



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΘΕΜΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

**Σχεδιασμός έργων και μέτρων αντιπλημμυρικής  
προστασίας Καλαμάτας**

Η διερεύνηση αφορά στον κλάδο του Νέδοντα που διέρχεται από τον αστικό ιστό της Καλαμάτας, όπου το ποτάμι είναι διευθετημένο.

Διδάσκοντες:

Α. Ευστρατιάδης, Επίκουρος Καθηγητής

Ν. Μαμάσης, Καθηγητής

Π. Δήμας, Υποψήφιος Διδάκτωρ

Γ. Μωραΐτης, Υποψήφιος Διδάκτωρ

Εκπόνηση:

Αρβανιτίδης Ηλίας

Γιαννούτσος Ανδρέας

Κουτσοκέρας Επαμεινώνδας

cn17402

cn18408

cn18076

Αθήνα, Μάρτιος 2023



# Περιεχόμενα

Πίνακας σχημάτων .....	iii
Πίνακας πινάκων .....	iv
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο εργασίας.....	1
1.2 Διάρθρωση εργασίας .....	1
2 Πληροφορίες περιοχής μελέτης .....	1
2.1 Γεωγραφική θέση .....	1
2.2 Ιστορικά στοιχεία .....	1
2.3 Ο ποταμός Νέδων .....	2
2.4 Λεκάνες περιοχής μελέτης .....	3
3 Παλαιές μελέτες.....	6
4 Προτεινόμενες λύσεις .....	11
5 Υδρολογική μελέτη.....	12
5.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.....	12
5.2 Γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά .....	13
5.2.1 Γεωλογική δομή .....	13
5.2.2 Υδρολιθολογική κατάταξη .....	14
5.3 Χρήσεις γης .....	16
5.4 Απώλειες – Ωφέλιμη βροχή.....	17
5.5 Χρόνος συγκέντρωσης .....	20
5.5.1 Γενικά - Ορισμοί .....	20
5.5.2 Υπολογισμός κατά Giandotti .....	21
5.6 Εκτίμηση βροχοπτώσεων σχεδιασμού .....	22
5.6.1 Όμβριες καμπύλες.....	22
5.6.2 Επιφανειακή αναγωγή.....	25
5.6.3 Διάρκεια καταγίδας – Βήμα υπολογισμών .....	26
5.6.4 Χρονική κατανομή συνολικού ύψους βροχής.....	27
5.7 Σενάρια .....	28
5.7.1 Υφιστάμενη κατάσταση .....	28
5.7.2 Φράγμα.....	28
5.8 Προσομοίωση στο HEC-HMS .....	32
5.9 Αποτελέσματα υδρολογικής ανάλυσης .....	37
6 Υδραυλική μελέτη .....	43

6.1	Εισαγωγή .....	43
6.2	Υδραυλικό μοντέλο HEC-RAS .....	46
6.3	Υδραυλική προσομοίωση υφιστάμενης κατάστασης.....	51
6.4	Υδραυλική προσομοίωση υφιστάμενης κατάστασης με κατασκευή φράγματος.....	51
6.5	Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα .....	52
6.6	Απαλλοτρίωση γαιών .....	60
	Βιβλιογραφία.....	61
	Παράρτημα Α .....	62
	Παράρτημα Β .....	64

## Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1. 3D απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου .....	1
Σχήμα 2. ΖΔΥΚΠ ΥΔ 1 «ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ» .....	1
Σχήμα 3. Περιοχές NATURA2000 .....	2
Σχήμα 4. Υδρογραφικό δίκτυο .....	3
Σχήμα 5. Χάραξη λεκανών (Δευκαλίων) .....	4
Σχήμα 6. Προτεινόμενη χάραξη λεκανών .....	4
Σχήμα 7. Λεκάνες απορροής .....	5
Σχήμα 8. Γέφυρα Σπάρτης .....	6
Σχήμα 9. Γέφυρα Ευαγγελίστριας .....	7
Σχήμα 10. Γέφυρα ΟΣΕ .....	8
Σχήμα 11. Συμβολή Καραμπογιά με Νέδοντα .....	8
Σχήμα 12. Νέδων ανάντη της Περιμετρικής Οδού .....	9
Σχήμα 13. Κλειστό υφιστάμενο τμήμα .....	9
Σχήμα 14. Χάρτης κλίσεων εδάφους .....	12
Σχήμα 15. Χάρτης λιθολογίας .....	14
Σχήμα 16. Χάρτης υδρολιθολογικής κατάταξης .....	15
Σχήμα 17. Χρήσεις γης CORINE 2018 .....	16
Σχήμα 18. Αριθμοί CN <sub>0.20</sub> (II) (Εκτίμηση αριθμού καμπύλης απορροής CN με την μεθοδολογία SCS – ΕΓΥ) .....	18
Σχήμα 19. Αρχικές τιμές υδρολογικής κατάστασης (Εκτίμηση αριθμού καμπύλης απορροής CN με την μεθοδολογία SCS – ΕΓΥ) .....	18
Σχήμα 20. Πλησιέστεροι σταθμοί .....	23
Σχήμα 21. Μέθοδος αντιστρόφων αποστάσεων IDW (λ') .....	24
Σχήμα 22. Όμβριες καμπύλες για περίοδο επαναφοράς T=50 έτη .....	24
Σχήμα 23. Όμβριες καμπύλες για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη .....	25
Σχήμα 24. Συντελεστής επιφανειακής αναγωγής γενικευμένης όμβριας όλης της λεκάνης ...	26
Σχήμα 25. Καθαρό υετογράφημα σχεδιασμού (T=50 έτη) .....	27
Σχήμα 26. Καθαρό υετογράφημα σχεδιασμού (T=100 έτη) .....	27
Σχήμα 27. Θέση φράγματος .....	28
Σχήμα 28. Καμπύλη στάθμης-όγκου .....	29
Σχήμα 29. Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας .....	30
Σχήμα 30. Νεκρός όγκος .....	30
Σχήμα 31. Οριζοντιογραφία φράγματος .....	31
Σχήμα 32. Διατομή φράγματος .....	31
Σχήμα 33. Μηκοτομή φράγματος .....	31
Σχήμα 34. Δεδομένα εισόδου (Components) στο HEC-HMS (αριστερά χωρίς φράγμα, δεξιά με φράγμα) .....	32
Σχήμα 35. Δεδομένα εισόδου των λεκανών στο HEC-HMS .....	33
Σχήμα 36. Ορισμός λεκανών, κόμβων, συνδέσμων και ταμιευτήρα (δεξιά) στο HEC-HMS .	33
Σχήμα 37. Δεδομένα εισόδου του φράγματος στο HEC-HMS .....	34
Σχήμα 38. Αποτύπωση του υδρολογικού δικτύου λεκανών χωρίς φράγμα στο HEC-HMS ...	35
Σχήμα 39. Αποτύπωση του υδρολογικού δικτύου λεκανών χωρίς φράγμα στο HEC-HMS (στην έξοδο) .....	35
Σχήμα 40. Αποτύπωση του υδρολογικού δικτύου λεκανών με φράγμα στο HEC-HMS .....	36

Σχήμα 41. Αποτύπωση του υδρολογικού δικτύου λεκανών με φράγμα στο HEC-HMS (στην έξοδο) .....	36
Σχήμα 42. Δεδομένα εισόδου των Reaches .....	37
Σχήμα 43. Παροχή στην είσοδο της διευθέτησης με αρχικά πλήρη ταμιευτήρα (T=50) .....	39
Σχήμα 44. Παροχή στην είσοδο της διευθέτησης με αρχικά μέσο ταμιευτήρα (T=50) .....	39
Σχήμα 45. Παροχή στην είσοδο της διευθέτησης με αρχικά άδειο ταμιευτήρα (T=50).....	40
Σχήμα 46. Παροχή στην είσοδο της διευθέτησης με υπερχειλιστή 3 m (T=50).....	40
Σχήμα 47. W=πλάτος (m) H=ύψος παρειάς (m).....	44
Σχήμα 48. Υψόμετρα πυθμένα .....	44
Σχήμα 49. Μονοδιάστατη Εξίσωση Ενέργειας (HEC-RAS 6.0 Reference Manual).....	46
Σχήμα 50. Συνήθεις τιμές συντελεστών Manning για τεχνητά κανάλια από σκυρόδεμα.....	47
Σχήμα 51. Οριζοντιογραφία HEC-RAS .....	48
Σχήμα 52. Γέφυρες Οδού Ευαγγελιστρίας και Λυκούργου στο περιβάλλον HEC - RAS.....	49
Σχήμα 53. Μηκοτομή καλυμμένου τμήματος.....	50
Σχήμα 54. Μοντελοποιημένο τμήμα Δ (καλυμμένο με υποστυλώματα) στο περιβάλλον HEC-RAS .....	50
Σχήμα 55. Μηκοτομή υφιστάμενης κατάστασης .....	51
Σχήμα 56. Μηκοτομή υφιστάμενης κατάστασης με φράγμα ανάντη (άδειος ταμιευτήρας) ...	52
Σχήμα 57. Μηκοτομή υφιστάμενης κατάστασης με φράγμα ανάντη (μισός ταμιευτήρας).....	52
Σχήμα 58. Μηκοτομή με εκβάθυνση και φράγμα.....	53
Σχήμα 59. Διαπλάτυνση και ταυτόχρονη απομείωση της εκβάθυνσης .....	54
Σχήμα 60. Απομείωση της εκβάθυνσης στην εκβολή.....	54
Σχήμα 61. Προτεινόμενη διατομή στο καλυμμένο τμήμα .....	55
Σχήμα 62. Προτεινόμενη διατομή X.Θ. 683.40 (αρχή διαπλάτυνσης + αρχή απομείωσης της εκβάθυνσης) .....	55
Σχήμα 63. Προτεινόμενη διατομή X.Θ. 0.00 (εκβολή).....	55
Σχήμα 64. Προτεινόμενη διατομή X.Θ. 584.36 (τέλος διαπλάτυνσης) .....	55
Σχήμα 65. Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα μέση με 0 οπές (T=50) .....	56
Σχήμα 66. Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα άδειο με 0 οπές (T=50) .....	56
Σχήμα 67. Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα άδειο με 0 οπές (T=100) .....	57
Σχήμα 68. Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα άδειο με 3 οπές (T=100) .....	57
Σχήμα 69. Οριζοντιογραφία στην εκβολή (με πράσινο η δευτερεύουσα κοίτη και με άσπρο η διαπλάτυνση).....	58
Σχήμα 70. Τμήμα της οριζοντιογραφίας με τη ζώνη προσαρμογής.....	58
Σχήμα 71. Διαπλάτυνση αγωγού (Π. Ν. Παπανικολάου) .....	59
Σχήμα 72. Υδραυλικά άλματα (Γέφυρα Ευαγγελιστρίας αριστερά και Γέφυρα Λυκούργου δεξιά).....	59
Σχήμα 73. XΘ 140-500: Χρήσεις γης και οριζοντιογραφία της διαπλάτυνσης (σκιαγραμμισμένη).....	60

## Πίνακας πινάκων

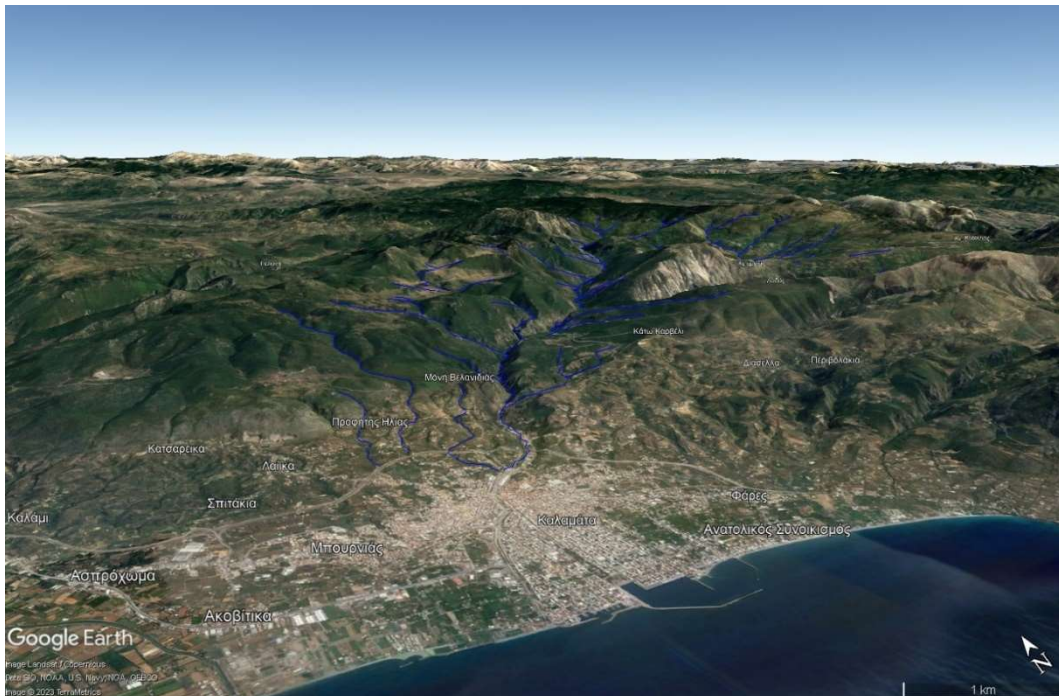
Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά λεκανών.....	5
Πίνακας 2. Αποτελέσματα ΣΔΚΠ.....	6
Πίνακας 3. Παροχές ΥΠΕΧΩΔΕ .....	7
Πίνακας 4. Συγκεντρωτικός πίνακας προηγούμενων μελετών .....	10

Πίνακας 5. Διηθητικότητα στη λεκάνη του Νέδοντα .....	15
Πίνακας 6. Χρήσεις γης CORINE 2018.....	16
Πίνακας 7. CN, S και Ia λεκανών .....	20
Πίνακας 8. Χρόνοι συγκέντρωσης και υστέρησης.....	22
Πίνακας 9. Συντεταγμένες και παράμετροι των πλησιέστερων σταθμών .....	22
Πίνακας 10. Παράμετροι γενικευμένης όμβριας όλης της λεκάνης .....	24
Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά ταμιευτήρα ανά στάθμη .....	29
Πίνακας 12. Σενάρια φράγματος.....	32
Πίνακας 13. Αιχμή παροχής στην είσοδο της διευθέτησης για κάθε σενάριο φράγματος (T=50 έτη) .....	38
Πίνακας 14. Αιχμή παροχής στην είσοδο της διευθέτησης για σενάρια φράγματος (T=100 έτη) .....	41
Πίνακας 15. Γεωμετρικά δεδομένα εισόδου HEC-RAS .....	48
Πίνακας 16. Γεωμετρικά δεδομένα εισόδου γεφυρών .....	49
Πίνακας 17. Υετογράφημα σχεδιασμού (T=50 έτη).....	64
Πίνακας 18. Υετογράφημα σχεδιασμού (T=100 έτη).....	65

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο εργασίας

Η εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος «Ολοκληρωμένο Θέμα Υδραυλικού Σχεδιασμού» του 9<sup>ου</sup> εξαμήνου της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. Αντικείμενο της εργασίας είναι ο σχεδιασμός έργων και μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας της Καλαμάτας. Συγκεκριμένα, η διερεύνηση αφορά στον κλάδο του Νέδοντα που διέρχεται από τον αστικό ιστό της Καλαμάτας, όπου το ποτάμι είναι διευθετημένο. Η μελέτη αφορά τόσο την υδρολογία των ανάντη λεκανών που καταλήγουν στο ήδη υπάρχον διευθετημένο τμήμα, όσο και την υδραυλική συμπεριφορά της ίδιας της διευθετημένης κοίτης. Σκοπός είναι, μέσω πλήθους σεναρίων, να επιλεγεί το βέλτιστο που θα εξασφαλίζει την ασφαλή παροχευτικότητα στην διευθετημένη κοίτη, σύμφωνα με τους προβλεπόμενους κανονισμούς.



Σχήμα 1. 3D απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου

## 1.2 Διάρθρωση εργασίας

Αρχικά πραγματοποιείται η υδρολογική μελέτη των λεκανών που καταλήγουν στην διευθετημένη κοίτη στην Καλαμάτα. Για την υδρολογική μελέτη είναι απαραίτητα τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των λεκανών, καθώς και οι χρήσεις γης. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται από βάσεις δεδομένων ή προκύπτουν από επεξεργασία σε περιβάλλον GIS. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το ArcGIS. Για την βροχή σχεδιασμού ακολουθούνται οι οδηγίες και οι μεθοδολογίες που προτείνονται στο Διαχειριστικό Πρόγραμμα του Υδατικού Διαμερίσματος στο οποίο ανήκουν οι λεκάνες μελέτης. Η υδρολογική προσομοίωση πραγματοποιείται με το λογισμικό HEC-HMS. Εκτελούνται διαφορετικά σενάρια, αναλόγως την περίοδο επαναφοράς και τα χαρακτηριστικά του φράγματος (π.χ. αρχική στάθμη ταμιευτήρα).

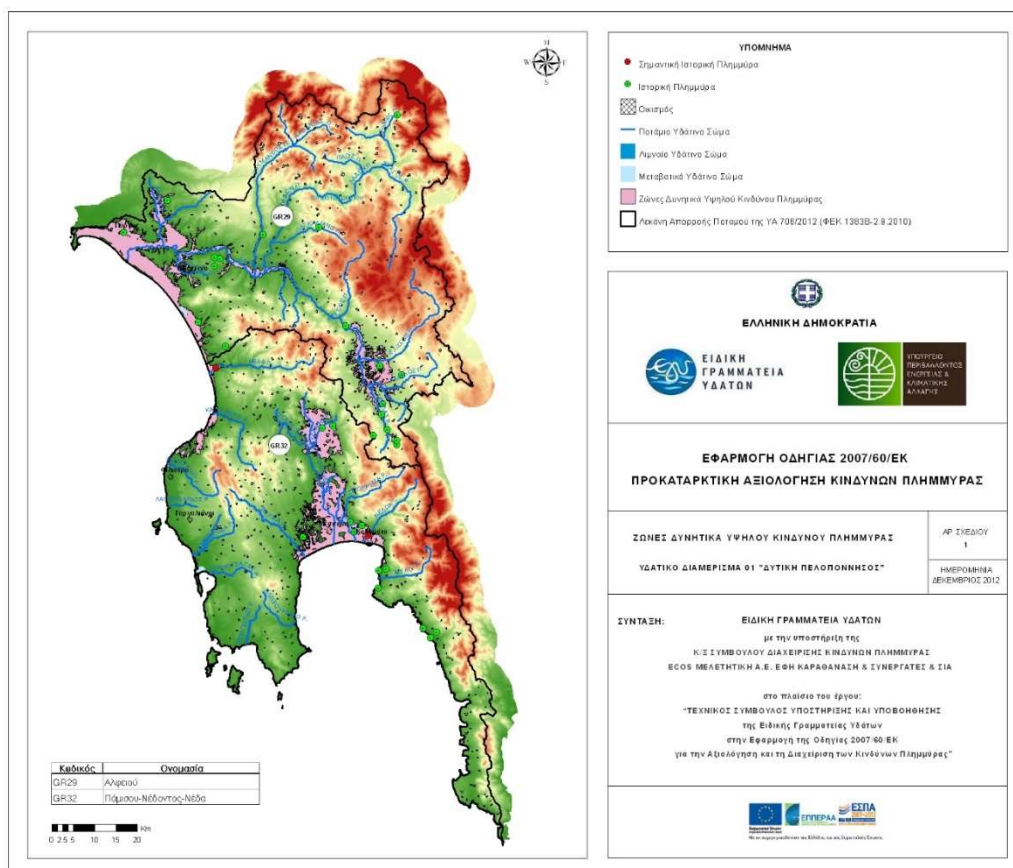


Εφόσον ολοκληρωθεί η υδρολογική μελέτη, έπεται η υδραυλική προσομοίωση της διευθετημένης κοίτης. Η υδραυλική προσομοίωση γίνεται με το λογισμικό HEC-RAS. Η ανάλυση που επιλέγεται είναι μονοδιάστατη και μόνιμης ροής, συνεπώς το απαιτούμενο μέγεθος από την υδρολογική μελέτη είναι η αιχμή του πλημμυρογραφήματος στην έξοδο των λεκανών, δηλαδή στην αρχή της διευθετημένης κοίτης. Για την υδραυλική προσομοίωση είναι απαραίτητη η εισαγωγή της γεωμετρίας. Υδραυλική προσομοίωση πραγματοποιείται τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση, όσο και για τις προτεινόμενες λύσεις με διάφορα σενάρια παροχών. Αποτέλεσμα της υδραυλικής μελέτης είναι η μηκοτομή της διευθετημένης κοίτης του Νέδοντα, όπου διαφαίνεται η ελεύθερη επιφάνεια του νερού.

## 2 Πληροφορίες περιοχής μελέτης

### 2.1 Γεωγραφική θέση

Η Καλαμάτα και η λεκάνη του Νέδοντα ανήκουν διοικητικά στην Περιφέρεια Πελοποννήσου, στην Περιφερειακή Ενότητα της Μεσσηνίας, στον Δήμο Καλαμάτας. Υδρολογικά, η περιοχή μελέτης ανήκει στο 1<sup>ο</sup>, εκ των 14 συνολικά, υδατικό διαμέρισμα «Δυτική Πελοπόννησος». Συνεπώς, πληροφορίες για τα ρέματα και τους ποταμούς της περιοχής, καθώς και στοιχεία για τις πλημμύρες σε αυτήν, αντλούνται από το Διαχειριστικό Πρόγραμμα της ΕΓΥ για το αντίστοιχο υδατικό διαμέρισμα.



Σχήμα 2. ΖΔΥΚΠ ΥΔ 1 «ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ»

### 2.2 Ιστορικά στοιχεία

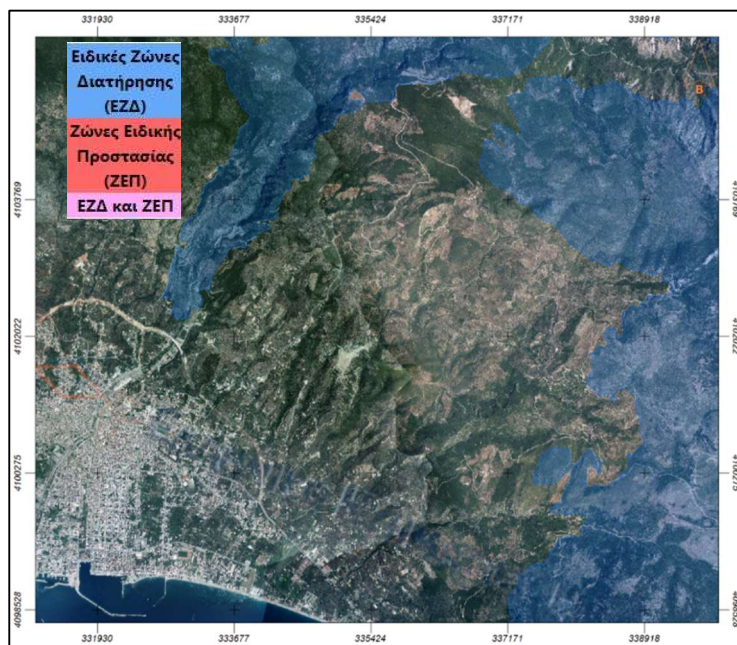
Από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα ξεκίνησε η διερεύνηση μεθόδων και έργων αντιπλημμυρικής προστασίας στην πόλη της Καλαμάτας. Ωστόσο, ο ρυθμός κατασκευής των αντιπλημμυρικών έργων ήταν αργός, και αυτό προκύπτει από τις ιστορικές πλημμύρες τα έτη 1862, 1881, 1903, 1924, 1929. Η κατάσταση διαφοροποιείται από τα τέλη της δεκαετίας του 1920 όπου οι συνέπειες των πλημμυρών περιορίστηκαν, λόγω κατασκευής αντιπλημμυρικών έργων, όχι μόνο στην Καλαμάτα αλλά στο σύνολο της λεκάνης.

Τα έργα που έχουν κατασκευαστεί όλα αυτά τα χρόνια είναι έργα που επηρεάζουν την υδρολογία της λεκάνης αλλά και έργα διευθέτησης της κοίτης του Νέδοντα στην πόλη της Καλαμάτας. Σύμφωνα με τα αρχεία, στη λεκάνη του Νέδοντα, στην κύρια κοίτη του ποταμού

και σε δευτερεύοντες κλάδους έχουν κατασκευαστεί συνολικά 135 λιθόδημητα φράγματα συγκράτησης φερτών υλών (αναβαθμοί) και 558 ξηρολίθινα φράγματα. Τα έργα διευθέτησης της κοίτης εντός της πόλης ξεκίνησαν το 1937 και αφορούσαν αρχικά την εκβάθυνση της κοίτης. Το υφιστάμενο καλυμμένο τμήμα της κοίτης του Νέδοντα έχει συνολικό μήκος 807 m και κατασκευάστηκε τη δεκαετία 1970-1980. Λόγω των ενδιάμεσων υποστρωμάτων, το τμήμα αυτό είναι διαχρονικά πολύ προβληματικό και έχει αποτελέσει το επίκεντρο νεότερων μελετών. Στη μελέτη των Λημναίου κ.ά. (2010), η παροχетеυτικότητα του εν λόγω τμήματος εκτιμάται σε μόλις 75 m<sup>3</sup>/s για την υπάρχουσα κατάσταση.

