόμου «Κόρινθος – Τρίπολη – Καλαμάτα & Κλάδος Λεύκτρο – Σπάρτη»*, Terra Nova, Αθήνα.
- Λαζαρίδης, Α. & ΣΙΑ – Υδροεξυγιαντική και Σύστας, 2021. *Υδρολογική Μελέτη π. Νέδοντα. Έργα Αποκατάστασης Μειωμένης Παροχετευτικότητας Αποδεκτών Ομβρίων Εκτός Ορίων Παραχώρησης στο Τμήμα «Κόρινθος – Τρίπολη – Καλαμάτα», Περιοχή Ανάντη και Κατόντη της Περιμετρικής Οδού Καλαμάτας*, Αθήνα.
- Λημναίου, Ρ., Πέππας, Α., και Συμυρής, Τ., 2010. *Τεχνική Έκθεση. Επείγοντα Αντιπλημμυρικά Έργα στον Ποταμό Νέδοντα Μεσσηνίας. Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Καλαμάτας*, Καλαμάτα.
- Μαμάσης, Ν., 2019. *Πραγματογνωμοσύνη για τις Πλημμύρες της Μεσσηνίας στις 6 και 7 Σεπτεμβρίου 2016*. Πταισματοδικείο Αθηνών, Αθήνα.
- Μαρκαντώνης, Δ., Μωραΐτη Κ. Νικολινάκου και Μ., Σιγανού Α., 2022. *Υδροδότηση Δήμου Δυτικής Μάνης – Τεχνική Έκθεση*. Σπουδαστική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μαυριάς, Κ.Γ. και Παντελής, Α.Μ., 1990. *Συνταγματικά Κείμενα, Ελληνικά και Ξένα*. Σάκκουλας, Αθήνα.
- Νικολαΐδου, Μ., και Χατζηχρίστου, Ε., 1995. *Καταγραφή και Αποτίμηση των Καταστροφών από Πλημμύρες στην Ελλάδα και την Κύπρο*. Διπλωματική εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, <http://www.itia.ntua.gr/445/>.
- Σαμιώτη, Ν., και Τσιλίδη, Α., 2020. *Συρραφές Αποσπασμάτων: Συνθέτοντας Χωρικά Αφηγήματα κατά Μήκος του Ποταμού Νέδοντα*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.18804>.