### 2.3 Ο ποταμός Νέδων

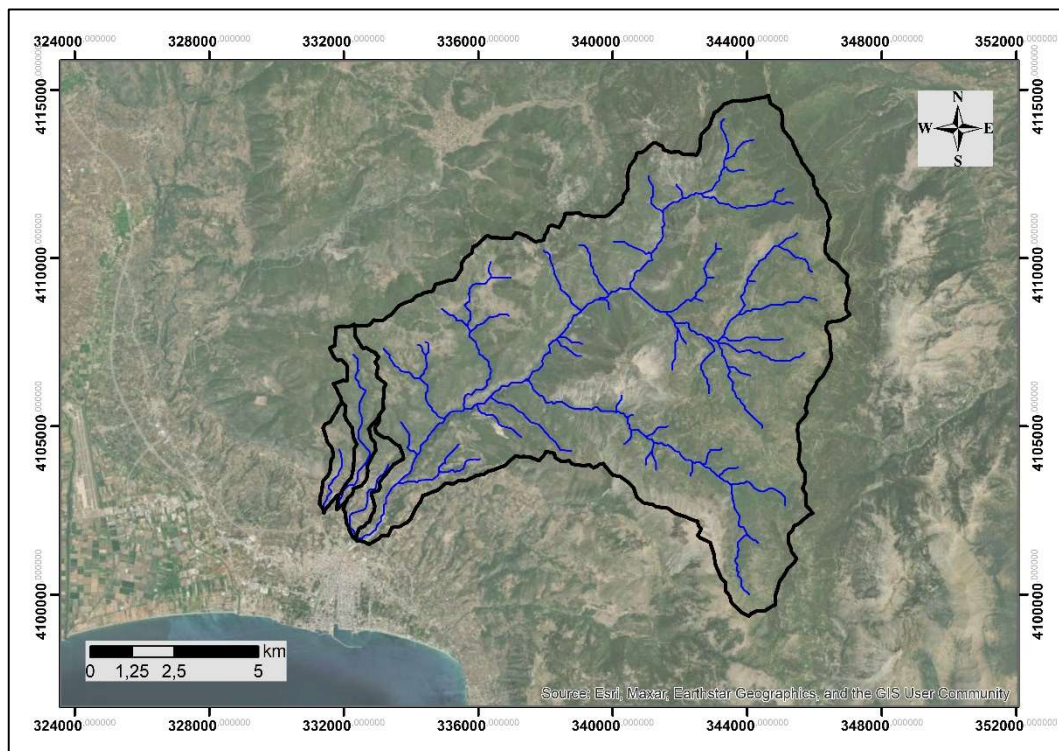
Η λεκάνη του ποταμού Νέδοντα και το σύνολο των εξεταζόμενων αντιπλημμυρικών έργων ανήκουν διοικητικά εντός των ορίων της Δημοτικής Ενότητας Καλαμάτας του Δήμου Καλαμάτας. Ο ποταμός Νέδων είναι από τα σημαντικότερα υδάτινα σώματα του υδατικού διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου. Το μήκος του είναι περίπου 25.16 km και η λεκάνη απορροής του έχει έκταση 124.19 km<sup>2</sup>. Ο ποταμός Νέδων ξεκινά από ορεινή περιοχή βόρεια του Μαχαλά και κινείται νοτιοδυτικά μέσα από δασώδη έκταση. Περνά δυτικά από τους οικισμούς Μαχαλάς και Αλαγονία και στη συνέχεια κατευθύνεται βορειοδυτικά και έπειτα νοτιοδυτικά μέσα από δασώδεις εκτάσεις, ακολουθώντας την εθνική οδό Σπάρτης – Πύλου. Στη συνέχεια εισέρχεται στην ΖΔΥΚΠ, περίπου 1 km πριν συναντήσει τον αυτοκινητόδρομο Τρίπολης – Καλαμάτας στα βόρεια της πόλης. Στην ορεινή κοίτη του έχουν κατασκευαστεί αναβαθμοί συγκράτησης φερτών υλικών. Αφού διασχίσει τον αυτοκινητόδρομο, κινείται νοτιοδυτικά για περίπου 500 m και στη συνέχεια εισέρχεται στο αστικό τμήμα της πόλης της Καλαμάτας με διευθετημένη κοίτη από σκυρόδεμα και αρκετά τεχνικά. Η πορεία του ακολουθεί την εθνική οδό Τρίπολης – Καλαμάτας. Σημειώνεται ότι σε ορισμένα τμήματα η διατομή είναι κλειστή και από πάνω έχουν διαμορφωθεί χώροι στάθμευσης. Η εκβολή του στη θάλασσα γίνεται δίπλα από τη μαρίνα της Καλαμάτας.



Σχήμα 3. Περιοχές NATURA2000

## 2.4 Λεκάνες περιοχής μελέτης

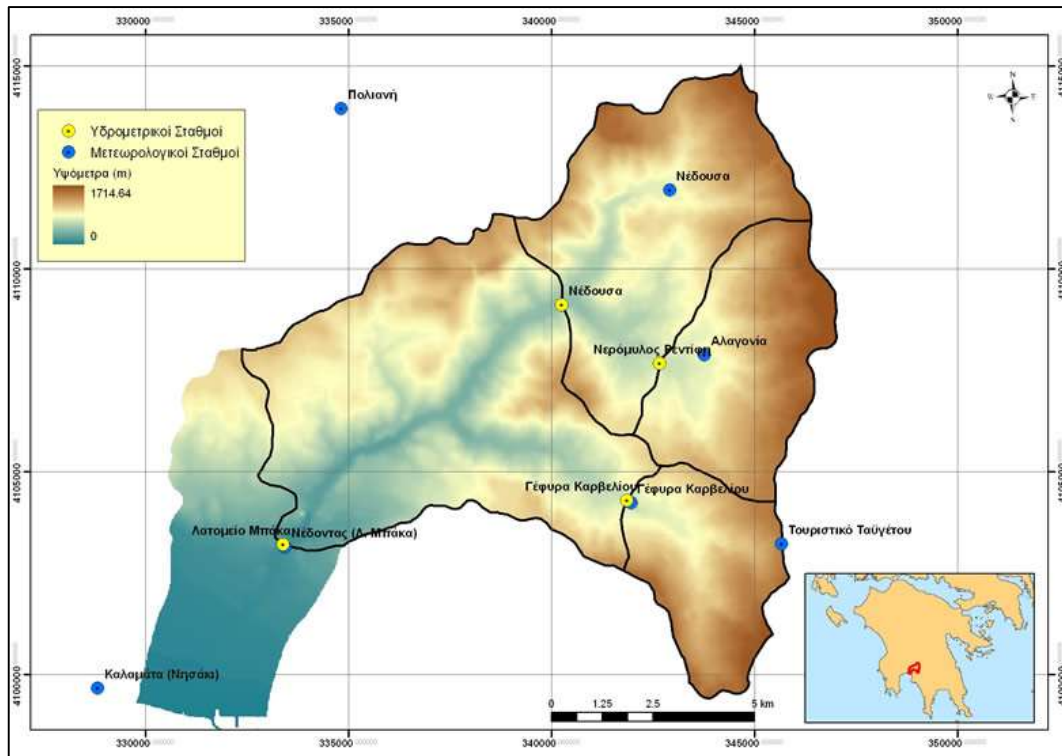
Στην αντιπλημμυρική μελέτη του ποταμού Νέδοντα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η συμβολή του ρέματος Καραμπογιά με τη διευθετημένη κοίτη του Νέδοντα στην πόλη της Καλαμάτας. Στην έξοδο του ρέματος Καραμπογιά διοχετεύεται, μέσω υδραυλικής σήραγγας, η απορροή των ρεμάτων Ελαφογκρέμη και Λαγκάδας. Συνεπώς, στη συμβολή με τον Νέδοντα καταλήγει η απορροή και των τριών ρεμάτων.



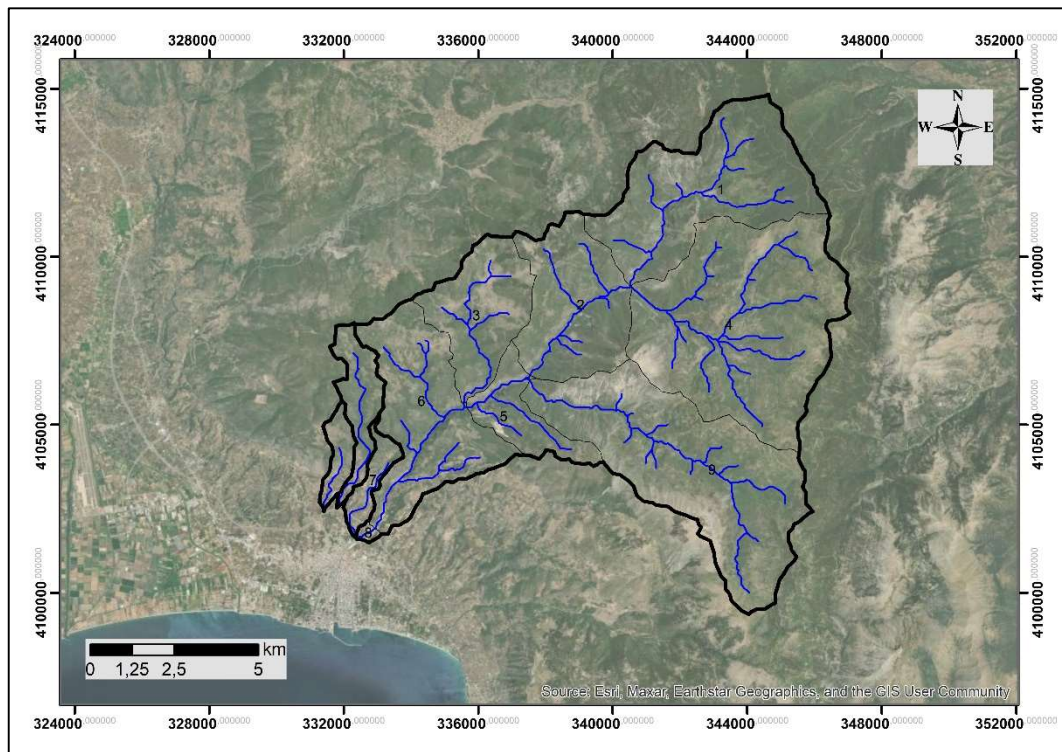
Σχήμα 4. Υδρογραφικό δίκτυο

Η χάραξη των υπολεκάνων στη λεκάνη του Νέδοντα εξαρτάται από τη πυκνότητα που επιλέγεται στο υδρογραφικό δίκτυο. Όσο πιο πυκνό δίκτυο επιλέγεται, τόσο πιο ευδιάκριτοι είναι οι δευτερεύοντες κλάδοι του ποταμού. Οι λεκάνες που τελικά προκύπτουν είναι περισσότερες και λεπτομερέστερες από αυτές που προτείνεται στο πρόγραμμα Δευκαλίων.

Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων

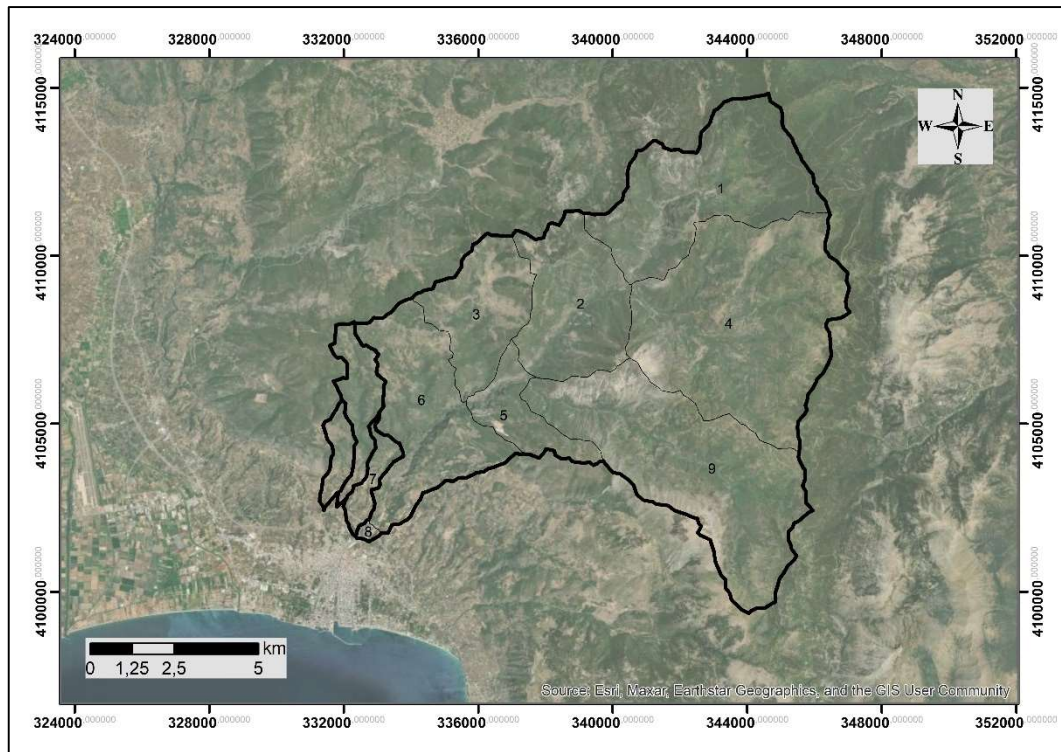


Σχήμα 5. Χάραξη λεκανών (Δευκαλίων)



Σχήμα 6. Προτεινόμενη χάραξη λεκανών

Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων



Σχήμα 7. Λεκάνες απορροής

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά λεκανών

ΛΕΚΑΝΗ	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Απόσταση εξόδου έως υδροκρίτη (km)	H <sub>mean</sub> (m)	H <sub>εξοδος</sub>
1	19.65	8.65	1017.04	390.97
2	12.86	6.96	756.60	256.99
3	9.68	7.05	844.88	249.50
4	31.39	9.91	978.12	393.58
5	5.08	5.16	601.38	190.00
6	15.28	8.87	520.35	33.50
8	0.28	0.96	49.51	32.64
9	27.04	12.87	933.36	260.00
Καραμπογιάς	2.05	4.76	231.06	32.64
Λαγκάδα	4.09	6.93	654.95	83.38
Ελαφογκρέμης	1.86	3.71	329.76	65.06

### 3 Παλαιές μελέτες

Για την αντιπλημμυρική προστασία της Καλαμάτας από τον ποταμό Νέδοντα υφίστανται ήδη μελέτες από τις οποίες προκύπτει η πλημμυρική παροχή. Τέτοιες μελέτες υπάρχουν από το Σχέδιο Διαχείρισης Πλημμυρικού Κινδύνου (ΣΔΚΠ), από τον αυτοκινητόδρομο ΜΟΡΕΑ, από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ), από τον Οργανισμό Σιδηροδρόμων Ελλάδας (ΟΣΕ) και από μελέτη οριοθέτησης του Καραμπογιά.

#### Αποτελέσματα ΣΔΚΠ:

Γίνεται υπολογισμός με υδρογραφήματα, η διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού είναι 12 ώρες, ενώ δίδονται μόνο αποτελέσματα για μέσο σενάριο. Η λεκάνη αντιμετωπίζεται ενιαία, χωρίς διαχωρισμό της σε υπολεκάνες. Προκύπτουν οι παροχές της λεκάνης απορροής για περίοδο επαναφοράς  $T = 50$  και  $100$  έτη.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ΣΔΚΠ

Κωδικός	Περιγραφή	Τύπος	A (km <sup>2</sup> )	CNI	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)
GR321426001	Νέδων Π.	Λ (χωρίς υπολεκάνες)	124.19	61	318.7	430.5

#### Αποτελέσματα ΜΟΡΕΑ:

Γίνεται υπολογισμός με ορθολογική μέθοδο χρησιμοποιώντας την όμβρια καμπύλη της Καλαμάτας (ΣΔΚΠ). Οι υπολογιζόμενοι χρόνοι συρροής (Kirpich χωρίς προσαύξηση) είναι μικροί και δίνουν μεγάλες εντάσεις βροχόπτωσης και μεγάλες παροχές σχεδιασμού.

#### Αποτελέσματα ΥΠΕΧΩΔΕ:

Εφαρμόζεται η ορθολογική μέθοδος με συντελεστή ανομοιομορφίας κατά Fornari και δίνονται παροχές στην εκβολή και στη γέφυρα Σπάρτης.



Σχήμα 8. Γέφυρα Σπάρτης



Σχήμα 9. Γέφυρα Ευαγγελίστριας

Πίνακας 3. Παροχές ΥΠΕΧΩΔΕ

	<b>Q (m<sup>3</sup>/s) T = 50</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s) T = 100</b>
<b>Μελέτη ΥΔΕ (1965) Με βάση την οποία κατασκευάστηκαν τα υφιστάμενα έργα</b>	300	
<b>Μελέτη ΥΠΕΧΩΔΕ (Δ7) – Ιούνιος 2000</b>		
<b>Περιοχή ανάντη γέφυρας Σπάρτης</b>	259.7	316.7
<b>Εκβολή στη θάλασσα</b>	313.1	375.3

Αποτελέσματα Μελέτης ΟΣΕ (2014):

Γίνεται υπολογισμός με υδρογραφήματα, χωρισμός σε υπολεκάνες και υπολογισμός παροχών μέχρι τη θέση της Γέφυρας ΟΣΕ. Επιλέγεται ως όμβρια καμπύλη αυτή της Καλαμάτας Καλέρη (ΚΚ) με χρόνους συρροής κατά SCS (εξάρτηση από CN, όχι από περίοδο επαναφοράς). Για περίοδο επαναφοράς  $T = 50$  έτη για 12-ωρη βροχή προκύπτει παροχή  $Q = 292.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Αναφέρεται πως σε περίπτωση επιλογής της όμβριας καμπύλης Καλαμάτας (παλαιά – ΚΥ) προκύπτει παροχή  $Q = 488.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , ενώ σε περίπτωση επιλογής της όμβριας καμπύλης Σουλίου (S) προκύπτει παροχή  $Q = 440.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .





Σχήμα 10. Γέφυρα ΟΣΕ

Αποτελέσματα Μελέτης οριοθέτησης Καραμπογιά (2019):

Χρησιμοποιείται η όμβρια ΕΓΥ Καλαμάτας, χρόνος συγκέντρωσης κατά SCS με  $CN = 84$ , συντελεστής απορροής  $c = 0.60$ ,  $A = 1.585 \text{ km}^2$ ,  $Q_{50} = 14.9 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Σχήμα 11. Συμβολή Καραμπογιά με Νέδοντα

Αποτελέσματα Μελέτης από ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ Α.Ε. – ΣΥΣΤΑΣ Α.Ε.:

Εφαρμόστηκε η μέθοδος υδρογραφημάτων με αναλυτικό υπολογισμό των συντελεστών υδρολογικών απωλειών και κατάλληλη μείωση του χρόνου υστέρησης (κατά Giandotti) για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς.

D=12h βροχή	Εκβολή Νέδοντα	Νέδων - γέφυρα Περιμετρικής	Σήραγγα - ανάντη τμήμα (Ελαφογκρέμης)	Σήραγγα - κατάντη τμήμα (Ελαφογκρέμης + Λαγκάδα)	Συμβολή Καραμπογιά στον Νέδοντα	Συμβολή αγωγού οδού Σπάρτης
T (έτη)						
50	463.7	451.7	23.9	42.4	52.5	13.0
100	582.5	568.0	33.5	59.3	72.3	16.6



Σχήμα 12. Νέδων ανάντη της Περιμετρικής Οδού

Ακόμη, στη μελέτη προσδιορίστηκε η παροχτευτικότητα της υφιστάμενης κατάστασης του κλειστού κατασκευασμένου τμήματος (περίπου 240 m) σε  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  και με τις παρεμβάσεις που προτείνονται φτάνει τα  $170 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Σχήμα 13. Κλειστό υφιστάμενο τμήμα

Συγκεντρωτικά – συγκρίσεις:

Πίνακας 4. Συγκεντρωτικός πίνακας προηγούμενων μελετών

Θέση	Μελέτη	A (km <sup>2</sup> )	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Γέφυρα Σπάρτης	ΥΠΕΧΩΔΕ (Ιούνιος 2000)		259.7	316.7
Γέφυρα Σπάρτης	ΥΠΕΧΩΔΕ (Υδρολογία, 1999)	121.5	389.1	427.5
Γέφυρα Περιμετρικής	ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ Α.Ε. – ΣΥΣΤΑΣ Α.Ε	121.4	451.7	568
Γέφυρα ΟΣΕ	ΟΣΕ (2014) - ΚΚ	128.4	292.5	
Γέφυρα ΟΣΕ	ΟΣΕ (2014) - ΚΥ	128.4	488.0	
Γέφυρα ΟΣΕ	ΟΣΕ (2014) - ΚΣ	128.4	440.2	
Γέφυρα ΟΣΕ	ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ Α.Ε. – ΣΥΣΤΑΣ Α.Ε	135.2	462.9	581.6
	ΥΔΕ (1965) – παροχή σχεδιασμού υφ. έργων		300	
Εκβολή	ΥΠΕΧΩΔΕ (Ιούνιος 2000)		313.1	375.3
Εκβολή	ΣΔΚΠ	124.19	318.7	430.5
Εκβολή	ΥΠΕΧΩΔΕ (Υδρολογία, 1999)	125	390.3	429.4
Εκβολή	ΥΠΕΧΩΔΕ (όπως αναφέρεται στα ΣΔΚΠ)		560	
Εκβολή	ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ Α.Ε. – ΣΥΣΤΑΣ Α.Ε	135.9	463.7	582.5

Σημαντικές διαφορές στην εκτιμώμενη παροχή οφείλονται στην αλλαγή της χρησιμοποιούμενης όμβριας καμπύλης, σε συνδυασμό με τη χρήση της μεθόδου των υδρογραφημάτων, όπου σημαντική επίδραση έχει το συνολικό ύψος βροχής της καταιγίδας σχεδιασμού και όχι τόσο η ένταση για μικρές διάρκειες, όπως στην ορθολογική.

Η λεκάνη απορροής του Νέδοντα στο μεγαλύτερο τμήμα της βρίσκεται εκτός του αστικού ιστού της Καλαμάτας και έχει σημαντικό χρόνο συρροής. Παροχετευόμενες παροχές από ανάντη λεκάνες ανατολικά ή δυτικά του Νέδοντα προς αυτόν μέσω σήραγγας ή/και αγωγών εμφανίζουν μικρούς χρόνους συρροής και κατά συνέπεια η επίδρασή τους στην παροχή αιχμής του Νέδοντα είναι σχεδόν αμελητέα.

## 4 Προτεινόμενες λύσεις

- Μηδενική λύση

Η μηδενική λύση αφορά την μη πραγματοποίηση αντιπλημμυρικών έργων και την διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης, όσον αναφορά τα έργα αποχέτευσης όμβριων υδάτων της Καλαμάτας όπως και την διευθέτηση του Νέδοντα.

- Φράγμα ανάσχεσης ύψους 25 m

Το φράγμα επιλέγεται να κατασκευαστεί επί του Νέδοντα, πλησίον του λατομείου Μπάκα. Η θέση αυτή επιλέγεται έτσι ώστε η στάθμη του νερού κατά την διόδευση της πλημμύρας σχεδιασμού να μην υπερβαίνει το υφιστάμενο παρακείμενο επαρχιακό οδικό δίκτυο. Η κατασκευή φράγματος ανάσχεσης επηρεάζει την υδρολογία του ποταμού και έχει διπλή λειτουργία. Αφενός συγκρατεί όγκο νερού στον ταμιευτήρα, αφετέρου εξομαλύνεται η πλημμυρική αιχμή μέσω της διόδευσης στον ταμιευτήρα.

- Εκβάθυνση και διαπλάτυνση διευθετημένης κοίτης

Προτείνεται εκβάθυνση έως τη ΧΘ διευθετημένης κοίτης του ποταμού Νέδοντα εντός της πόλης της Καλαμάτας. Από τη ΧΘ έως τη ΧΘ προτείνεται η κατασκευή συναρμογής με μειούμενη εκβάθυνση και ταυτόχρονη διαπλάτυνση. Μετά τη συναρμογή η διατομή παραμένει διαπλατυσμένη. Το μέτρο αυτό είναι ιδιαίτερα ανακουφιστικό για το καλυμμένο τμήμα της διευθετημένης κοίτης. Ιδιαίτερη προσοχή αξίζει να δοθεί στα μέτρα περιορισμού της ηχορύπανσης κατά την φάση της κατασκευής. Επίσης, πλησίον της εκβολής, ενδέχεται να επηρεαστούν παρακείμενες εκτάσεις λόγω της διαπλάτυνσης. Οι εκτάσεις που επηρεάζονται είναι δημόσιες (χώροι πράσινου και ανοιχτές αθλητικές εγκαταστάσεις) συνεπώς δεν αναμένεται να προκύψουν καθυστερήσεις, όπως θα αναμενόταν στην περίπτωση απαλλοτρίωσης ιδιωτικής περιουσίας.

- Φράγμα ανάσχεσης και εκβάθυνση/διαπλάτυνση διευθετημένης κοίτης

Η λύση αυτή συνδυάζει τις δύο προηγούμενες.

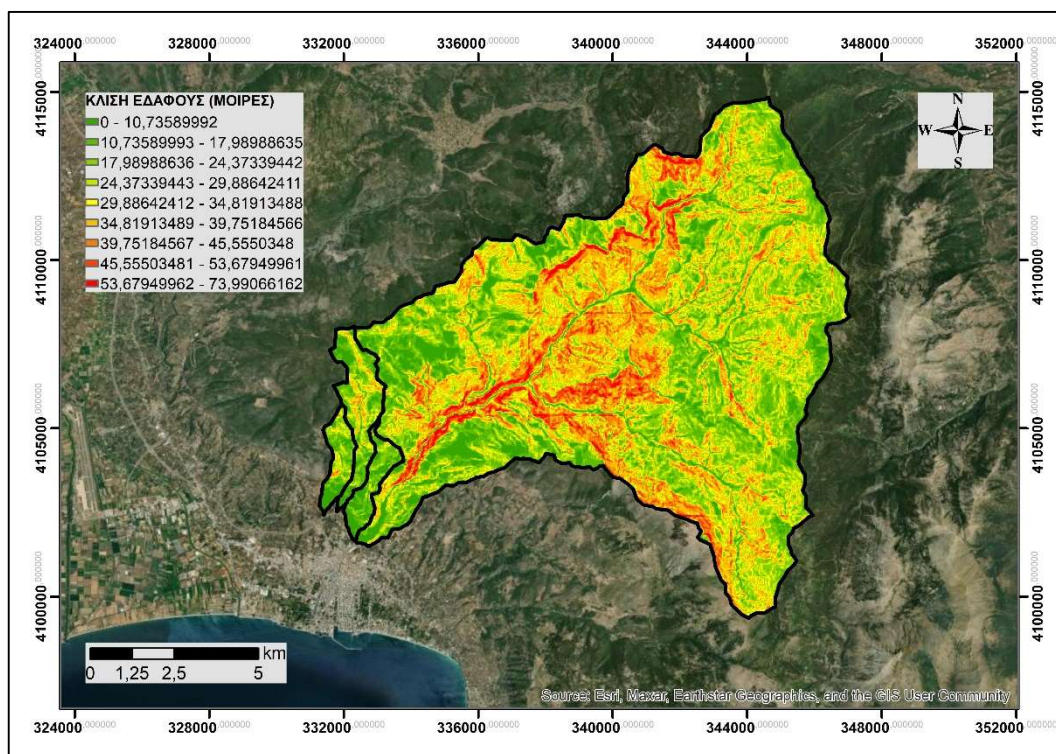
Για τον προσδιορισμό της περιόδου επαναφοράς για τα προτεινόμενα έργα ελήφθησαν υπόψη οι σχετικοί ισχύοντες κανονισμοί για τα αντιπλημμυρικά έργα. Σύμφωνα με την ΚΥΑ 140055/2017(ΦΕΚ Β' 428) (Άρθρο 3) ως παροχή σχεδιασμού λαμβάνεται η πλημμυρική παροχή αιχμής με περίοδο επαναφοράς  $T=50$  έτη. Επίσης, ελέγχεται η ανθεκτικότητα των έργων σε παροχέτευση πλημμύρας με περίοδο επαναφοράς  $T=100$  έτη.

## 5 Υδρολογική μελέτη

### 5.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Νέδοντα βόρεια οριοθετείται από τα όρη Ξεροβούνια και Μαλεβός, νότια από το βουνό Πελενίτσα, ανατολικά τον Ταϋγετο και δυτικά τα όρη Γουβιά, Σφακωτό και Γούπατα Ράχη. Ο Νέδων εκβάλλει στο Μεσσηνιακό κόλπο, διασχίζοντας την πόλη της Καλαμάτας. Η ορεινή λεκάνη απορροής του έχει έντονο ανάγλυφο με μεγάλες κλίσεις και φυτοκάλυψη. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πυκνό και δενδριτικής ως επί το πλείστον μορφής. Σημαντικό ρόλο για τη μορφολογία του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Νέδοντα, καθώς και της λεκάνης απορροής του, έχει παίξει η λιθολογία της περιοχής, που ως επί το πλείστον στο δυτικό τμήμα αποτελείται από ασβεστόλιθους ενώ στο ανατολικό από σχιστόλιθους. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι η βαθιά στενή χαράδρα, μήκους 9 km, που βρίσκεται μεταξύ της περιοχής «Λαγού Χάνι» και του στρατιωτικού πεδίου βολής, βόρεια της νέας χάραξης του αυτοκινητοδρόμου Τρίπολης – Καλαμάτας.

Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών και της κατανομής τους στην περιοχή μελέτης αναπτύχθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους και η ανάλυση έγινε με τη χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (ArcGIS). Προσδιορίστηκαν τα στοιχεία επιφάνειας, υψομέτρων, κλίσεων για τις κύριες υπολεκάνες απορροής.



Σχήμα 14. Χάρτης κλίσεων εδάφους

## 5.2 Γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

### 5.2.1 Γεωλογική δομή

Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Καλαμάτα, κλίμακας 1:50000, στη γεωλογική και υδρολιθολογική διάρθρωση της υδρολογικής λεκάνης συμμετέχουν τόσο τα Προνεογενή πετρώματα, όσο και τα νεότερα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα.

#### Προνεογενή πετρώματα

Τα πετρώματα αυτά που εμφανίζονται στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης και από τα νεότερα προς τα πιο παλιά αποτελούνται από:

i. Τριτογενή (Παλαιογενές- Ηώκαινο)

Στρώματα φλύσχη (ft) τα οποία ανήκουν στη ζώνη της Τρίπολης και αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα ψαμμιτών, ιλυόλιθων και κροκαλοπαγών. Ασβεστόλιθοι (Em-Pc.k), ανήκουν στη ζώνη της Τρίπολης είναι μεσοστρωματώδεις και βρίσκονται κάτω από τα στρώματα του φλύσχη

ii. Κρητιδικό

Ασβεστόλιθοι (K7-8-K), οι οποίοι ανήκουν στη ζώνη της Πίνδου, είναι αρκετά κερματισμένοι και λόγω επώθησης βρίσκονται πάνω από τα στρώματα του φλύσχη της ζώνης της Τρίπολης. Κατά θέσεις περιέχουν στρώσεις από πυριτόλιθους ή κερατόλιθους. Ασβεστόλιθοι και δολομίτες (K-k), ανήκουν στη ζώνη της Τρίπολης είναι αμιγείς και αρκετά κερματισμένοι.

iii. Ιουρασικό

Ασβεστόλιθοι (J-k), ανήκουν στη ζώνη της Τρίπολης, είναι αμιγείς και αρκετά κερματισμένοι. Σχιστοκερατόλιθοι (J.ki.fl), ανήκουν στη ζώνη της Πίνδου και θεωρούνται ότι αντιπροσωπεύουν τον πρώτο φλύσχη.

iv. Τριαδικό

Ασβεστόλιθοι και δολομίτες (Tm-s.k.d), ανήκουν στη ζώνη της Τρίπολης και είναι έντονα κερματισμένοι.

v. Πέρμιο

Φυλλιτική-Χαλαζιτική σειρά (C-P.ph), αποτελούνται από φυλλίτες, χαλαζίτες και διαφόρων τύπων σχιστόλιθους.

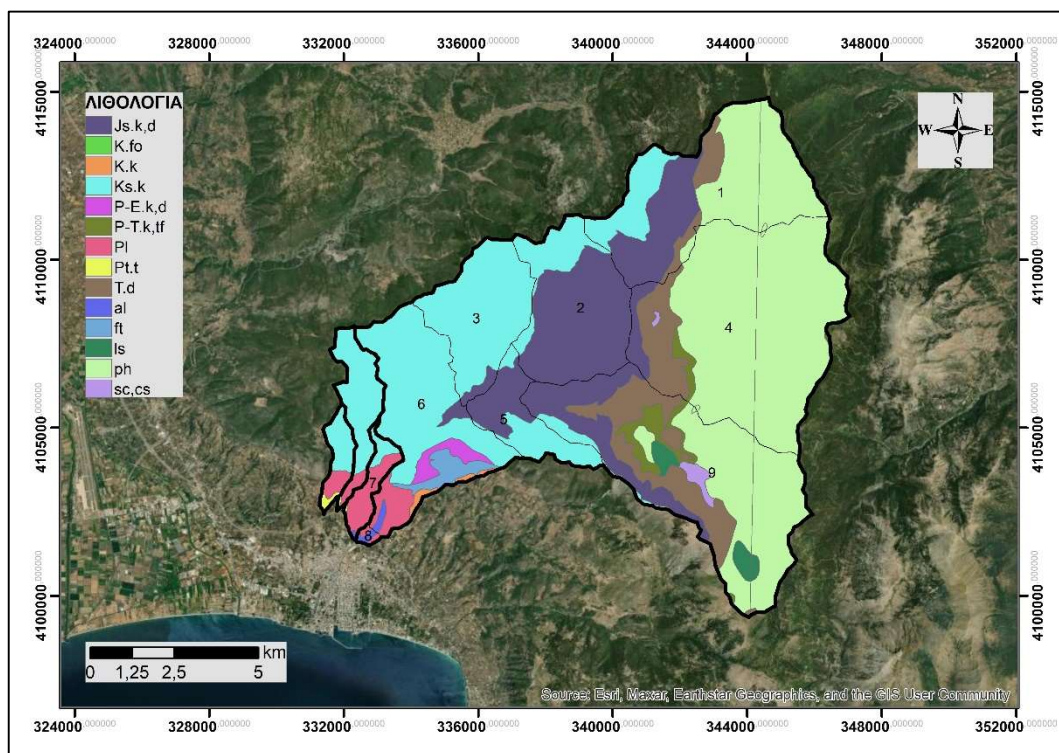
#### Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα

Τα Πλειοκαινικά στρώματα εμφανίζονται μόνο στο νότιο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης και αποτελούνται από:

i. Μάργες (Pl.m.k), κυρίως, ενώ στη βάση έχουμε κροκαλοπαγή.

ii. Χερσαίες αναβαθμίδες (Pl.t), που αποτελούνται από ερυθρές αργίλους, αργιλώδεις άμμους και κερατολιθικές κροκάλες ή λατύπες στη βάση.

Η παράκτια περιοχή, καθώς και οι κοίτες των κύριων ρεμάτων, καλύπτονται από σύγχρονες προσχώσεις και παράκτιες αποθέσεις, ενώ στις πλαγιές των ασβεστολιθικών βουνών έχουμε πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων.



Σχήμα 15. Χάρτης λιθολογίας

### 5.2.2 Υδρολιθολογική κατάταξη

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί από τους οποίους αποτελείται η υδρολογική λεκάνη του Νέδοντα, μπορούν να καταταγούν στις παρακάτω κατηγορίες με βάση την υδροπερατότητα που παρουσιάζουν:

- i. Βραχώδεις σχηματισμοί μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας (K1)

Στους βραχώδεις σχηματισμούς με υψηλή περατότητα κατατάσσονται τα ασβεστολιθικά στρώματα τα οποία είναι αμιγή και αρκετά κερματισμένα. Αυτοί οι σχηματισμοί καταλαμβάνουν το 44.16% της υδρολογικής λεκάνης.

- ii. Βραχώδεις σχηματισμοί μέτριας υδροπερατότητας (K2)

Στους βραχώδεις σχηματισμούς με μέτρια περατότητα κατατάσσονται τα ασβεστολιθικά στρώματα τα οποία δεν είναι αμιγή αλλά περιέχουν στρώσεις σχιστόλιθων ή πυριτόλιθων. Αυτοί οι σχηματισμοί καταλαμβάνουν μόλις το 8.58% της όλης έκτασης της υδρολογικής λεκάνης.

- iii. Βραχώδεις σχηματισμοί πρακτικά αδιαπέρατοι (A1)

Σε αυτήν την κατηγορία κατατάσσονται τα στρώματα του φλύσχη, οι κερατόλιθοι και τα στρώματα της φυλλιτικής-χαλαζιτικής σειράς. Αυτοί οι σχηματισμοί καταλαμβάνουν το 40.82% της όλης έκτασης της υδρολογικής λεκάνης.

iv. Βραχώδεις σχηματισμοί με επιλεκτική κυκλοφορία νερού (A2)

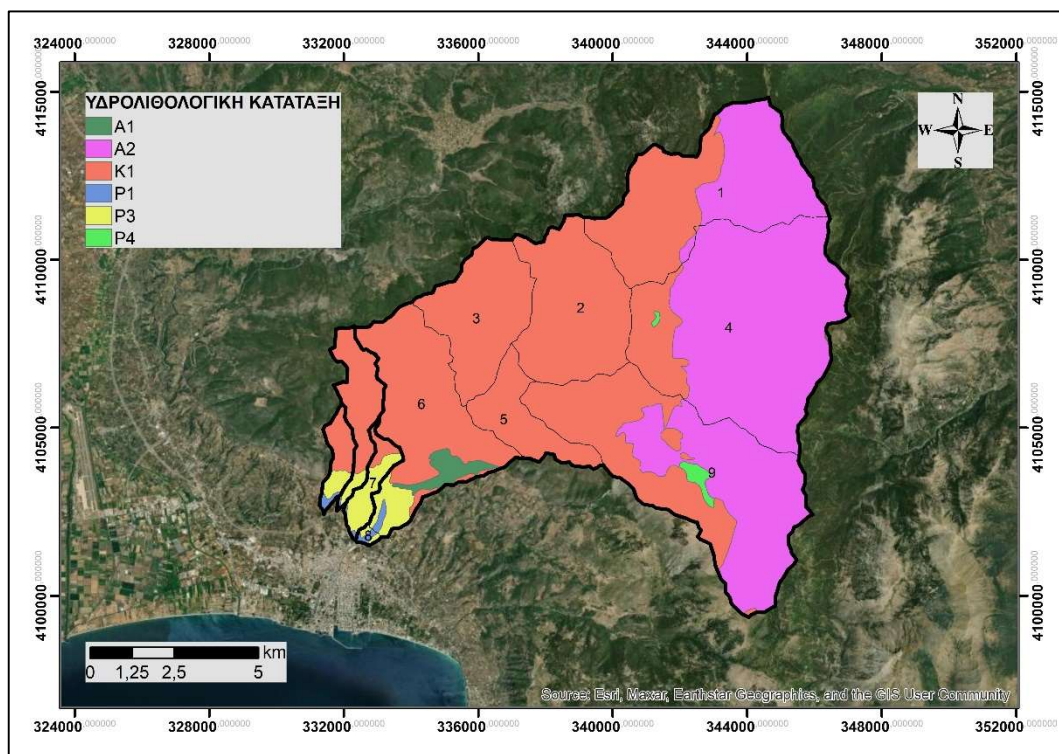
Στους βραχώδεις σχηματισμούς με επιλεκτική κυκλοφορία του νερού κατατάσσονται τα ασβεστολιθικά στρώματα του Ηώκαινου τα οποία δεν είναι αμιγή αλλά περιέχουν και αργιλομαργαϊκές στρώσεις. Αυτοί οι σχηματισμοί καταλαμβάνουν το 2.52% της υδρολογικής λεκάνης.

v. Υδροπερατοί εδαφικοί σχηματισμοί (P1)

Στην ομάδα (P1), δηλαδή στα εδάφη υψηλής υδροπερατότητας, κατατάσσονται οι σύγχρονες αποθέσεις της παράκτιας περιοχής, οι αποθέσεις μέσα στις κοίτες των μεγαλύτερων ρεμάτων, καθώς και τα πλευρικά κορήματα. Αυτοί οι σχηματισμοί καταλαμβάνουν το 1.73% της όλης έκτασης της υδρολογικής λεκάνης.

vi. Συνεκτικοί σχηματισμοί μέτριας περατότητας (P2)

Σε αυτήν την ομάδα κατατάσσονται τα στρώματα των κροκαλοπαγών και οι χερσαίες αναβαθμίδες. Καταλαμβάνουν το 2.19% της έκτασης της υδρολογικής λεκάνης.



Σχήμα 16. Χάρτης υδρολιθολογικής κατάταξης

Πίνακας 5. Διηθητικότητα στη λεκάνη του Νέδοντα

Κατηγορία διηθητικότητας	Ρυθμός διήθησης	Επιφάνεια εδαφικού σχηματισμού (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό σχηματισμού στην λεκάνη (%)
A	Μεγάλος	31.70	25.50
B	Μέσος	41.34	33.30
C	Μικρός	51.15	41.20



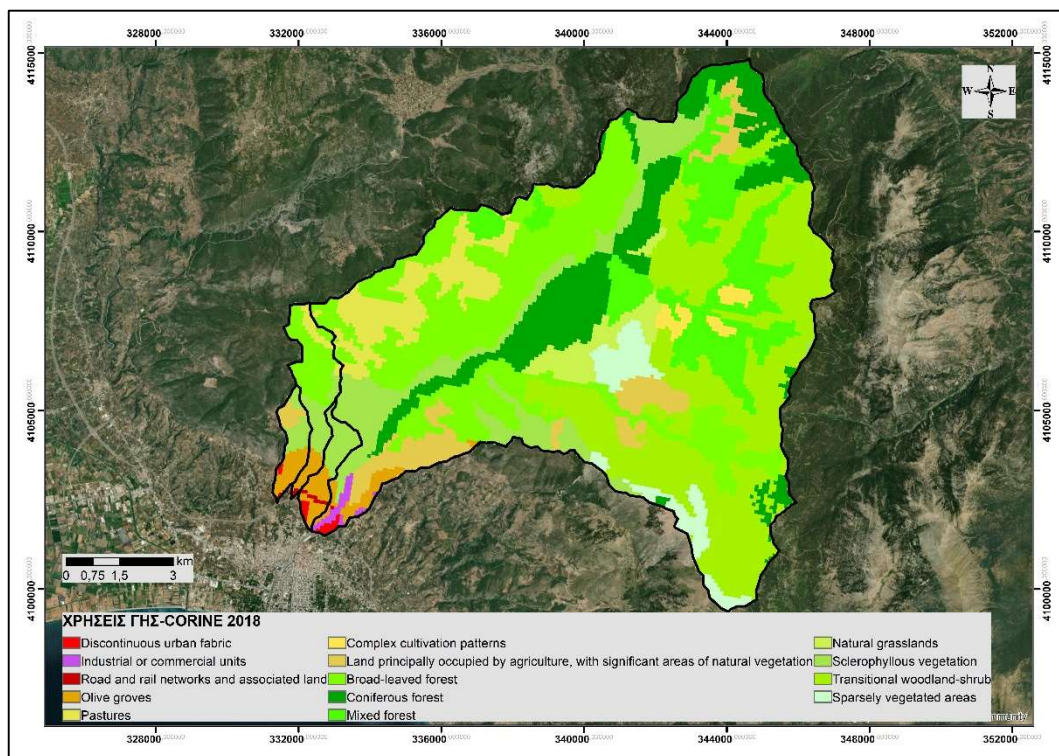
Για την κατανομή σε κλάσεις υδατοπερατότητας και διαβρωσιμότητας χρησιμοποιήθηκαν διαθέσιμα γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία.

### 5.3 Χρήσεις γης

Αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία του Corine Land Cover 2018 της βάσης δεδομένων Copernicus. Οι χρήσεις γης που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018 είναι οι ακόλουθες:

Πίνακας 6. Χρήσεις γης CORINE 2018

Ελληνική περιγραφή	Corine Land Cover	CODE 18	SC
αστικές περιοχές με πυκνή δόμηση	Discontinuous urban fabric	112	770
αδιαπέρατες επιφάνειες	Industrial or commercial units	121	100
αδιαπέρατες επιφάνειες	Road and rail networks and associated land	122	100
δενδροκαλλιέργεια	Olive groves	223	500
βοσκοτόπια	Pastures	231	400
σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Complex cultivation patterns	242	320
καλλιέργειες σιτηρών	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	243	320
πλατύφυλλα	Broad-leaved forest	311	690
κωνοφόρα	Coniferous forest	312	665
δάσος με συγκόμωση 50-80%	Mixed forest	313	665
λιβάδια	Natural grasslands	321	400
σκληρόφυλλη βλάστηση	Sclerophyllous vegetation	323	400
δάση με συγκόμωση 10-50%	Transitional woodland-shrub	324	630
εκτάσεις με αραιή βλάστηση	Sparsely vegetated areas	333	200



Σχήμα 17. Χρήσεις γης CORINE 2018

## 5.4 Απώλειες – Ωφέλιμη βροχή

Για τον υπολογισμό των απωλειών και τον προσδιορισμό του καθαρού υετογραφήματος (ωφέλιμης βροχής) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SCS (Soil Conservation Service). Η μέθοδος SCS αναπτύχθηκε το 1954 μετά την ψήφιση του διατάγματος για μικρές λεκάνες απορροής και τον έλεγχο των πλημμυρών, που ανατέθηκε στην Υπηρεσία SCS. Ο συντελεστής CN αναφέρεται καταρχήν στον υπολογισμό των απωλειών και του όγκου απορροής. Παράλληλα αναπτύχθηκε η σχέση για τον υπολογισμό του χρόνου υστέρησης και η μορφή του υδρογραφήματος ώστε να υπάρχει μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τις ανάγκες της υπηρεσίας (SCS=Soil Conservation Service, USDA που αργότερα μετονομάστηκε σε NRCS=Natural Resources Conservation Service). Όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο CURVE NUMBER HYDROLOGY, State of the Practice, ASCE, 2009, η μέθοδος εφαρμόζεται πλέον πάνω από 50 χρόνια, ευρύτατα, με εφαρμογές πολύ πέρα από τον αρχικό της σκοπό που καταδεικνύουν την ευρύτητα της αποδοχής της από τον επιστημονικό κόσμο.

Η μέθοδος βασίζεται στην παραδοχή ύπαρξης μιας δυνητικά μέγιστης κατακράτησης,  $S$ , πέραν των αρχικών απωλειών ( $I_a$ ), καθώς επίσης και στην παραδοχή ότι η αναλογία της πραγματοποιούμενης κατακράτησης προς τη δυνητικά μέγιστη κατακράτηση είναι ίδια με την αναλογία της απορροής προς το ενεργό ύψος βροχής.

Η συνολική απορροή (ενεργός βροχή) υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$P_e(\text{mm}) = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}, \quad P > 0.2S$$

Όπου

$S$ : είναι η μέγιστη δυνατή κατακράτηση σε χιλιοστά

$P_e$ : είναι το μέγεθος της απορροής σε χιλιοστά

$P$ : είναι το μέγεθος της βροχόπτωσης σε χιλιοστά

Για τιμές του  $P$  μικρότερες του  $0.2S$  η απορροή λαμβάνεται ίση με το μηδέν. Η σχέση εφαρμόζεται και για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, και έτσι προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου.

Το  $S$  υπολογίζεται σε χιλιοστά από τη σχέση:

$$S(\text{mm}) = \left( \frac{100}{\text{CN}} - 1 \right) 254$$

### Curve Number (CN)

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100, και επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους, τις χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής, καθώς και τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Η SCS ορίζει τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας, I, II, και III. Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II, η SCS δίνει αναλυτικούς πίνακες με τιμές του CN για κάθε ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης, ενώ για τις άλλες συνθήκες δίνει τύπους

αναγωγής ως προς τις συνθήκες τύπου II. Στην περιγραφείσα μεθοδολογία και στους πίνακες τιμών CN εμπεριέχεται η παραδοχή για τις αρχικές απώλειες:

$$I_a = \lambda S, \lambda = 0.2$$

Περιγραφή χρήσης γης	Υδρολογική Κατάσταση <sup>5</sup>	Υδρολογικός τύπος εδάφους			
		A	B	C	D
Γυμνό έδαφος		77	86	91	94
Ευρείες γραμμικές καλλιέργειες σε κεκλιμένο έδαφος <sup>6</sup>	φτωχή	72	81	88	91
	καλή	67	78	85	89
Ευρείες γραμμικές καλλιέργειες σε βαθμίδες <sup>7</sup>	φτωχή	66	74	80	82
	καλή	62	71	78	81
Καλλιέργειες σιτηρών σε κεκλιμένο έδαφος	φτωχή	65	76	84	88
	καλή	63	75	83	87
Καλλιέργειες σιτηρών σε βαθμίδες	φτωχή	61	72	79	82
	καλή	59	70	78	81
Πυκνές καλλιέργειες ψυχανθών σε κεκλιμένο έδαφος	φτωχή	66	77	85	89
	καλή	58	72	81	85
Πυκνές καλλιέργειες ψυχανθών σε βαθμίδες	φτωχή	63	73	80	83
	καλή	51	67	76	80
Χορτολιβαδικές εκτάσεις <sup>8</sup>	φτωχή	68	79	86	89
	μέτρια	49	69	79	84
	καλή	39	61	74	80
Θάμνοι – υψηλές πόες - θάμνοι με υποβλάστηση αγρωστωδών και άλλων ποών <sup>9</sup>	φτωχή	48	67	77	83
	μέτρια	35	56	70	77
	καλή	30	48	65	73
Δενδρόκηποι ή δενδροκαλλιέργειες <sup>10</sup>	φτωχή	57	73	82	86

Σχήμα 18. Αριθμοί CN<sub>0,20</sub>(II) (Εκτίμηση αριθμού καμπύλης απορροής CN με την μεθοδολογία SCS – EGY)

Κωδικός SC	Υποκατηγορία κάλυψης	Υδρολογική Κατάσταση
100	Αδιαπέρατες επιφάνειες	Δεν απαιτείται η εκτίμηση της υδρολογικής κατάστασης (HC= 0)
200	Γυμνό έδαφος	Δεν απαιτείται η εκτίμηση της υδρολογικής κατάστασης (HC= 0)
310	Ευρείες γραμμικές καλλιέργειες	Φτωχή Υδρολογική Κατάσταση HC= 1
320	Καλλιέργειες σιτηρών	Καλή Υδρολογική Κατάσταση HC= 3
330	Πυκνές καλλιέργειες	Καλή Υδρολογική Κατάσταση HC= 3
400	Χορτολιβαδικές εκτάσεις	Μέτρια Υδρολογική Κατάσταση HC= 2
500	Δενδρόκηποι ή δενδροκαλλιέργειες	Φτωχή Υδρολογική Κατάσταση HC= 1
630	Δάση με συγκόμωση 10-50%	Μέτρια Υδρολογική Κατάσταση HC= 2
665	Δάση με συγκόμωση 50-80%	
690	Δάση με συγκόμωση >80%	
720	Χωριά και οικισμοί με αραιά δόμηση (αδιαπέρατες επιφάνειες <40%)	Δεν απαιτείται η εκτίμηση της υδρολογικής κατάστασης (HC= 0)
770	Αστικές περιοχές με πυκνή δόμηση (αδιαπέρατες επιφάνειες >40%)	

Σχήμα 19. Αρχικές τιμές υδρολογικής κατάστασης (Εκτίμηση αριθμού καμπύλης απορροής CN με την μεθοδολογία SCS – EGY)

Τα εδάφη χωρίζονται σε τέσσερις υδρολογικούς τύπους σύμφωνα με την Soil Conservation Service:

- Κατηγορία A - Σχηματισμοί υψηλής υδατοπερατότητας

Συνθήκες ελάχιστης πλημμυρικής απορροής, περιλαμβάνει βαθύ αμμώδες εδαφικό στρώμα, με πολύ μικρή περιεκτικότητα αργίλου και ιλύος, καθώς και βαθύ στρώμα πηλού υψηλής διηθητικότητας.

- Κατηγορία Β - Σχηματισμοί μέτριας - υψηλής υδατοπερατότητας

Κυρίως αμμώδες εδαφικό στρώμα μικρότερου βάθους από αυτό της πρώτης κατηγορίας, καθώς και στρώμα πηλού μικρότερου βάθους από αυτό της πρώτης κατηγορίας. Η διηθητικότητα αυτών των εδαφών είναι άνω του μέσου.

- Κατηγορία C - Σχηματισμοί μέτριας - χαμηλής υδατοπερατότητας

Εδαφικό στρώμα περιορισμένου βάθους με σημαντική περιεκτικότητα σε άργιλο, η οποία όμως είναι μικρότερη αυτής της επόμενης κατηγορίας. Η διηθητικότητα αυτών των εδαφών είναι κάτω του μέσου.

- Κατηγορία D - Σχηματισμοί χαμηλής υδατοπερατότητας

Συνθήκες μέγιστης πλημμυρικής απορροής. Περιλαμβάνει κυρίως αργίλους και αβαθή εδάφη με αδιαπέρατο υπόστρωμα κοντά στην επιφάνεια.

Ο προσδιορισμός του υδρολογικού τύπου του εδάφους κατά SCS γίνεται με τη βοήθεια του χάρτη υδρολιθολογικής κατάταξης της περιοχής.

Σε κάθε υπολεκάνη μπορεί να εντοπίζονται διαφορετικές χρήσεις γης ή να παρουσιάζεται μεταβολή στη στρωματογραφία με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η υδατοπερατότητα. Συνεπώς, σε επίπεδο υπολεκάνης ο υπολογισμός του CN γίνεται με την ακόλουθη διαδικασία.

- Merge, σε περιβάλλον GIS, της υδρολιθολογικής κατάταξης της περιοχής με τις χρήσεις γης. Εξαγωγή του attribute table σε EXCEL.
- Για δεδομένη χρήση γης σε έδαφος συγκεκριμένου υδρολογικού τύπου είναι γνωστός ο  $CN_i$ , βάσει πινάκων, καθώς και η έκταση της χρήσης γης του εκάστοτε υδρολογικού τύπου  $A_i$ .

Τέλος, ο αριθμός CN σε επίπεδο υπολεκάνης υπολογίζεται ως εξής:

$$CN_{0.20, \text{υπολεκ}} = \frac{\sum CN_i A_i}{A_{\text{tot, υπολεκ}}}$$

Σύμφωνα με επιστημονικές δημοσιεύσεις που αφορούν υδρολογικές μελέτες στην Ελλάδα, προκύπτει ότι ο συντελεστής λ είναι της τάξης του 5% (0.05). Προκειμένου, όμως, να χρησιμοποιηθεί διαφορετικό ποσοστό πρέπει να γίνει και επανυπολογισμός των CN. Η σχέση αναγωγής των CN είναι η ακόλουθη:

$$CN_{0.05} = \frac{CN_{0.20}}{1.42 - 0.0042 CN_{0.20}}$$

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη και τις χρήσεις γης και την υδρολογική κατάσταση του εδάφους, προκύπτουν οι αριθμοί CN κάθε λεκάνης.

Πίνακας 7. CN, S και Ia λεκανών

ΛΕΚΑΝΗ	CN( $\lambda=0.20$ )	CN( $\lambda=0.05$ )	S(0.05) (mm)	Ia=0.05*S (mm)
1	65	57	194.21	9.71
2	40	32	541.02	27.05
3	41	33	519.03	25.95
4	70	62	154.58	7.73
5	41	33	519.03	25.95
6	54	45	307.25	15.36
8	92	89	31.36	1.57
9	68	60	169.73	8.49
Καραμπογιάς	77	70	107.74	5.39
Λαγκάδα	46	37	423.41	21.17
Ελαφογκρέμης	64	56	202.88	10.14

## 5.5 Χρόνος συγκέντρωσης

### 5.5.1 Γενικά - Ορισμοί

Σύμφωνα με το ΠΔ696/74 :

- ο χρόνος συρροής μέχρι της εισόδου των υδάτων εις τα στόμια υδροσυλλογής εκτιμάται υπό συνήθεις συνθήκας δια τας εντός πόλεως περιοχάς, εις 10 πρώτα λεπτά
- ο χρόνος συρροής εκ λεκανών μιας κύριας μισγάγκειας, ης δεν προβλέπεται η διευθέτησις, επιτρέπεται όπως εκτιμάται κατά Giandotti
- ο χρόνος ροής εις φυσικά ρέματα, ων δεν προβλέπεται η διευθέτησις, υπολογίζεται υδραυλικώς ή εκτιμάται. Ως εν κριτήριοιον δια την εκτίμηση του χρόνου ροής εις φυσικά ρέματα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ο τύπος του Kirpich. Ο τύπος του Kirpich εφαρμόζεται ανά τμήματα, περίπου σταθεράς κατά μήκος κλίσεως.

Χρόνος συρροής ( $t_c$ ) είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στην εκβολή και είναι ίσος με το χρόνο πραγματοποίησης της αιχμής του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Στην ορθολογική μέθοδο ο χρόνος αυτός χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της κρίσιμης έντασης βροχής για τον υπολογισμό της παροχής σχεδιασμού.

Χρόνος υστέρησης ( $t_{lag}$ ) είναι ο χρόνος μεταξύ του μέσου της βροχής και του χρόνου πραγματοποίησης της αιχμής της απορροής. Συνήθως, χρησιμοποιείται η εμπειρική σχέση ότι ο χρόνος υστέρησης είναι το 0.6 του χρόνου συρροής.

Ο χρόνος συγκέντρωσης εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως:

- Το σχήμα και η έκταση της λεκάνης απορροής
- Το μήκος και η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου
- Η κλίση του εδάφους
- Τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την τραχύτητα του εδάφους (π.χ. φυτοκάλυψη)
- Τα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου

Λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου, δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός του στη βάση των φυσικών νόμων. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζονται συνήθως απλές εμπειρικές σχέσεις της

βιβλιογραφίας, οι οποίες εκτιμούν τον χρόνο συγκέντρωσης, συναρτήσει χαρακτηριστικών γεωμετρικών μεγεθών της λεκάνης (επιφάνεια, κλίση, κτλ.).

Μέθοδοι υπολογισμού χρόνου συρροής:

- Giandotti
- Kirpich
- CCP (California Culvert Practice)

Μέθοδοι υπολογισμού χρόνου υστέρησης:

- SCS
- TEM

### 5.5.2 Υπολογισμός κατά Giandotti

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται η σχέση του Giandotti. Πρόκειται για την πλέον διαδεδομένη προσέγγιση στην ελληνική πρακτική, και είναι αυτή μάλιστα που συστήνεται από τις προδιαγραφές των υδραυλικών έργων (ΠΔ 696/74). Από εκτεταμένες αναλύσεις πλημμυρικών δεδομένων στην Κύπρο, φαίνεται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η μοναδική που αναπαράγει με ικανοποιητική ακρίβεια τις παρατηρημένες παροχές αιχμής, μέσω της ορθολογικής μεθόδου (Γαλιούνα, 2011). Η χρήση της σχέσης Giandotti προτείνεται σε σύγχρονα ερευνητικά προγράμματα σχετικά με την υδρολογία των πλημμυρών (Efstratiadis, Koussis, Koutsoyiannis, & Mamasis, 2014) (Κουκουβίνος, 2014).

Ο χρόνος συρροής κατά Giandotti ( $t_{Gian}$ ), σε ώρες, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_{Gian} = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}}$$

Όπου

A: η επιφάνεια της λεκάνης απορροής σε  $km^2$

L: το μήκος της κύριας μισγάγκειας σε km

$\Delta H$ : η διαφορά του μέσου υψόμετρου της λεκάνης από το υψόμετρο εξόδου της σε m

Στο ερευνητικό πρόγραμμα ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ η χρήση της ανωτέρω σχέσης προτείνεται για περίοδο επαναφοράς  $T=5$  έτη, οπότε πραγματοποιήθηκε προσαρμογή με την περίοδο επαναφοράς για άλλες περιόδους σύμφωνα με την ακόλουθη εμπειρική σχέση (Ευστρατιάδης, και συν., 2012), η οποία συνεπάγεται μείωση του χρόνου για αυξανόμενη περίοδο επαναφοράς.

$$t_c = t_{Gian} \sqrt{\frac{i(T=5)}{i(T)}}$$

Η σχέση αυτή υιοθετήθηκε και στους υπολογισμούς πλημμυρογραφημάτων στα σχέδια διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας.

Πίνακας 8. Χρόνοι συγκέντρωσης και υστέρησης

ΛΕΚΑΝΗ	$t_{Gian}$ (hr)	$t_c$ (hr) T=50	$t_{lag}$ (min) T=50	$t_c$ (hr) T=100	$t_{lag}$ (min) T=100
1	1.53	1.21	43	1.13	41
2	1.39	1.09	39	1.02	37
3	1.18	0.93	33	0.87	31
4	1.93	1.52	55	1.42	51
5	1.03	0.81	29	0.76	27
6	1.64	1.29	46	1.21	44
8	1.08	0.85	31	0.80	29
Καραμπογιάς	1.93	1.52	55	1.43	51
Λαγκάδα	1.14	0.90	32	0.84	30
Ελαφογκρέμης	0.97	0.76	27	0.71	26

## 5.6 Εκτίμηση βροχοπτώσεων σχεδιασμού

### 5.6.1 Όμβριες καμπύλες

Στο τεύχος της ΕΓΥ η όμβρια καμπύλη που χρησιμοποιείται έχει τη μορφή:

$$i(d,T) = \frac{\lambda'(T^{\kappa} + \psi')}{(1+d/\theta)^{\eta}}, \kappa \neq 0$$

Όπου

$i(d,T)$ : ένταση βροχής (mm/h)

T: περίοδος επαναφοράς (έτη)

d: διάρκεια βροχής (h)

$\lambda'$ : παράμετρος κλίμακας

$\kappa$ : παράμετρος σχήματος

$\psi'$ : παράμετρος θέσης

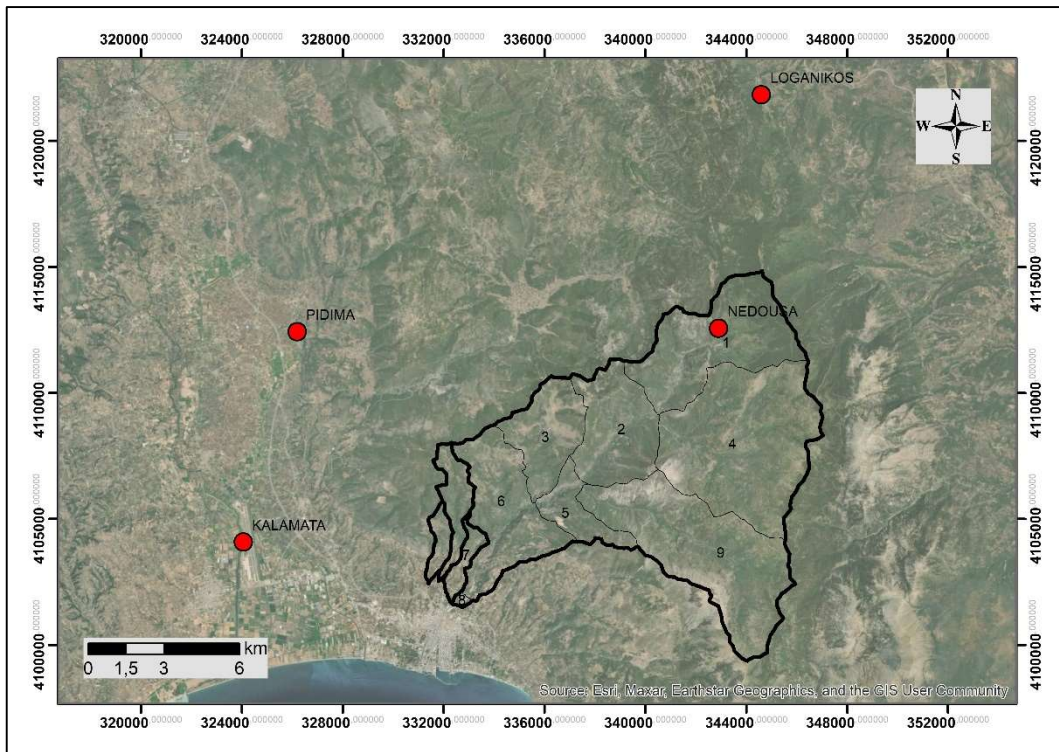
$\theta, \eta$ : παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας

Οι πλησιέστεροι σταθμοί για τους οποίους έχουν παραχθεί σημειακές όμβριες καμπύλες (ΕΓΥ, 2016) είναι οι σταθμοί Καλαμάτα, Νέδουσα, Πήδημα.

Πίνακας 9. Συντεταγμένες και παράμετροι των πλησιέστερων σταθμών

Σταθμός	X	Y	Z	$\kappa$	$\lambda'$	$\psi'$	$\theta$	$\eta$
Καλαμάτα	324,055.80	4,104,082.20	6.3	0.113	436.7	0.682	0.089	0.724
Νέδουσα	342,906.00	4,112,566.00	730.0	0.113	537.3	0.500	0.089	0.724
Πήδημα	326,197.31	4,112,429.75	36.3	0.113	473.2	0.687	0.089	0.724
Λογκανίκος	344,600.19	4,121,834.50	738.4	0.113	509.4	0.704	0.089	0.724

Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων

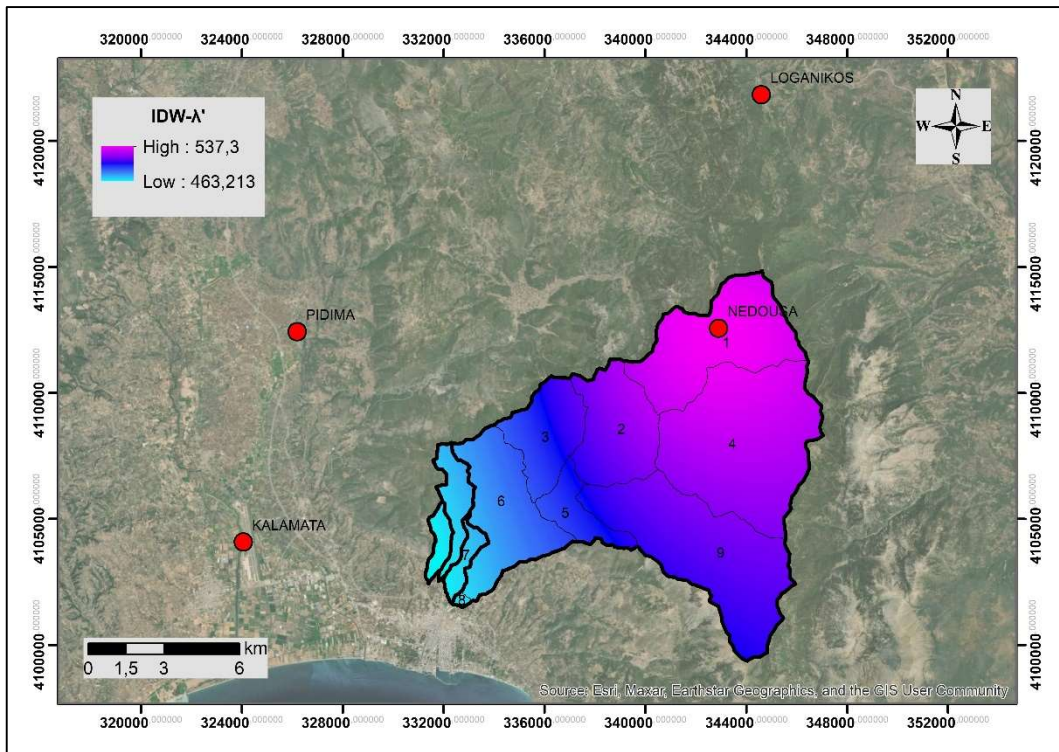


Σχήμα 20. Πλησιέστεροι σταθμοί

Οι παράμετροι  $\theta$ ,  $\eta$ ,  $\kappa$  είναι σταθερές, ενώ οι παράμετροι  $\lambda'$ ,  $\psi'$  εμφανίζουν μεγάλη χωρική μεταβλητότητα. Σύμφωνα με το ΣΔΚΠ η λεκάνη απορροής του Νέδοντα αντιμετωπίζεται ενιαία. Επομένως, απαιτείται η γενίκευση των μη σταθερών παραμέτρων των όμβριων καμπυλών σε επίπεδο λεκάνης, ώστε να προκύψει μια όμβρια αντιπροσωπευτική για όλη τη λεκάνη. Οι παράμετροι  $\lambda'$ ,  $\psi'$  υπολογίζονται με χωρική παρεμβολή σε περιβάλλον GIS εφαρμόζοντας τη μέθοδο αντιστρόφων αποστάσεων IDW. Άλλος τρόπος για τον υπολογισμό των παραμέτρων σε επίπεδο λεκάνης είναι τα πολύγωνα Thiessen.



Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων

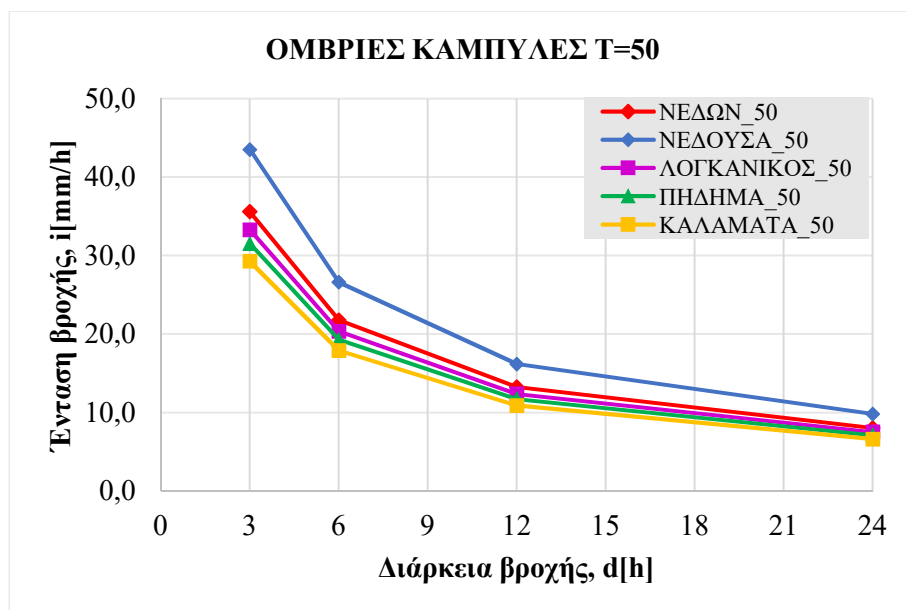


Σχήμα 21. Μέθοδος αντιστρόφων αποστάσεων IDW (λ')

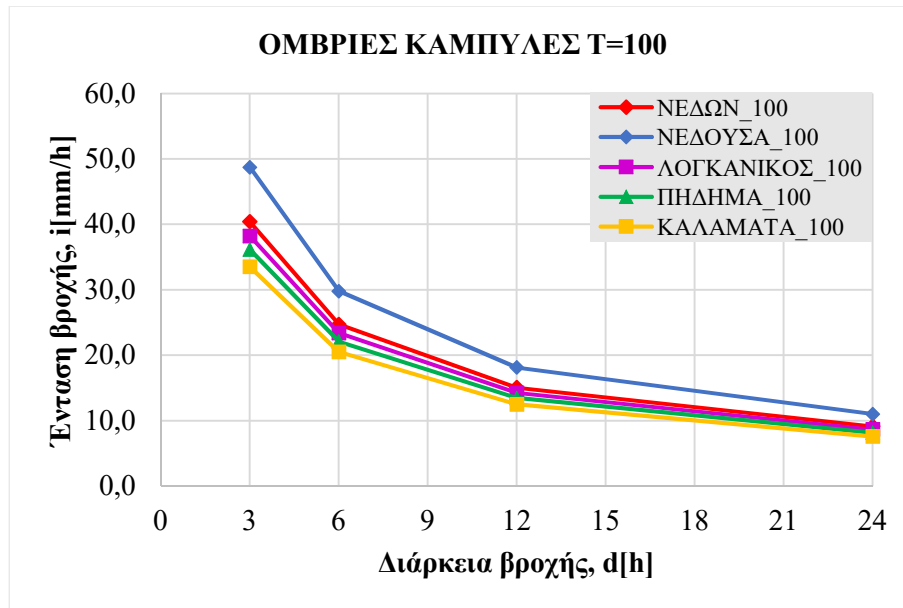
Στον ακόλουθο πίνακα δίδονται οι τιμές των παραμέτρων της γενικευμένης όμβριας καμπύλης για όλη τη λεκάνη.

Πίνακας 10. Παράμετροι γενικευμένης όμβριας όλης της λεκάνης

$\kappa$	$\lambda'$	$\psi'$	$\theta$	$\eta$
0.113	495.3	0.619	0.089	0.724



Σχήμα 22. Όμβριες καμπύλες για περίοδο επαναφοράς T=50 έτη



Σχήμα 23. Όμβριες καμπύλες για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη

### 5.6.2 Επιφανειακή αναγωγή

Οι όμβριες καμπύλες που προσδιορίζονται από τα δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών, καθώς και η γενικευμένη όμβρια καμπύλη, είναι σημειακές και για την εκτίμηση των επιφανειακών υψών βροχής που εφαρμόζονται στο σχεδιασμό απαιτείται κατάλληλη επιφανειακή και υψομετρική αναγωγή των σημειακών τιμών σε επιφανειακές. Η αναγωγή γίνεται πολλαπλασιάζοντας το ύψος βροχής που προκύπτει από τη γενικευμένη όμβρια με ένα συντελεστή  $\varphi$ , ο οποίος έχει τις ακόλουθες, εμπειρικά διαπιστωμένες, ιδιότητες (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999):

- Είναι πάντα μικρότερος της μονάδας: Όταν καταγράφεται μέγιστη ένταση στη θέση του βροχογραφικού σταθμού, είναι απίθανο την ίδια στιγμή να καταγράφεται μέγιστη ένταση σε όλη την υπόψη επιφάνεια.
- Είναι φθίνουσα συνάρτηση της έκτασης: Η αύξηση της έκτασης της επιφάνειας συνεπάγεται τη μείωση του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής.
- Είναι αύξουσα συνάρτηση της διάρκειας: η αύξηση της διάρκειας βροχής συνοδεύεται από αύξηση του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής
- Εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από την περίοδο επαναφοράς και φαίνεται ότι η αύξηση της περιόδου επαναφοράς οδηγεί σε ασθενή μείωση του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής· ωστόσο δεν υπάρχουν ακόμη κατηγορηματικά συμπεράσματα για αυτή την εξάρτηση, η οποία δεν έχει διερευνηθεί σε αντίστοιχο βαθμό με αυτές που αναφέρονται στη διάρκεια και την έκταση

Η σχέση υπολογισμού του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής που προτείνεται και στο ΣΔΚΠ είναι η ακόλουθη (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999):

$$\varphi = \max \left( 1 - \frac{0.048A^{0.36-0.01 \ln A}}{d^{0.35}}; 0.25 \right)$$

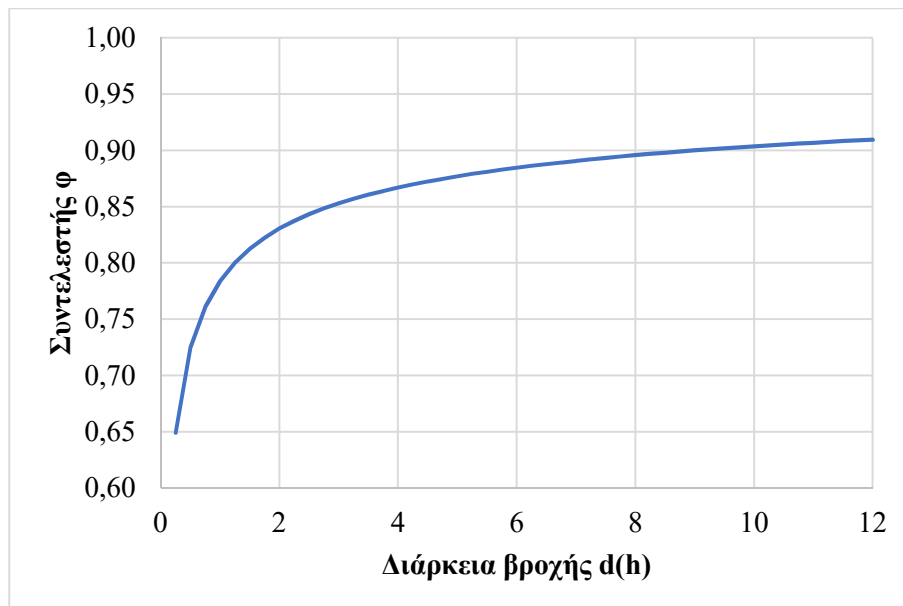
Όπου

$\phi$ : συντελεστής επιφανειακής αναγωγής (αδιάστατος αριθμός)

A: έκταση λεκάνης ( $\text{km}^2$ )

d: διάρκεια βροχής (h)

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του συντελεστή  $\phi$  στη λεκάνη του Νέδοντα ( $A=124.19 \text{ km}^2$ ) για διάρκεια βροχής 15 min-12 h.



Σχήμα 24. Συντελεστής επιφανειακής αναγωγής γενικευμένης όμβριας όλης της λεκάνης

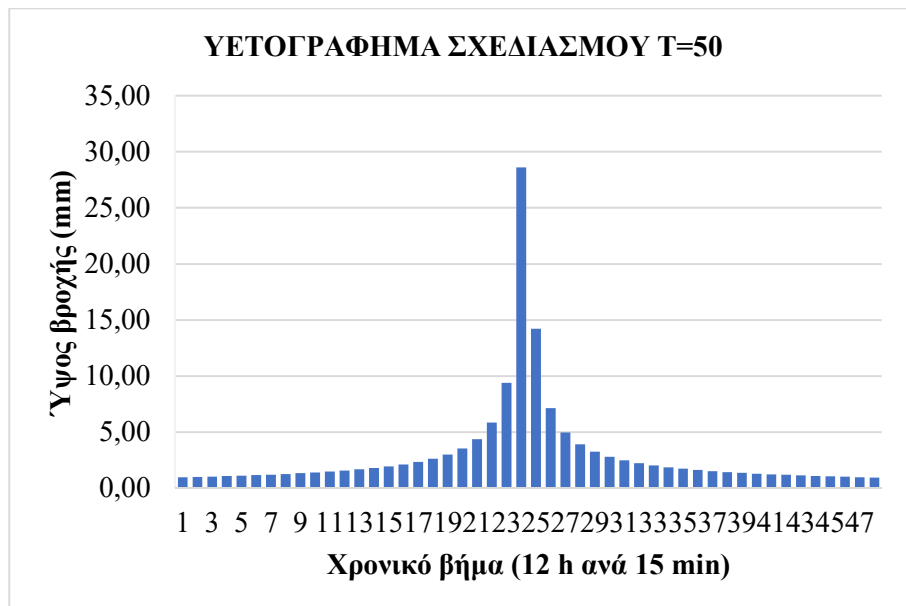
### 5.6.3 Διάρκεια καταιγίδας – Βήμα υπολογισμών

Γενικά, για την κατάρτιση των υετογραφημάτων για καταιγίδες με δεδομένες περιόδους επαναφοράς, η διάρκεια βροχής λαμβάνεται ως πολλαπλάσιο του χρόνου συγκέντρωσης. Σύμφωνα με το ΣΔΚΠ, η διάρκεια του υετογραφήματος σχεδιασμού συνίσταται, να επιλέγεται ίση με το τριπλάσιο, τουλάχιστον, του χρόνου συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης (Κουκουβίνος, 2014). Στη περίπτωση της λεκάνης του Νέδοντα η προτεινόμενη διάρκεια της καταιγίδας σχεδιασμού στο ΣΔΚΠ είναι 12 h.

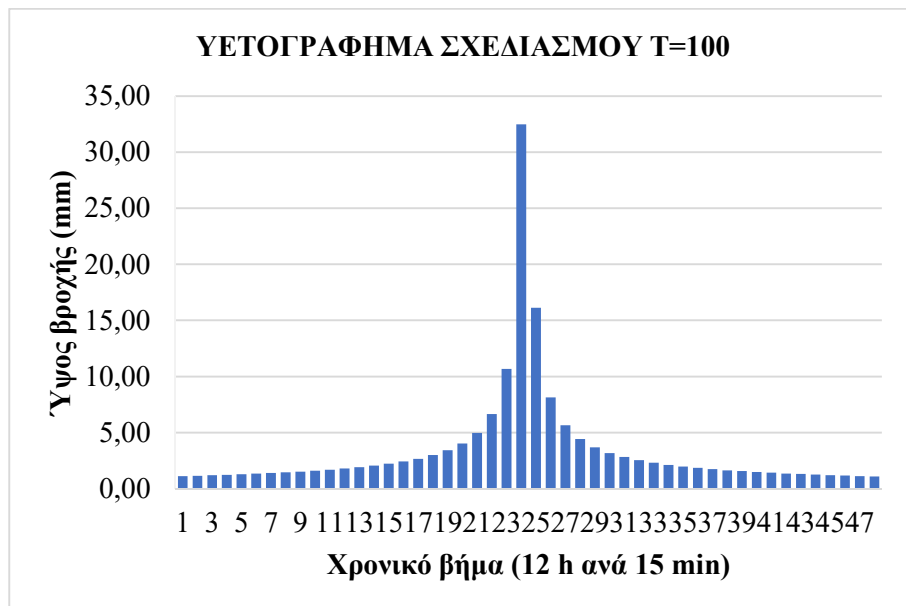
Όσον αφορά στη χρονική διακριτότητα της βροχόπτωσης, η οποία καθορίζει και το χρονικό βήμα υπολογισμών της υδρολογικής προσομοίωσης, πρέπει να επιλεγεί μία τιμή επαρκώς μικρή ώστε να μπορεί να περιγραφεί με ακρίβεια το φαινόμενο και να εντοπιστεί η αιχμή αλλά και όχι ιδιαίτερος μικρή ώστε να καθιστά πολύπλοκο το υπολογιστικό σύστημα. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν εμπειρικές συστάσεις για την επιλογή του χρονικού βήματος. Σε πρόσφατες εργασίες (Κουκουβίνος, 2014) το χρονικό βήμα συνιστάται να επιλέγεται ίσο με το 1/3 του μικρότερου από τους χρόνους συγκέντρωσης των υπολεκανών, για την υπόψη περίοδο επαναφοράς. Με βάση τις παραπάνω προτάσεις της βιβλιογραφίας και λαμβάνοντας υπ' όψη την μεγάλη διακύμανση που παρατηρείται στους χρόνους συγκέντρωσης των διαφόρων υπολεκανών του Νέδοντα, επιλέγεται χρονικό βήμα προσομοίωσης 15 λεπτά.

#### 5.6.4 Χρονική κατανομή συνολικού ύψους βροχής

Για πλημμύρες μέσης και υψηλής πιθανότητας υπέρβασης, δηλαδή με περιόδους επαναφοράς 50 και 100 χρόνια, το καθαρό υετογράφημα σχεδιασμού παράγεται χρησιμοποιώντας τη γενικευμένη όμβρια καμπύλη με βάση τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (alternating block method) (Chow, Maidment & Mays, 1988). Στη μέθοδο αυτή η αιχμή εμφανίζεται στο μέσον της διάρκειας της βροχόπτωσης.



Σχήμα 25. Καθαρό υετογράφημα σχεδιασμού (T=50 έτη)



Σχήμα 26. Καθαρό υετογράφημα σχεδιασμού (T=100 έτη)

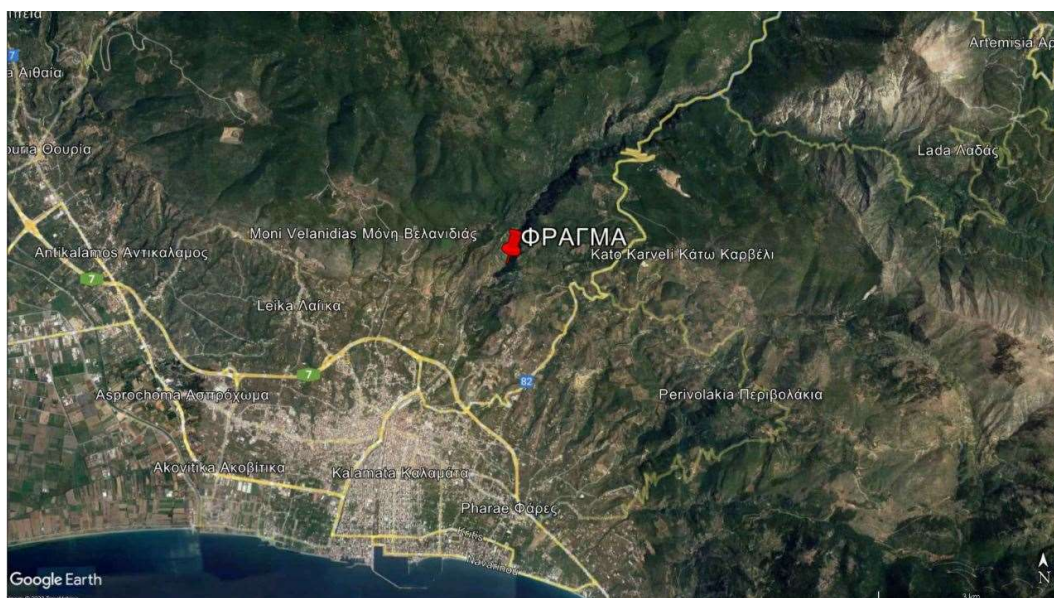
## 5.7 Σενάρια

### 5.7.1 Υφιστάμενη κατάσταση

Πραγματοποιείται υδρολογική ανάλυση για την υφιστάμενη κατάσταση του υδρολογικού δικτύου χωρίς καμία παρέμβαση (π.χ. κατασκευή φράγματος). Η ανάλυση γίνεται για περίοδο επαναφοράς  $T=50$  έτη και με αυτή αξιολογείται ακολούθως η επάρκεια των υποδομών στην πόλη της Καλαμάτας.

### 5.7.2 Φράγμα

Διερευνάται η κατασκευή φράγματος ανάσχεσης, ύψους 25 m, επί του Νέδοντα, πλησίον του λατομείου Μπάκα. Στη θέση αυτή η στάθμη της κοίτης του ποταμού είναι +120 m. Δηλαδή, η Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (ΑΣΛ) του εξεταζόμενου φράγματος είναι +145 m. Εξετάζεται η περίπτωση φράγματος βαρύτητας από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα RCC με υπερχειλιστή τύπου Ogee.



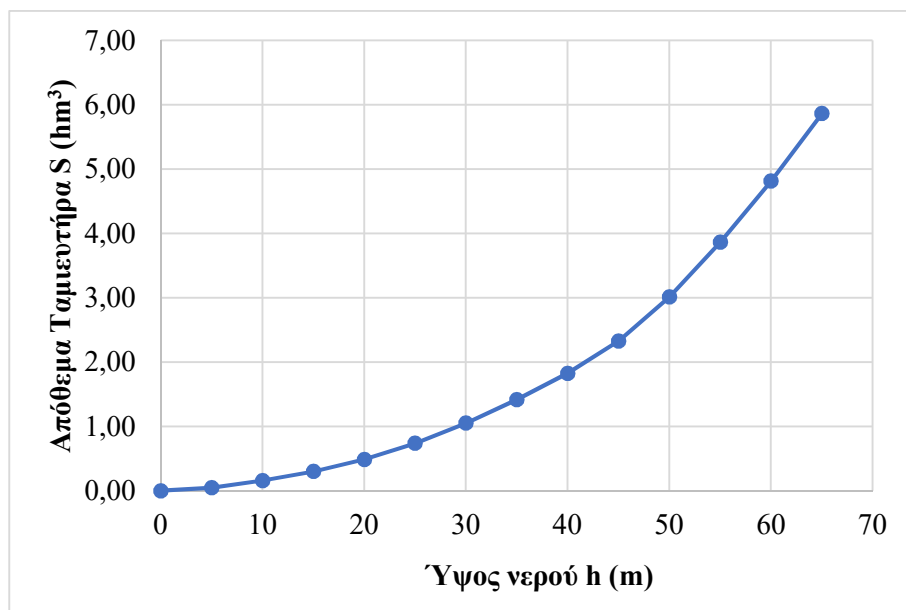
Σχήμα 27. Θέση φράγματος

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) μετατρέπεται σε ισοϋψείς (contours) και μέσω AutoCAD υπολογίζεται το εμβαδόν κατάκλυσης για διάφορες στάθμες. Επομένως, με δεδομένο, πλέον, το εμβαδόν της λεκάνης κατάκλυσης για διάφορες στάθμες, παράγεται η καμπύλη στάθμης – αποθέματος και η καμπύλη στάθμης – επιφάνειας. Συγκεκριμένα, για την παραγωγή της καμπύλης στάθμης – αποθέματος υπολογίστηκε με γραμμική παρεμβολή ο τμηματικός όγκος  $\Delta S$  που περικλείεται μεταξύ κάθε ζεύγους διαδοχικών σταθμών και αντίστοιχων επιφανειών.

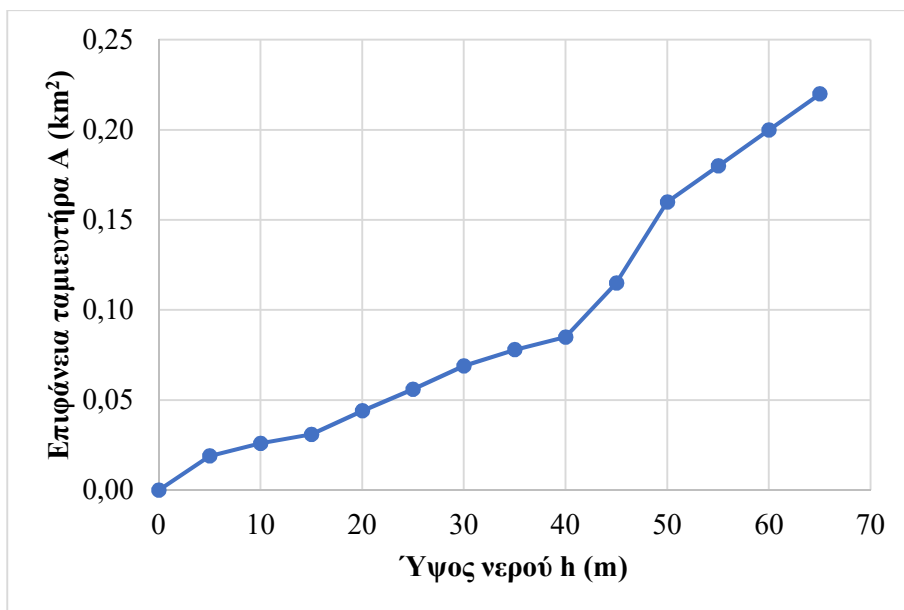
Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων

Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά ταμειυτήρα ανά στάθμη

Στάθμη z (m)	Ύψος νερού h (m)	Επιφάνεια ταμειυτήρα A (km <sup>2</sup> )	Συνολικός όγκος S (hm <sup>3</sup> )
120	0	0.000	0.00
125	5	0.019	0.05
130	10	0.026	0.16
135	15	0.031	0.30
140	20	0.044	0.49
<b>145</b>	<b>25</b>	<b>0.056</b>	<b>0.74</b>
150	30	0.069	1.05
155	35	0.078	1.42
160	40	0.085	1.83
165	45	0.115	2.33
170	50	0.160	3.02
175	55	0.180	3.87
180	60	0.200	4.82
185	65	0.220	5.87
190	70	0.240	7.02
195	75	0.260	8.27
200	80	0.280	9.62

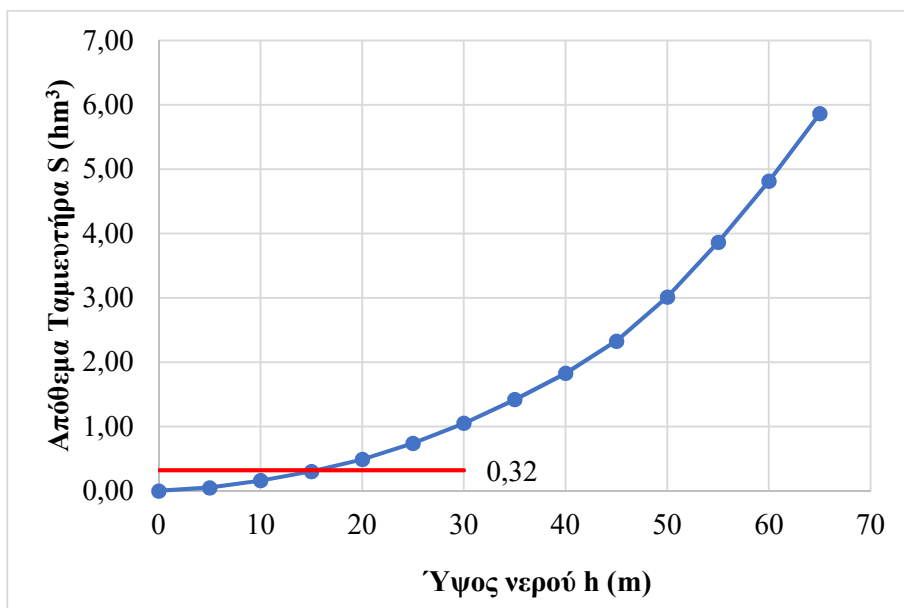


Σχήμα 28. Καμπύλη στάθμης-όγκου



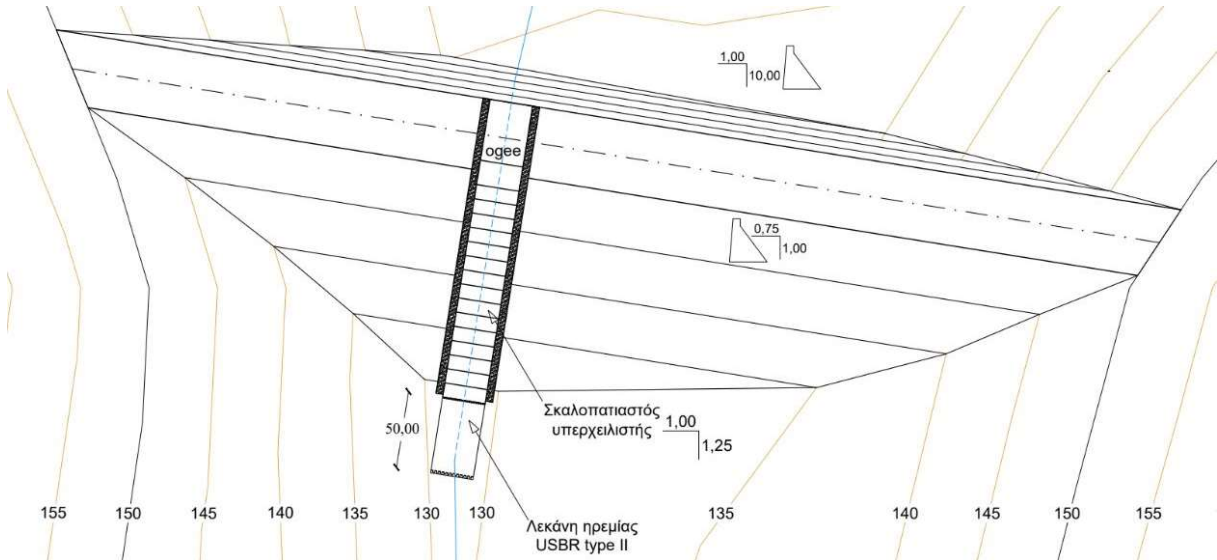
Σχήμα 29. Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας

Για τον καθορισμό του ύψους της στέψης του υπερχειλιστή απαιτείται υπολογισμός της στερεοαπορροής της ανάντη λεκάνης, από την οποία προκύπτει ο νεκρός όγκος. Η έκταση της ανάντη λεκάνης είναι  $106 \text{ km}^2$ , ο συντελεστής απορροής λαμβάνεται 25% και η πυκνότητα των φερτών θεωρείται  $1.64 \text{ t/m}^3$ . Με τα δεδομένα αυτά υπολογίζεται κατά Γαντίλονις η συνολική ετήσια στερεοαπορροή (σύρση και αιώρηση)  $25378 \text{ m}^3/\text{y}$ . Θεωρώντας την ωφέλιμη διάρκεια ζωής του έργου ίση με 50 χρόνια, υπολογίζεται ο συνολικός όγκος φερτών  $0.32 \text{ hm}^3$ . Ο όγκος αυτός ονομάζεται νεκρός όγκος και η αντίστοιχη στάθμη ονομάζεται Κατώτατη Στάθμη Λειτουργίας (ΚΣΛ). Με βάση την σχέση στάθμης – αποθέματος υπολογίζεται η ΚΣΛ στα +135 m. Επομένως το φράγμα ύψους 25 m επαρκεί για τη συγκράτηση του υπολογιζόμενου όγκου φερτών.

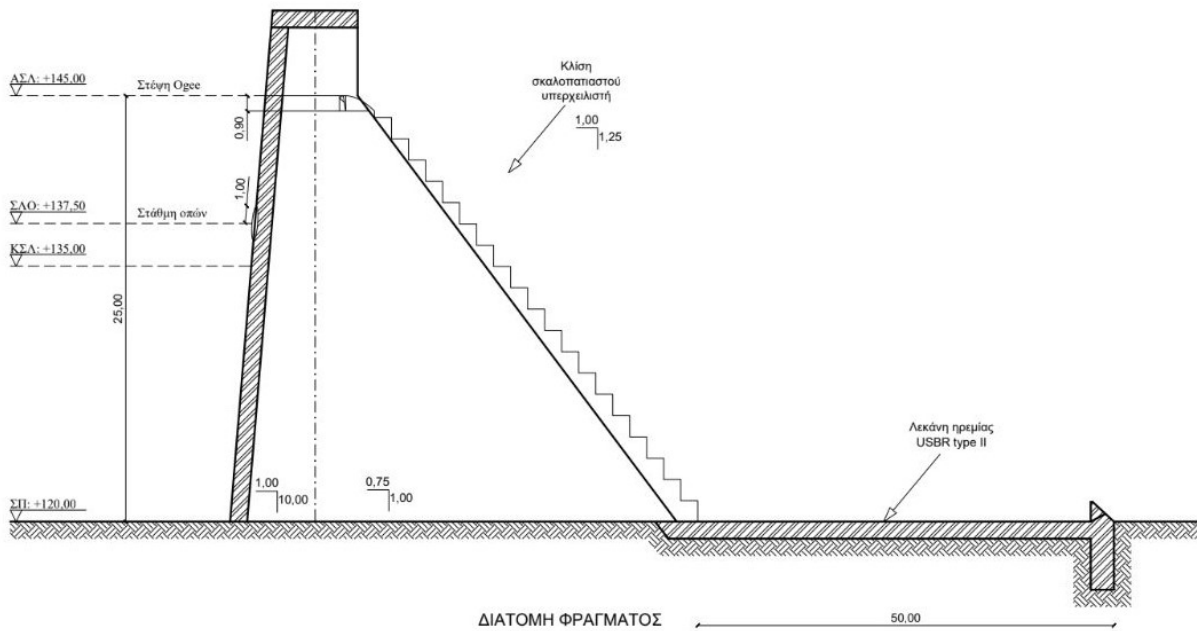


Σχήμα 30. Νεκρός όγκος

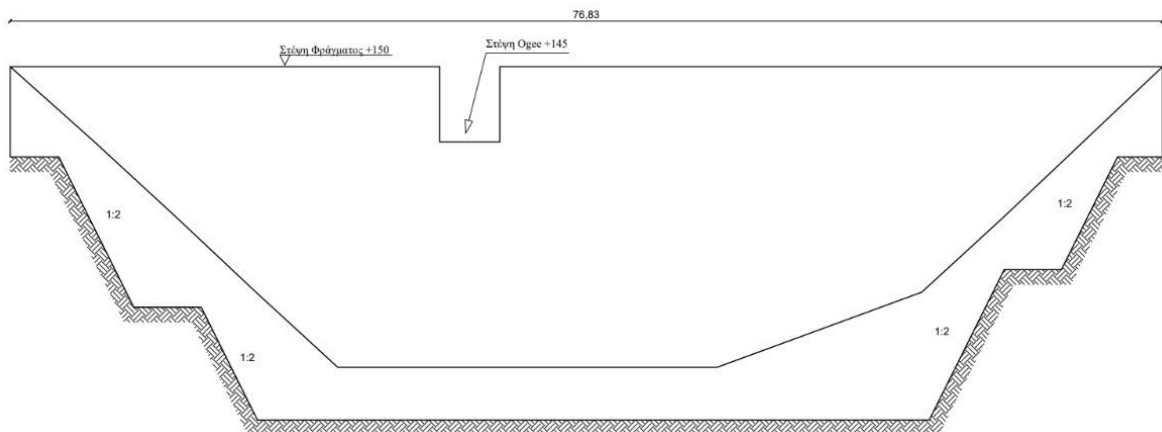
Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων



Σχήμα 31. Οριζοντιογραφία φράγματος



Σχήμα 32. Διατομή φράγματος



Σχήμα 33. Μηκοτομή φράγματος



Πραγματοποιείται διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων ως προς το πλάτος του υπερχειλιστή, τον αριθμό των οπών εκκένωσης και την πληρότητα του ταμιευτήρα. Οι οπές εκκένωσης είναι κυκλικές, τοποθετούνται στο μέσον του ύψους του φράγματος και έχουν διάμετρο 2 m.

Πίνακας 12. Σενάριο φράγματος

Πλάτος υπερχειλιστή i (m)	Σενάριο			
	αριθμός οπών εκκένωσης j			
	0	1	3	5
	<b>FULL RES</b>			
3	S_W3_C0_F	S_W3_C1_F	S_W3_C3_F	S_W3_C5_F
5	S_W5_C0_F	S_W5_C1_F	S_W5_C3_F	S_W5_C5_F
7	S_W7_C0_F	S_W7_C1_F	S_W7_C3_F	S_W7_C5_F
	<b>MID RES</b>			
3	S_W3_C0_M	S_W3_C1_M	S_W3_C3_M	S_W3_C5_M
5	S_W5_C0_M	S_W5_C1_M	S_W5_C3_M	S_W5_C5_M
7	S_W7_C0_M	S_W7_C1_M	S_W7_C3_M	S_W7_C5_M
	<b>EMPTY RES</b>			
3	S_W3_C0_E	S_W3_C1_E	S_W3_C3_E	S_W3_C5_E
5	S_W5_C0_E	S_W5_C1_E	S_W5_C3_E	S_W5_C5_E
7	S_W7_C0_E	S_W7_C1_E	S_W7_C3_E	S_W7_C5_E

## 5.8 Προσομοίωση στο HEC-HMS

Η υδρολογική ανάλυση έγινε με το λογισμικό HEC-HMS. Δεδομένα εισόδου αποτελούν οι λεκάνες που έχουν χαραχτεί, με όλα τους τα γεωμετρικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά (π.χ. χρόνος υστέρησης, απώλειες, CN) και το υετογράφημα σχεδιασμού. Στη περίπτωση ύπαρξης φράγματος ορίζονται και χαρακτηριστικά μεγέθη που αφορούν στον ταμιευτήρα και στην υπερχείλιση. Οι λεκάνες εισάγονται ως αρχεία .shp από το GIS ενώ όλα τα δεδομένα σε μορφή πίνακα προέρχονται από επεξεργασία στο EXCEL.



Σχήμα 34. Δεδομένα εισόδου (Components) στο HEC-HMS (αριστερά χωρίς φράγμα, δεξιά με φράγμα)

Components Compute Results

Subbasin Loss Transform Options

**Basin Name: basins**  
**Element Name: SB1**

Description:

Downstream: Junction-1

\* Area (KM2) 19,65

Latitude Degrees:

Longitude Degrees:

Discretization Method: --None--

Canopy Method: --None--

Surface Method: --None--

Loss Method: SCS Curve Number

Transform Method: SCS Unit Hydrograph

Baseflow Method: --None--

Components Compute Results

Subbasin Loss Transform Options

**Basin Name: basins**  
**Element Name: SB1**

Initial Abstraction (MM) 9,71

\* Curve Number: 57

\* Impervious (%) 0,0

Components Compute Results

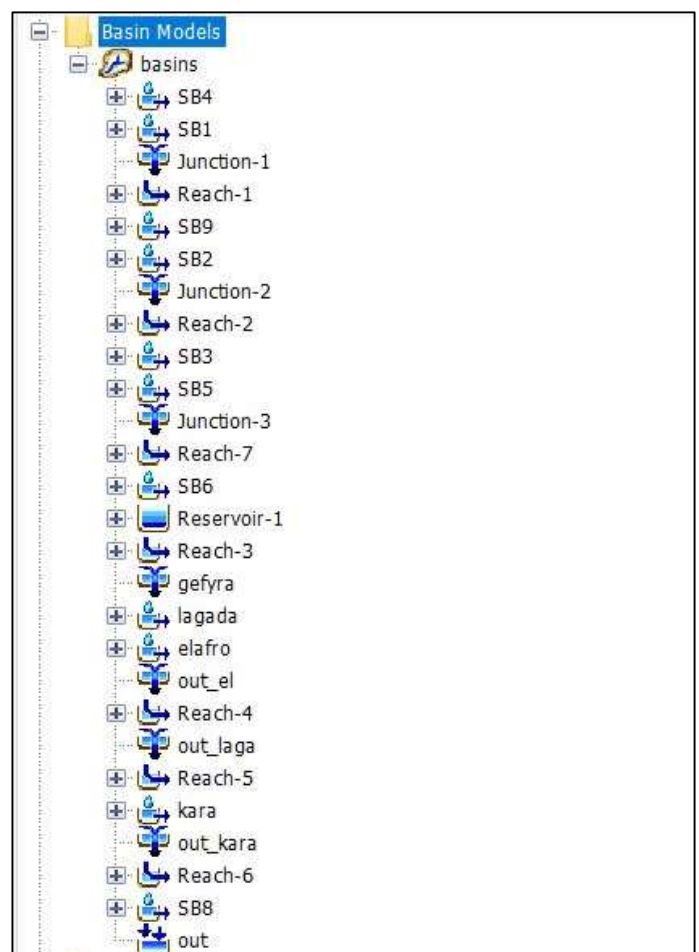
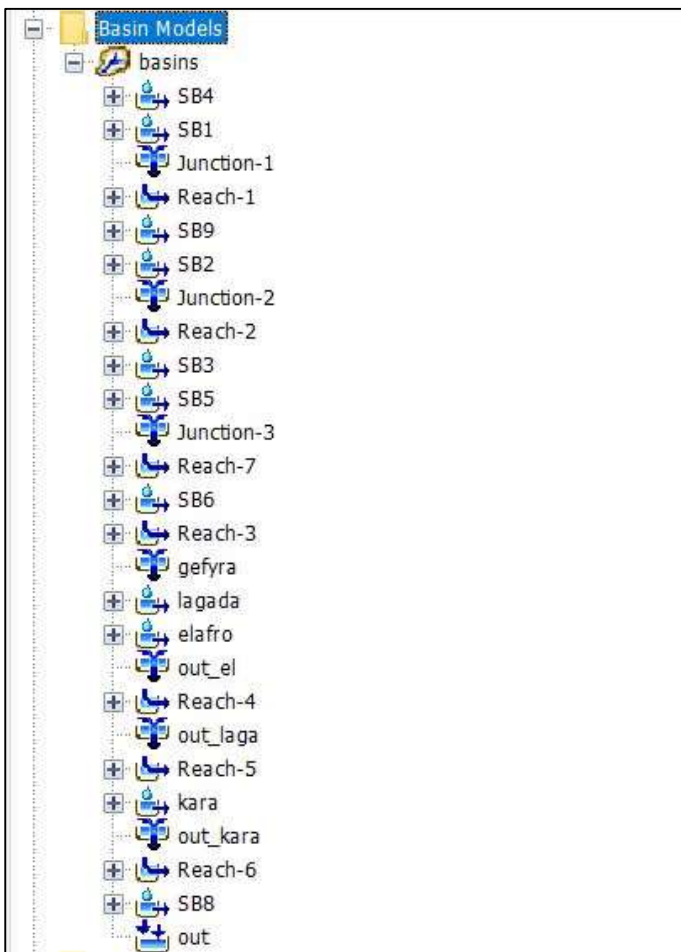
Subbasin Loss Transform Options

**Basin Name: basins**  
**Element Name: SB1**

Graph Type: Standard (PRF 484)

\* Lag Time (MIN) 45

Σχήμα 35. Δεδομένα εισόδου των λεκανών στο HEC-HMS



Σχήμα 36. Ορισμός λεκανών, κόμβων, συνδέσμων και ταμειυτήρα (δεξιά) στο HEC-HMS

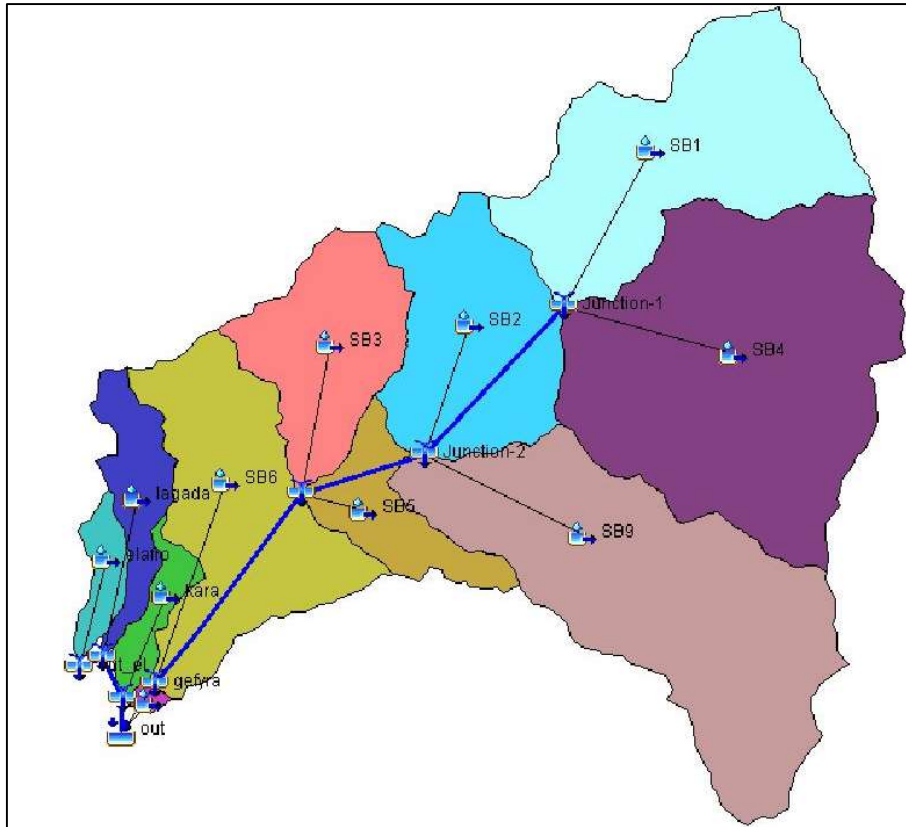


Components		Compute	Results
Reservoir		Options	
<b>Basin Name: basins</b>			
<b>Element Name: Reservoir-1</b>			
Description:			
Downstream:	Reach-3		
Method:	Outflow Structures		
Storage Method:	Elevation-Storage		
*Elev-Stor Function:	NEW		
Initial Condition:	Elevation		
*Initial Elevation (M)	145		
Main Tailwater:	Assume None		
Auxiliary:	--None--		
Time Step Method:	Automatic Adaption		
Outlets:	3		
Spillways:	1		
Dam Tops:	0		
Pumps:	0		
Dam Break:	No		
Dam Seepage:	No		
Release:	No		
Evaporation:	No		

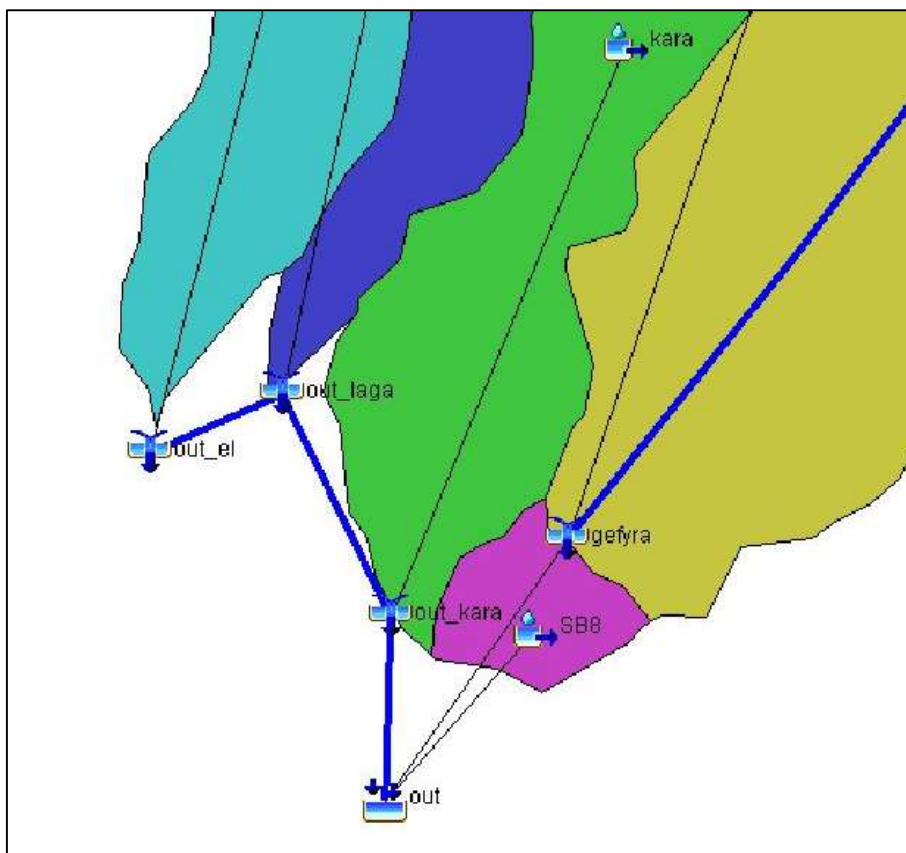
Components		Compute	Results
Reservoir		Outlet 1	Options
<b>Basin Name: basins</b>			
<b>Element Name: Reservoir-1</b>			
Method:	Orifice Outlet		
Direction:	Main		
Number Barrels:	1		
*Center Elevation (M)	137,5		
*Area (M2)	3,14		
*Coefficient:	0,8		

Components		Compute	Results
Reservoir		Spillway 1	Options
<b>Basin Name: basins</b>			
<b>Element Name: Reservoir-1</b>			
Method:	Broad-Crested Spillway		
Direction:	Main		
*Elevation (M)	145		
*Length (M)	7		
*Coefficient (M <sup>0.5</sup> /S)	2		
Gates:	0		

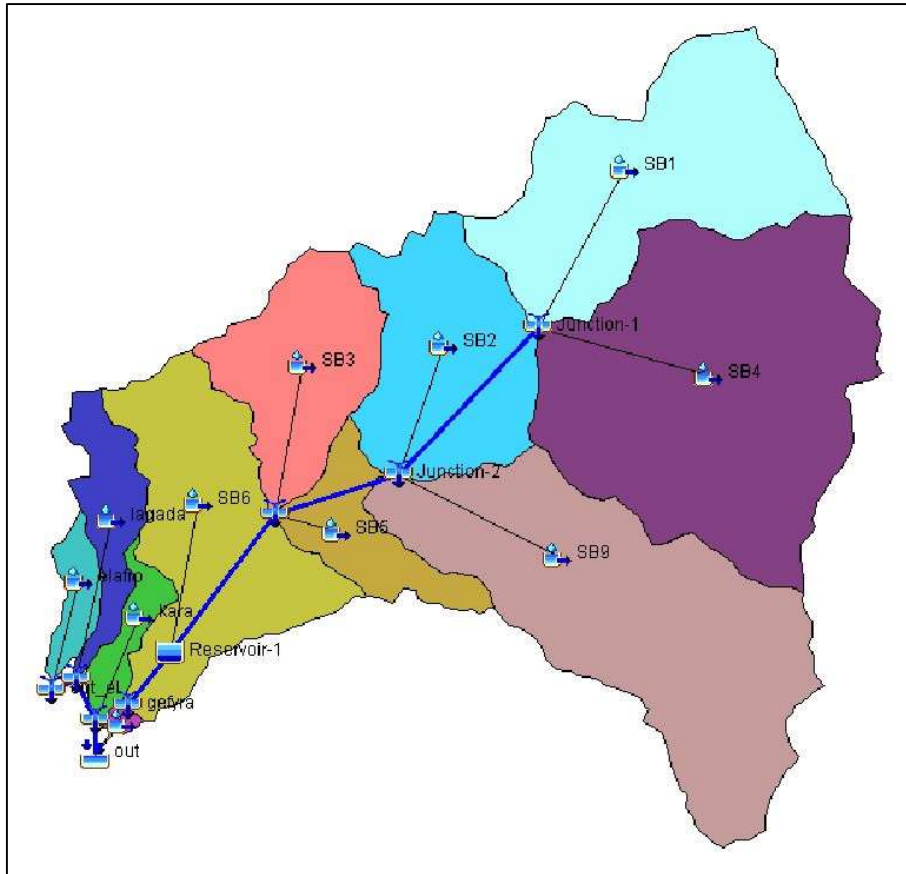
Σχήμα 37. Δεδομένα εισόδου του φράγματος στο HEC-HMS



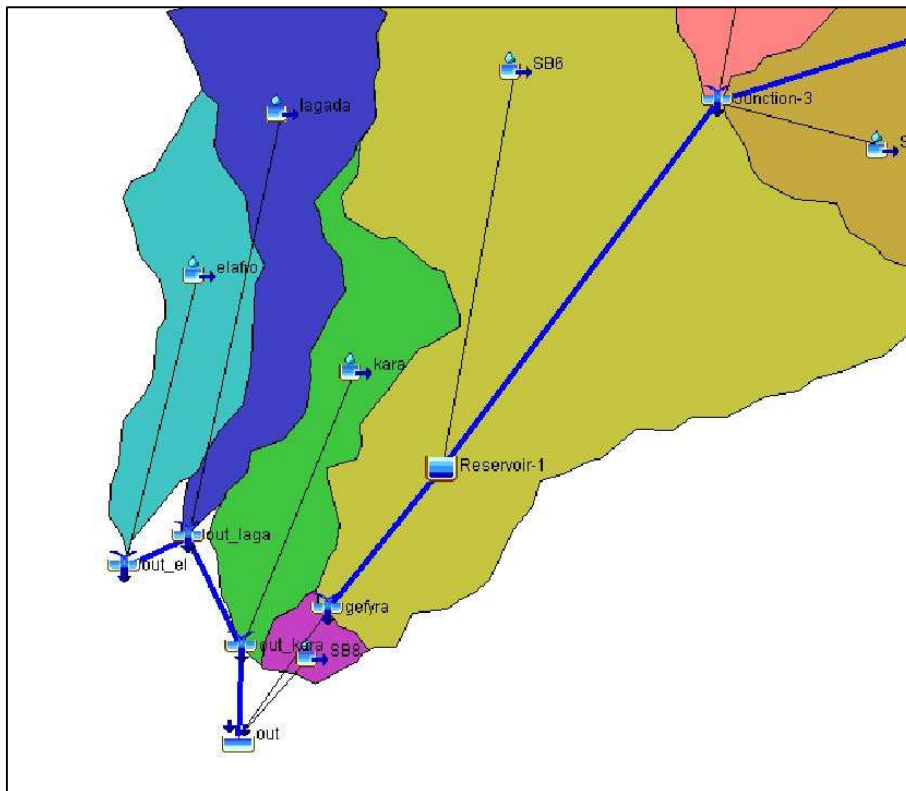
Σχήμα 38. Αποτύπωση του υδρολογικού δικτύου λεκανών χωρίς φράγμα στο HEC-HMS



Σχήμα 39. Αποτύπωση του υδρολογικού δικτύου λεκανών χωρίς φράγμα στο HEC-HMS (στην έξοδο)

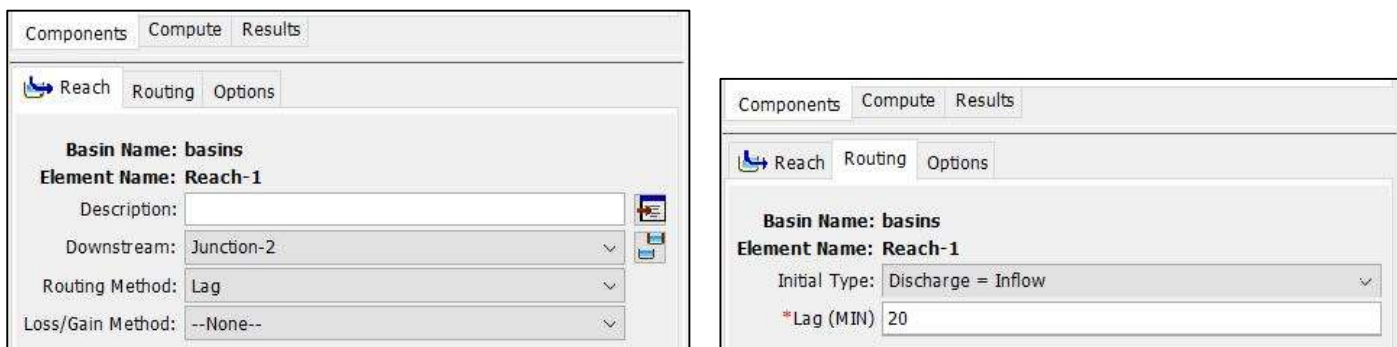


Σχήμα 40. Αποτύπωση του υδρολογικού δικτύου λεκανών με φράγμα στο HEC-HMS



Σχήμα 41. Αποτύπωση του υδρολογικού δικτύου λεκανών με φράγμα στο HEC-HMS (στην έξοδο)

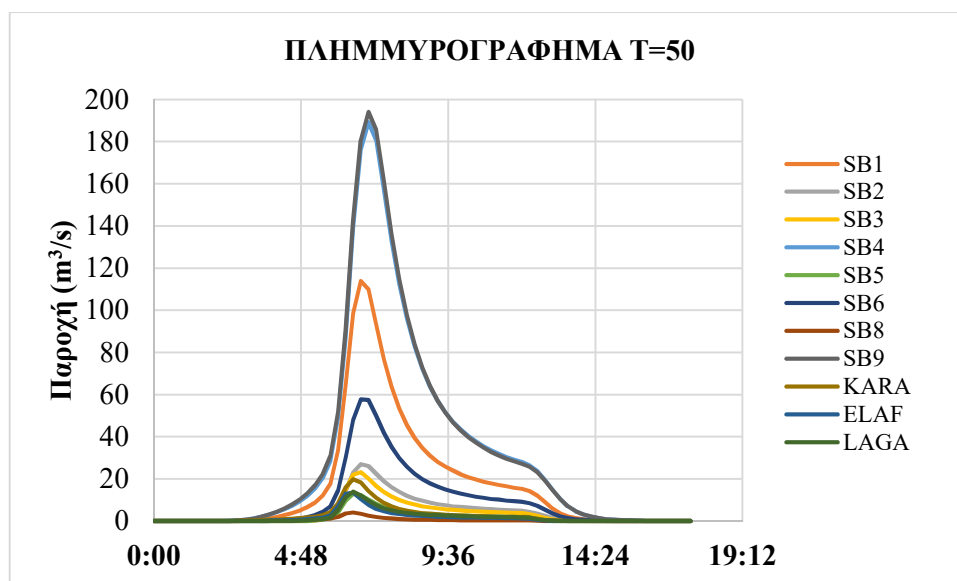
Οι κόμβοι (Junction) συνδέονται μεταξύ τους με το στοιχείο Reach. Με το στοιχείο αυτό ορίζεται η μέθοδος διόδευσης της πλημμύρας από τον ανάντη κόμβο στον κατόντη. Λόγω των μεγάλων κλίσεων στις λεκάνες και των μικρών αποστάσεων, η διόδευση καθορίζεται μέσω χρονικής μετάθεσης του ανάντη πλημμυρογραφήματος. Η χρονική μετάθεση της ανάντη πλημμύρας υπολογίστηκε προσεγγιστικά. Το μήκος και η κλίση κάθε κλάδου μετρήθηκαν μέσω GIS. Θεωρήθηκε μια τυπική διατομή του Νέδοντα, τραπεζοειδούς σχήματος με πλάτος πυθμένα  $b=8.0$  m, κλίση πρανών  $z=1.5$ , αριθμό Manning  $n=0.1$ . Με τη σχέση του Manning και δεδομένη την αιχμή της ανάντη πλημμύρας, υπολογίστηκε για κάθε κλάδο το ομοιόμορφο βάθος ροής. Έπειτα υπολογίστηκε το εμβαδόν  $A$  της υγρής διατομής, άρα υπολογίστηκε η ταχύτητα ροής με τη σχέση  $u=Q/A$ . Τέλος, με γνωστό το μήκος  $L$  του κλάδου διόδευσης υπολογίστηκε ο χρόνος μετάθεσης  $t=L/u$ .

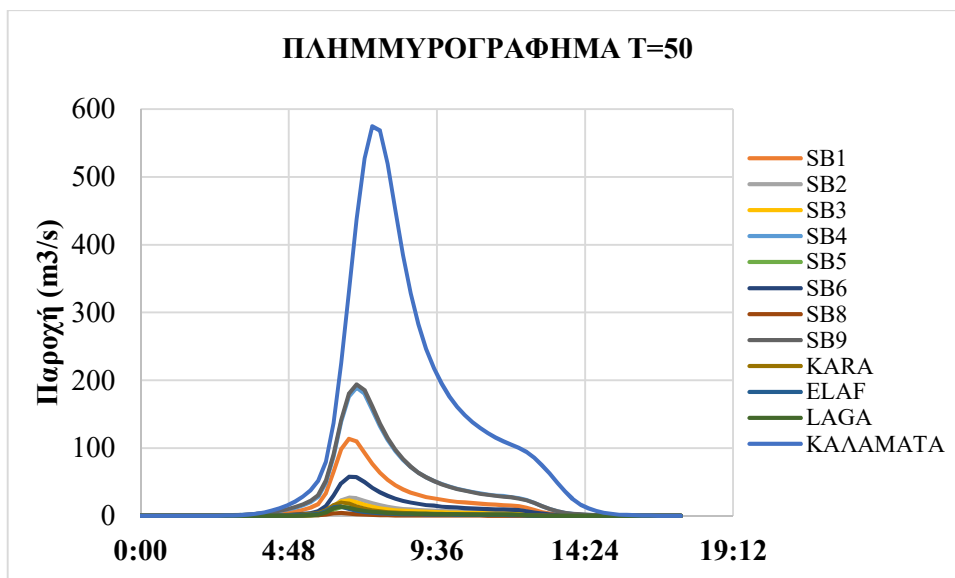


Σχήμα 42. Δεδομένα εισόδου των Reaches

## 5.9 Αποτελέσματα υδρολογικής ανάλυσης

Χωρίς καμία παρέμβαση στην υδρολογία της λεκάνης, η αιχμή στην αρχή της διευθετημένης κοίτης του Νέδοντα για περίοδο επαναφοράς  $T=50$  έτη είναι  $Q=574.8$  m<sup>3</sup>/s. Η παροχή αυτή δεν διαφέρει σημαντικά από προηγούμενες μελέτες που έχουν εκπονηθεί, ωστόσο είναι αρκετά μεγάλη και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να παροχετευτεί στην υφιστάμενη διευθετημένη κοίτη του Νέδοντα.

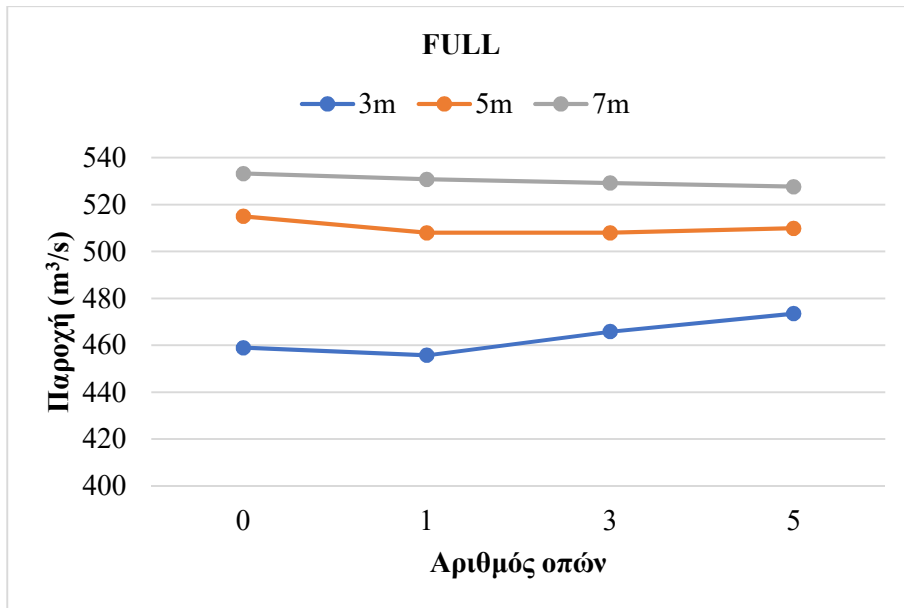




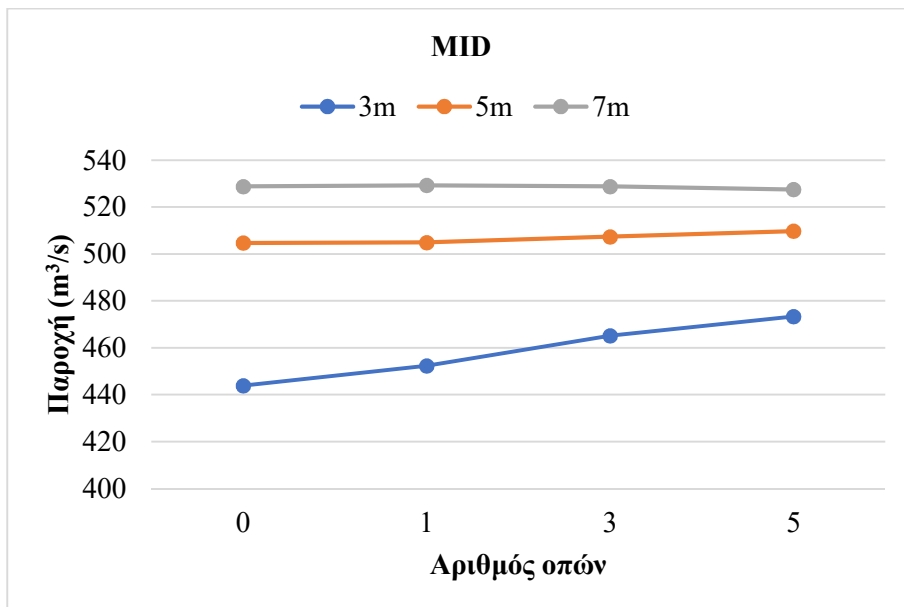
Η κατασκευή φράγματος επηρεάζει την υδρολογία της λεκάνης και με βάση τα αποτελέσματα φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στην απομείωση της αιχμής στην έξοδο της λεκάνης. Εκτελέστηκε πλήθος σεναρίων με καταιγίδα 50 ετών, για να εντοπιστεί τα βέλτιστα χαρακτηριστικά του φράγματος.

Πίνακας 13. Αιχμή παροχής στην είσοδο της διευθέτησης για κάθε σενάριο φράγματος (T=50 έτη)

Πλάτος υπερχειλιστή i (m)	Σενάριο (T=50)			
	αριθμός οπών εκκένωσης j			
	0	1	3	5
	<b>FULL RES</b>			
3	459.0	455.8	465.9	473.5
5	515.0	508.0	508.0	509.9
7	533.2	530.8	529.2	527.6
	<b>MID RES</b>			
3	<b>443.9</b>	452.4	465.2	473.4
5	504.7	504.9	507.4	509.8
7	528.8	529.3	528.8	527.5
	<b>EMPTY RES</b>			
3	<b>433.6</b>	444.7	460.2	470.9
5	495.1	497.0	502.6	506.9
7	523.8	525.2	525.8	525.6

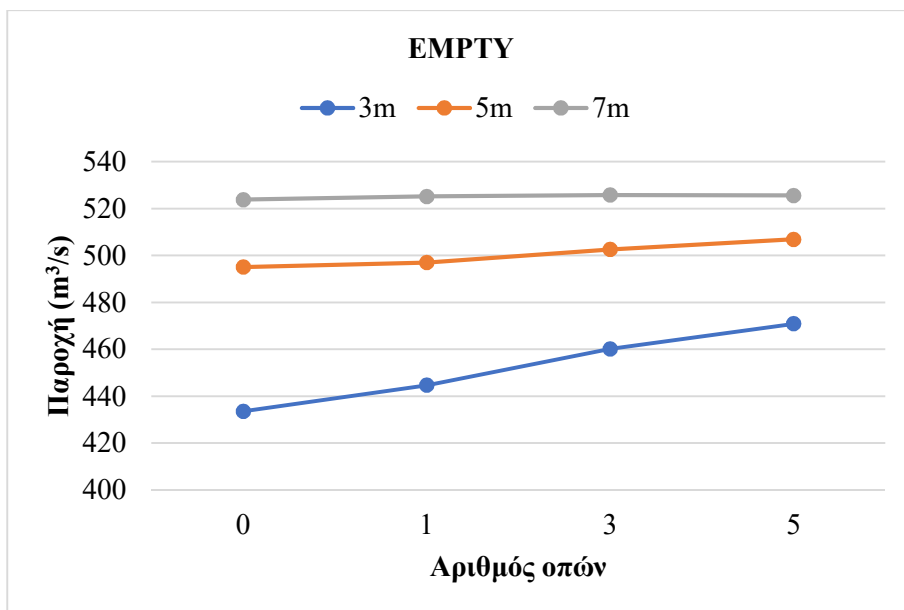


Σχήμα 43. Παροχή στην είσοδο της διευθέτησης με αρχικά πλήρη ταμειυτήρα (T=50)

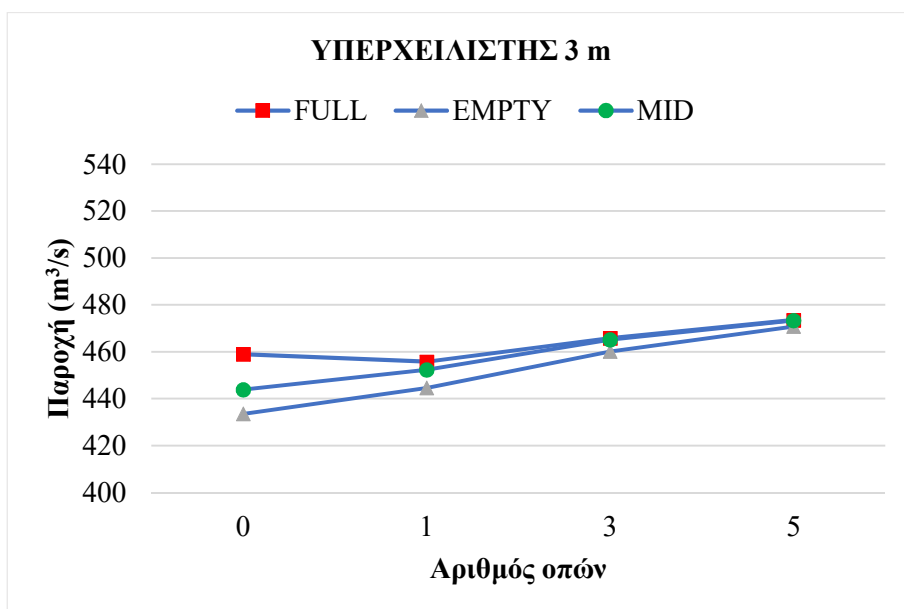


Σχήμα 44. Παροχή στην είσοδο της διευθέτησης με αρχικά μέσο ταμειυτήρα (T=50)





Σχήμα 45. Παροχή στην είσοδο της διευθέτησης με αρχικά άδειο ταμιευτήρα (T=50)



Σχήμα 46. Παροχή στην είσοδο της διευθέτησης με υπερχειλιστή 3 m (T=50)

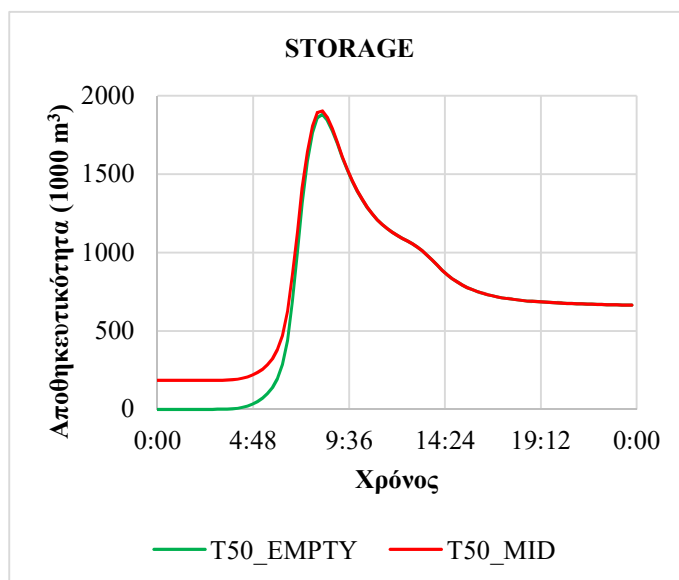
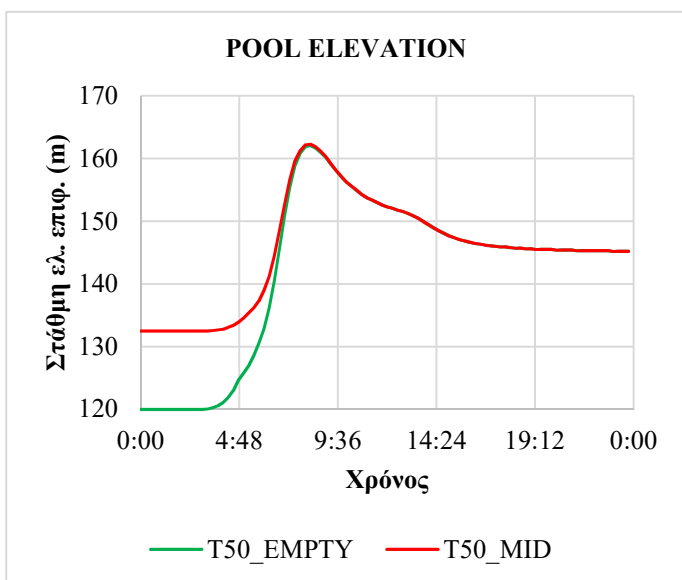
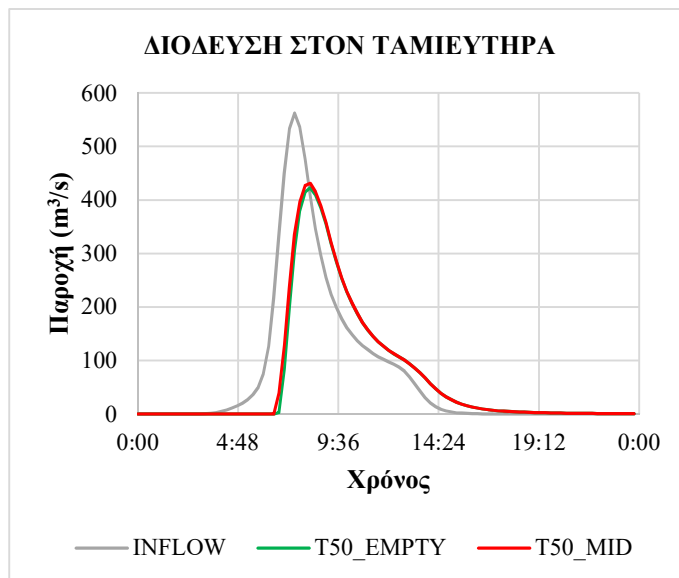
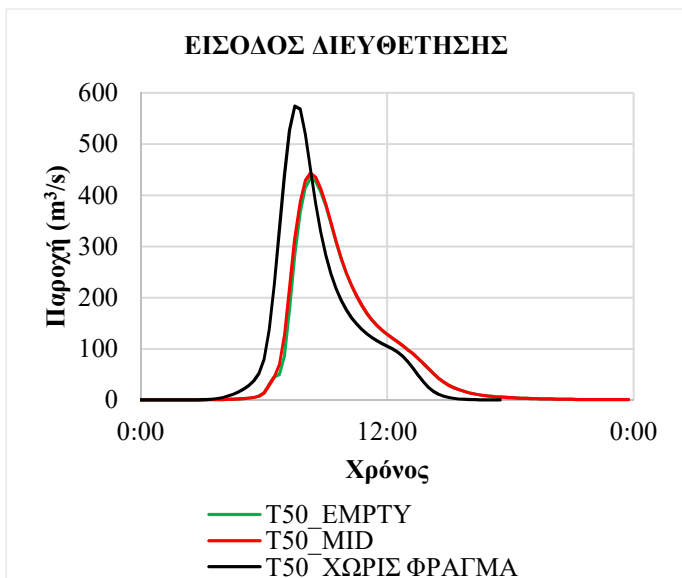
Τα χαρακτηριστικά του φράγματος είναι τελικά τα ακόλουθα:

- Πλάτος υπερχειλιστή: L=3.0 m
- Αριθμός οπών: 0

Στην πραγματικότητα κατασκευάζονται 3 οπές, ωστόσο επιλέχθηκε να θεωρηθεί ότι δεν είναι λειτουργικές λόγω έμφραξής τους από φερτά

- Αρχική πληρότητα ταμιευτήρα: μέση ή μηδενική

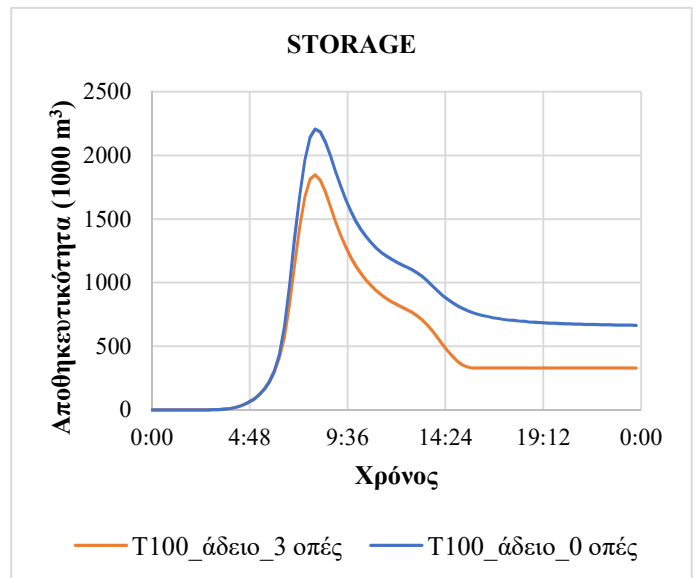
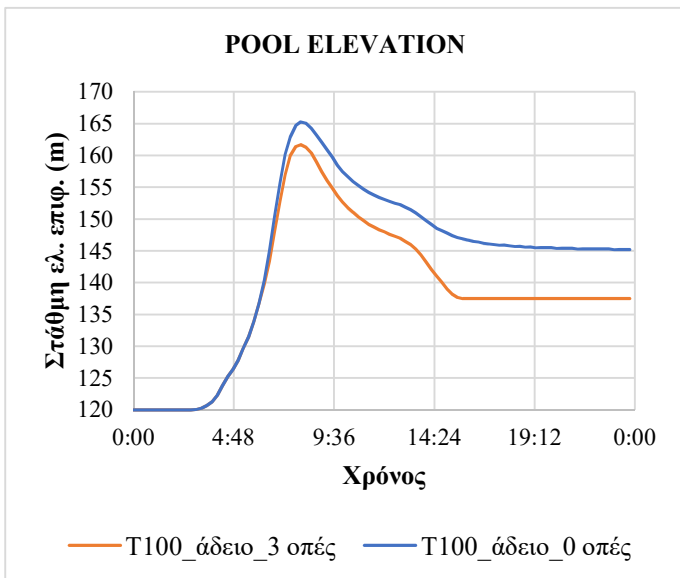
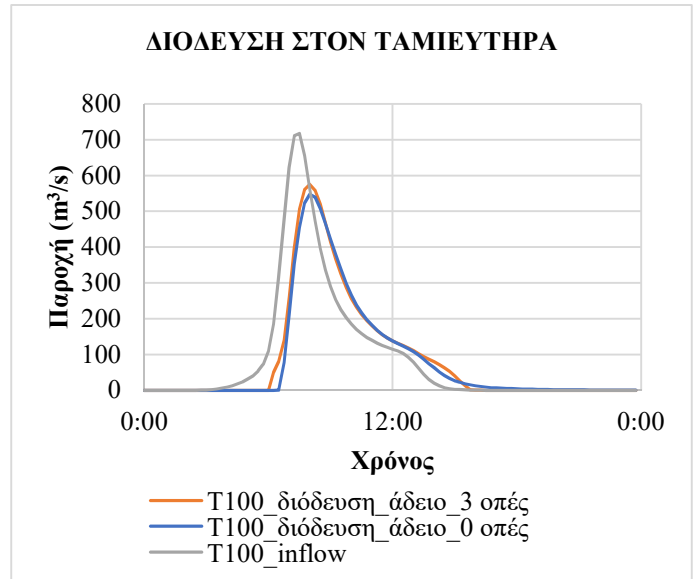
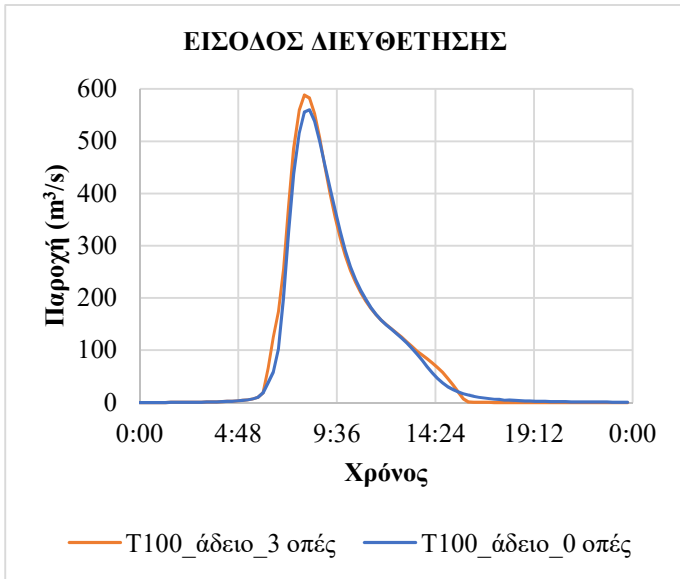
Θεωρήθηκε πως στην πλημμύρα των 50 ετών είναι υπερβολικά δυσμενές να ληφθεί υπόψη πως αρχικά ο ταμιευτήρας είναι πλήρης.



Με δεδομένο το πλάτος υπερχειλιστή στα 3.0 m, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις και για καταγίδα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη. Στη περίπτωση αυτή ο ταμιευτήρας θεωρήθηκε αρχικά άδειος και εκτελέστηκαν δύο σενάρια με 0 και 3 οπές.

Πίνακας 14. Αιχμή παροχής στην είσοδο της διευθέτησης για σενάρια φράγματος (T=100 έτη)

Πλάτος υπερχειλιστή i (m)	Σενάριο (T=100)	
	αριθμός οπών εκκένωσης j	
	0	3
	<b>EMPTY RES</b>	
<b>3</b>	560.4	588.5



## 6 Υδραυλική μελέτη

### 6.1 Εισαγωγή

Η διευθέτηση του ποταμού Νέδοντα ξεκινάει στις παρυφές της πόλης της Καλαμάτας λίγο μετά της συμβολής του με την περιφερειακή οδό της Καλαμάτας-Αυτοκινητόδρομος Μορέα και λίγο πριν την γέφυρα Σπάρτης. Το κομμάτι αυτό χιλιομετρήθηκε στην τιμή 3+250 m και διασχίζει την πόλη μέχρι τη συμβολή με τη θάλασσα στη θέση 0+000 m.

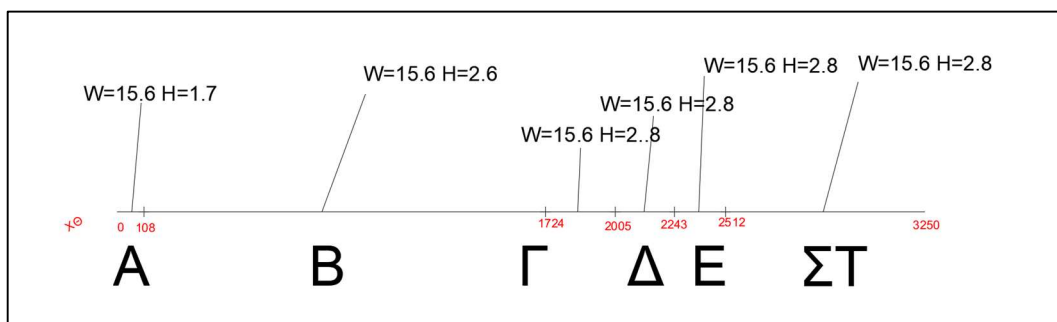
Στη χιλιομετρική θέση 2+800 m συμβάλει διώρυγα εκτροπής του οριοθετημένου σύμφωνα με το ΦΕΚ 62Δ/19-02-2008 ρέματος Καραμπογιά, στην οποία παροχετεύονται και τα ρέματα Λαγκάδα και Ελαφρογκρέμη με τα αντίστοιχα τεχνικά έργα που περιγράφονται στη μελέτη των Υδροεξυγιαντική και Σύστας (2021). Οι παροχή αιχμής της διώρυγας υπολογίστηκε κατά τα παραπάνω κεφάλαια και προστέθηκε στην παροχή αιχμής του ποταμού Νέδοντα με τη μέθοδο της διόδευσης στο μοντέλο του HEC-HMS.

Σε όλο το μήκος, το διευθετημένο κομμάτι του Νέδοντα δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές της γεωμετρίας των διατομών με πλάτος περίπου 15.6 m και ύψος παρειών 1.7-2.8 m όπου οι περισσότερες κρίθηκαν ανεπαρκείς ως προς τη παροχέτευση των υπολογισμένων πλημμυρικών όγκων.



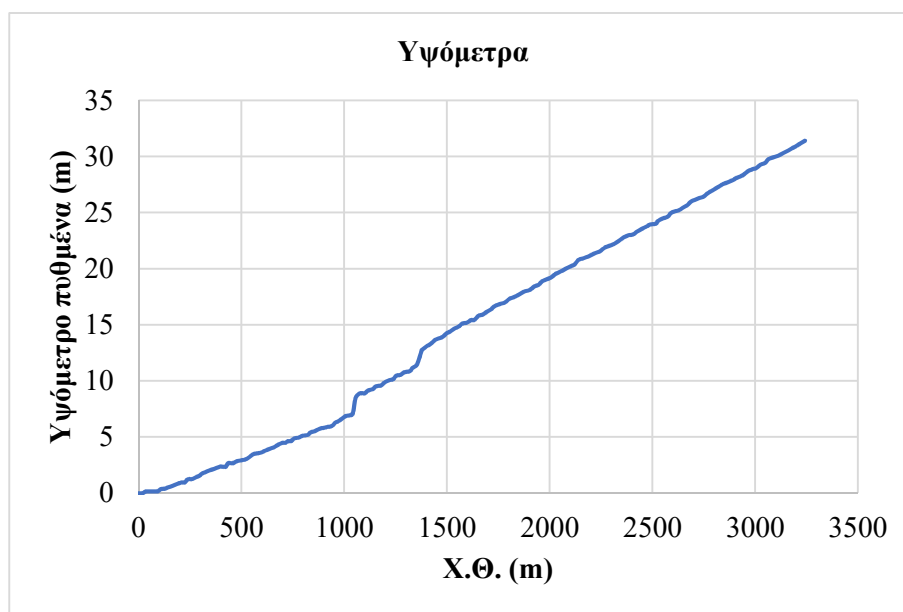
Το ποτάμι χωρίστηκε σε 6 τμήματα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των διατομών του. Στα τμήματα Γ, Δ και Ε η κοίτη του έχει καλυφθεί με πλάκα σκυροδέματος, ώστε να καλυφθούν χρήσεις πάρκινγκ, χώρων αναψυχής και οδικού δικτύου. Το κομμάτι ξεκινάει στη ΧΘ 1+724 m και τελειώνει στη ΧΘ 2+512 m, με το τμήμα Δ (2+005 m – 2+243 m) να έχει διαδοχικές σειρές υποστυλωμάτων στο εσωτερικό της κοίτης του ανά 6 m, διάστασης 0.6x0.6 m. Αυτό είναι το πιο ευάλωτο τμήμα σε επιχώσεις από απόθεση στερεών, με συνέπεια τη μείωση της παροχευτικότητας και της λειτουργίας του ως αγωγού υπό πίεση, κάτι το οποίο πρέπει να

αποφευχθεί. Κατά την εγκάρσια διεύθυνση της κοίτης υπάρχει κλίση 1:8-1:11 και κλίση παρειάς 1:5. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται σχηματικά κάποια από τα χαρακτηριστικά της διευθετημένης κοίτης.



Σχήμα 47. W=πλάτος (m) H=ύψος παρειάς (m)

Για τον πλήρη ορισμό του γεωμετρικού προσομοιώματος του ποταμού χρειάζεται επίσης η μηκοτομή του κεντρικού άξονα του και τα υψόμετρα που παρουσιάζει κατά μήκος του, έτσι ώστε να μπορεί να επιλυθεί η εξίσωση ενέργειας και ο υπολογισμός πρωτίστως της ελεύθερης επιφάνειας που μας ενδιαφέρει για την αξιολόγηση των υφιστάμενων γεωμετρικών χαρακτηριστικών των τεχνικών έργων και του όγκου υπερχείλισης των παρειών του και δευτερευόντως της ταχύτητας ροής που δεν πρέπει να υπερβαίνει κάποια όρια.



Σχήμα 48. Υψόμετρα πυθμένα

Τα υψόμετρα ξεκινούν στην τιμή 0 που αντιστοιχεί στο επίπεδο της θάλασσας στην εκβολή έως 31.4 m λίγο ανάντη της γέφυρας Σπάρτης. Η γεωμετρία επιβάλλει κλίσεις μικρότερες του 1% σε όλο το μήκος εκτός από δύο σημειακές πτώσεις (αναβαθμοί) που είναι ευδιάκριτα αντιληπτές στη μηκοτομή. Μέση κλίση υπολογίστηκε ίση με 1%. Το χαρακτηριστικό αυτό καθιστά εύκολη την επίλυση των εξισώσεων ενέργειας-ορμής καθώς το ύψος πίεσης προσεγγίστηκε μπορεί να θεωρηθεί ίσο με την απόσταση της ελεύθερης επιφάνειας από τον πυθμένα.

Ένας προσεγγιστικός και προκαταρκτικός υπολογισμός της παροχευτικότητας του διευθετημένου τμήματος με δεδομένη τη σταθερή κλίση και τις μικρές αλλαγές στη γεωμετρία των διατομών μπορεί να δοθεί από την εξίσωση του Manning για ορθογωνικούς αγωγούς με ομοιόμορφη ροή:

$$V = y_0^{2/3} \times J^{1/2} \times \frac{1}{n}$$

Η κλίση θεωρείται ίση με 0.01, το ομοιόμορφο βάθος ίσο με 2.6 m και συντελεστής Manning ίσος με 0.016 καθώς οι διατομές είναι κατασκευασμένες από σκυρόδεμα.

Προκύπτει ταχύτητα ίση με 11.8 m/s και  $Q=V \cdot A = 239 \text{ m}^3/\text{s}$ . Εξ' αρχής φαίνεται η αδυναμία της υπάρχουσας διευθέτησης να παροχετεύσει τους όγκους των πλημμυρών αιχμής, πόσο δε μάλλον στο καλυμμένο τμήμα Δ, όπου η ύπαρξη υποστυλωμάτων μειώνει περισσότερο το εμβαδό της επιφάνειας ροής, αυξάνει τις τοπικές απώλειες ενέργειας και καθιστά αναγκαία την κατασκευή εργαστηριακού προσομοιώματος δισδιάστατης ροής (Koutsogiannis 2022).

Ο Νέδοντας διασχίζεται από 11 καταγεγραμμένες γέφυρες (Υδροεξυγιαντική και Σύστας), οι οποίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Χ.Θ	Περιγραφή	Διατομή	Παρατηρήσεις
0+080	Εκβολή στη θάλασσα		
0+183	Γέφυρα Οδ. Ευαγγελίστριας		Η ανοικτή διευθετημένη διατομή έχει εν γένει παρειές Υ:Β 5:1 και εγκάρσια κλίση πυθμένα 1:11(κατ:ορ)
0+380	Γέφυρα Οδ. Λυκούργου		
1+012	Γέφυρα Οδ. Μακεδονίας		
1+043	αναβαθμός 1,3μ.		
1+360	αναβαθμός 1,3μ.		
1+511	Γέφυρα Οδ. Περικλέους	B=14 Ηπαρειάς=2,10	
1+518~1+698	ανοικτή ορθογωνική διατομή	B=15,6 Ηπαρειάς =2,60	
1+704	Γέφυρα Οδού Παλαμά	B=14, Ηπαρειάς =2,10	
1+720	Άνοιγμα Γέφυρας Ο.Σ.Ε.	B=15,6, Η Ηπαρειάς =2,60	Στη θέση των σιδηροδοκών της γέφυρας Η~2,0
Γέφυρα Ιατρόπουλου 1+813	Καλυμμένο τμήμα (με προεντεταμένες δοκούς) -περιοχή στένωσης	B=14 Ηπαρειάς =2,30	1+736 -Γέφυρα Ιατρόπουλου με μεσόβαθρο πλάτους 2μ. και μήκους 7μ.
2+060	Γέφυρα Οδ. Κιλκίς		
2+060~2+320	Καλυμμένο τμήμα (με πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος και υποστυλώματα)	B=15,6 Ηπαρειάς =2,10, (παρειές Υ:Β 5:1)	
2+320	Γέφυρα Οδ. 23ης Μαρτίου		
2+320~2+512,5	Καλυμμένο τμήμα (με προεντεταμένες δοκούς)		
2+503	Γέφυρα Λέικων		
2+685	Γέφυρα Αγοράς		
2+940	Πεζογέφυρα		
3+175	Γέφυρα Οδ. Σπάρτης		

Οι γέφυρες είναι τεχνικά έργα άμεσα συνδεδεμένα με καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες και πρέπει να συμπεριληφθούν στο υδραυλικό μοντέλο, για να κριθεί η ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής και η διακινδύνευση των οικονομικών δραστηριοτήτων της πόλης. Πρέπει, δηλαδή, να υπολογιστεί η υπερπήδηση των γεφυρών από τον πλημμυρικό

όγκο και η πρόταση τεχνικών έργων ανακατασκευής τους σε περίπτωση που αυτό κριθεί σκόπιμο.

Στις διατομές γεφυρών αυξάνονται, επίσης, οι τοπικές απώλειες και μειώνεται το εμβαδό της βρεχόμενης επιφάνειας. Στην περίπτωση του Νέδοντα, οι περισσότερες γέφυρες εδράζονται εξωτερικά της διατομής και για αυτό το λόγο υπάρχει επίδραση στη ροή μόνο στη περίπτωση πλήρωσης του καναλιού.

## 6.2 Υδραυλικό μοντέλο HEC-RAS

Το πρόγραμμα HEC-RAS, που υλοποιήθηκε από το US Army Corps of Engineers, επιλύει τη μονοδιάστατη εξίσωση ενέργειας με γεωμετρικές οριακές συνθήκες για μόνιμες ή μη-μόνιμες συνθήκες ροής (αρχικές συνθήκες).

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2-1)$$

Where:  $Z_1, Z_2$  = elevation of the main channel inverts

$Y_1, Y_2$  = depth of water at cross sections

$V_1, V_2$  = average velocities (total discharge/ total flow area)

$a_1, a_2$  = velocity weighting coefficients

$g$  = gravitational acceleration

$h_e$  = energy head loss

A diagram showing the terms of the energy equation is shown in Figure 2-1.

Σχήμα 49. Μονοδιάστατη Εξίσωση Ενέργειας (HEC-RAS 6.0 Reference Manual)

Ο όρος  $h_e$  αντιπροσωπεύει τις απώλειες ενέργειας, γραμμικές και τοπικές. Οι πρώτες εκφράζουν την ενέργεια που χάθηκε μεταξύ διατομών (cross-sections) και εξαρτώνται από τους συντελεστές τραχύτητας ή τους συντελεστές Manning της κάθε διατομής. Ως input εισάγεται μια τιμή του συντελεστή για κάθε ένα από τα τρία τμήματα κάθε διατομής: Αριστερά παρειά (LOB), Κύρια όχθη (Main Channel), Δεξιά παρειά (ROB), και υπολογίζεται ένας σταθμισμένος μέσος όρος αυτών.

Οι τοπικές απώλειες ενέργειας υπολογίζονται με τα expansion/contraction coefficients σε σημεία απότομης διαπλάτυνσης/στένωσης του ποταμού όπου οι ταχύτητες ροής παρουσιάζουν άλμα. Αν οι ταχύτητες είναι μεγαλύτερες στα κατάντη, το πρόγραμμα θεωρεί ότι υπάρχει στένωση, ενώ για το ανάποδο διαπλάτυνση. Στις διατομές αυτές το πρόγραμμα επιλύει συνήθως την εξίσωση ποσότητας κίνησης (ορμής) καθώς έχουμε ταχέως μεταβαλλόμενη μόνιμη ροή και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής αλλάζουν.

Στην περίπτωση μας οι συντελεστές Manning θεωρούνται παντού 0.016 καθώς η κοίτη είναι τεχνητή και κατασκευασμένη από σκυρόδεμα.

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>B. Lined or Built-Up Channels</i>			
<b>1. Concrete</b>			0.015
a. Trowel finish	0.011	0.013	0.016
b. Float Finish	0.013	0.015	0.020
c. Finished, with gravel bottom	0.015	0.017	0.023
d. Unfinished	0.014	0.017	0.025
e. Gunite, good section	0.016	0.019	

Σχήμα 50. Συνήθεις τιμές συντελεστών Manning για τεχνητά κανάλια από σκυρόδεμα

Τα contraction/expansion coefficients εφαρμόζονται στις διατομές πριν και μετά από γέφυρες και γενικότερα σημεία αλλαγής της ροής όπως αναβαθμοί. Περιγράφουν τις τοπικές απώλειες ενέργειας κατά τη πορεία επίλυσης της μονοδιάστατης ροής από διατομή σε διατομή. Στο υδραυλικό μοντέλο του Νέδοντα λήφθηκαν τιμές 0.1 και 0.3 για τις διατομές που δε παρουσιάζουν μεγάλη μεταβολή της γεωμετρίας τους, ενώ για διατομές γεφυρών, διαπλατύνσεων και εκβαθύνσεων 0.2 και 0.4.

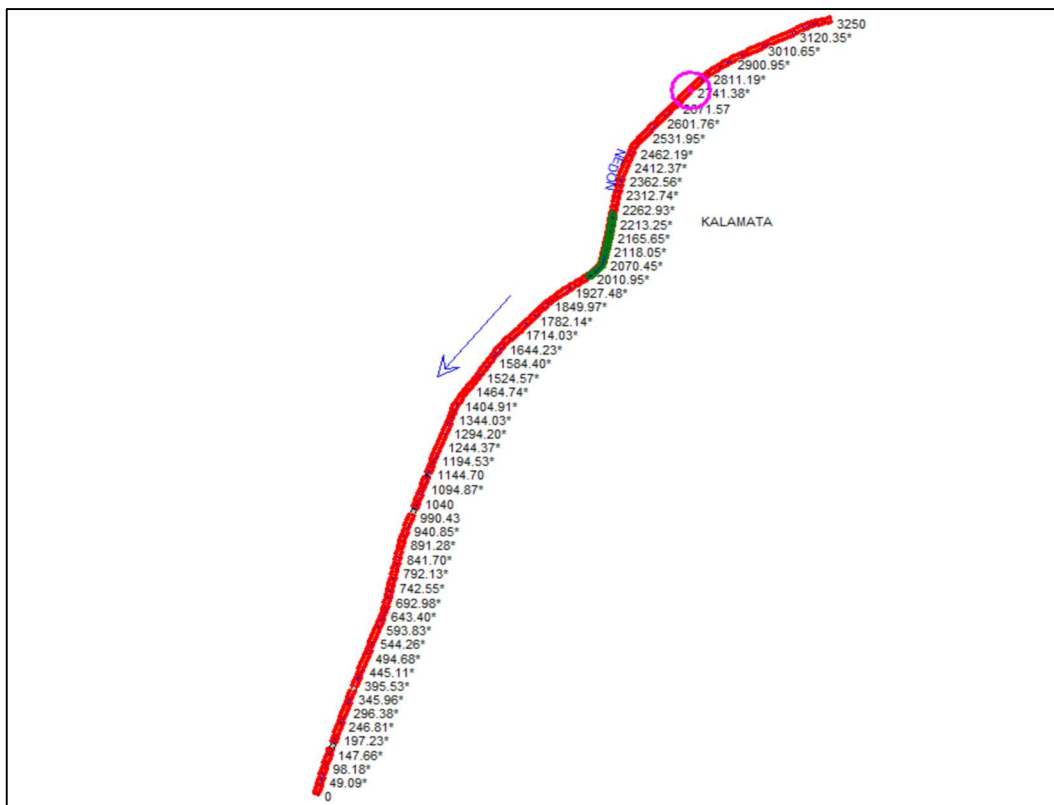
Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει τυπικές τιμές για τα contraction/expansion coefficients από την US Army Corps of Engineers και για περίπτωση γεφυρών δίνει 0.3 – 0.5. Στην παρούσα μελέτη, οι γέφυρες δεν έχουν βάθρα στο εσωτερικό της κοίτης και η κάτω παρειά των καταστρωμάτων τους βρίσκεται υψηλότερα από το ύψος παρειάς. Για αυτό το λόγο λήφθηκαν απομειωμένοι.

	Contraction	Expansion
<b>No transition loss computed</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Gradual transitions</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>
<b>Typical Bridge sections</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>
<b>Abrupt transitions</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>

Για την υδραυλική προσομοίωση εισήχθησαν 23 διατομές σε σημεία αλλαγής της γεωμετρίας του ποταμού όπου ήδη χωρίστηκαν σε τμήματα, πριν και μετά από γέφυρες και στους αναβαθμούς έτσι ώστε να γίνει λεπτομερής αναπαράσταση των σημείων που έχουμε απότομες μεταβολές του υψομέτρου, της κλίσης, του πλάτους και του ύψους των παρειών της κοίτης.



Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων



Σχήμα 51. Οριζοντιογραφία HEC-RAS

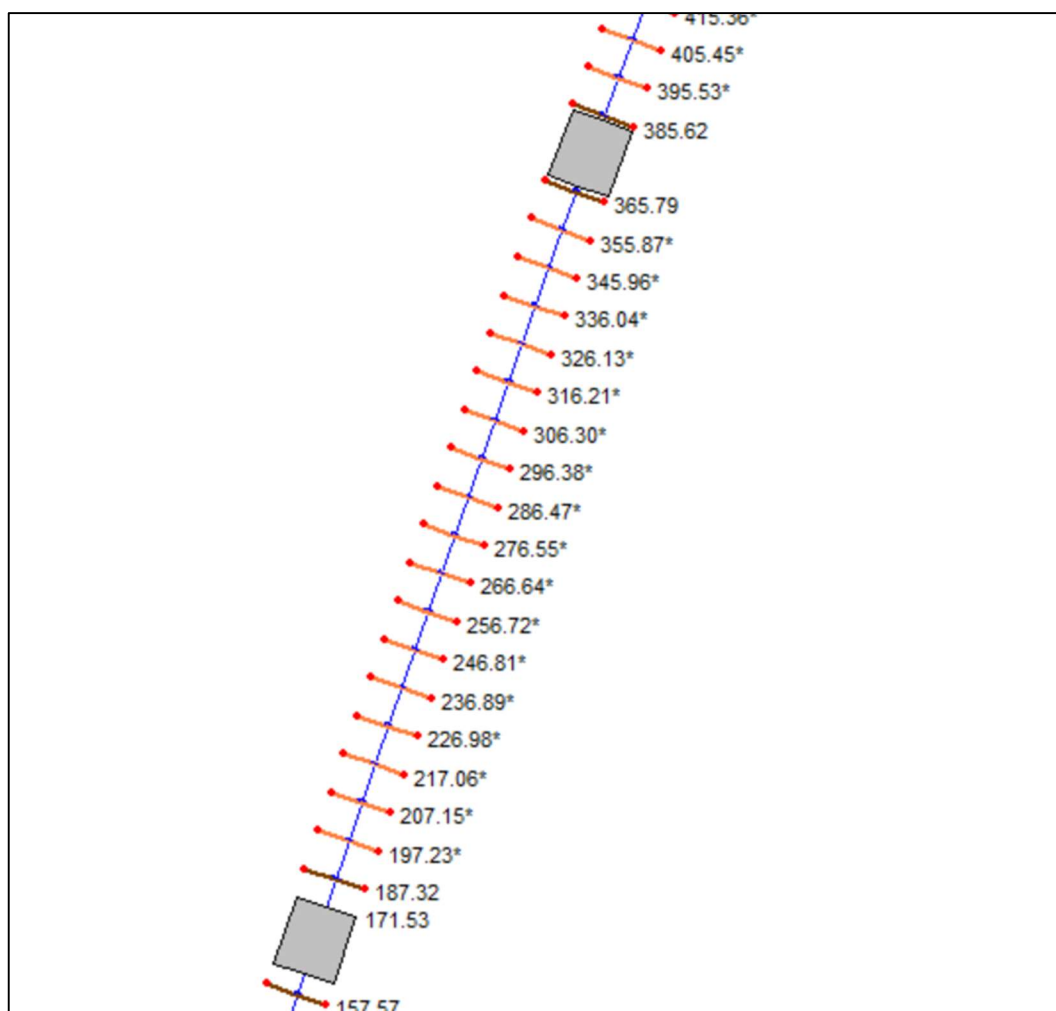
Πίνακας 15. Γεωμετρικά δεδομένα εισόδου HEC-RAS

A/A	ΧΘ	Αποστάσεις από κατάντη (m)		
		LOB	Channel	ROB
1	3250	9.973	9.973	9.973
2	3180.19	9.973	9.973	9.973
3	3170.22	9.973	9.973	9.973
4	2691.51	19.946	19.946	19.946
5	2671.57	9.973	9.973	9.973
6	2512	9.963	9.963	9.963
7	2243	5.95	5.95	5.95
8	2005	9.69	9.69	9.69
9	1724	9.971	9.971	9.971
10	1375	5.5	5.5	5.5
11	1354	9.967	9.967	9.967
12	1144.7	19.934	19.934	19.934
13	1124.77	9.967	9.967	9.967
14	1055	7.5	7.5	7.5
15	1040	9.915	9.915	9.915
16	1020.17	29.745	29.745	29.745
17	990.43	9.915	9.915	9.915
18	385.62	19.83	19.83	19.83
19	365.79	9.915	9.915	9.915
20	187.32	29.745	29.745	29.745
21	157.57	9.915	9.915	9.915
22	108	9.818	9.818	9.818
23	0	0	0	0

Με σημεία αναφοράς αυτές τις διατομές συμπληρώθηκαν με γραμμική παρεμβολή ανά 10 m των επιμέρους διαστημάτων άλλες 315 διατομές. Επίσης, προστέθηκαν 6 γέφυρες, οι οποίες χιλιομετρήθηκαν από το Google Earth και δε συμπίπτουν ακριβώς με τη χιλιομέτρηση του πίνακα των Σύστας και Υδροεξυγιαντική.

Πίνακας 16. Γεωμετρικά δεδομένα εισόδου γεφυρών

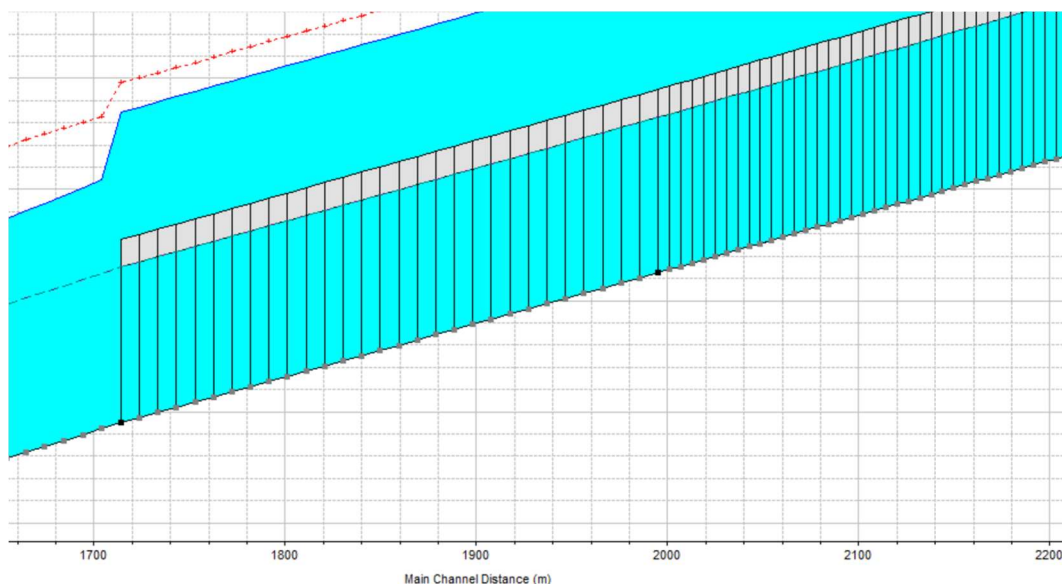
		XΘ (m)	Πλάτος (m)	Ύψος καταστρώματος (m)
1	Γέφυρα Οδού Σπάρτης	3175	8.5	1.3
2	Πεζογέφυρα	2940	5	0.5
3	Γέφυρα Αγοράς	2685	10.8	0.9
4	Γέφυρα Οδού Παλαμά	1704	14	1
5	Πεζογέφυρα	1135	3	1
6	Γέφυρα Οδού Μακεδονίας	1003.6	17.2	2
7	Γέφυρα Οδού Λυκούργου	375.9	17.2	0.9
8	Γέφυρα Οδού Ευαγγελιστρίας	171.53	17.2	0.6



Σχήμα 52. Γέφυρες Οδού Ευαγγελιστρίας και Λυκούργου στο περιβάλλον HEC - RAS

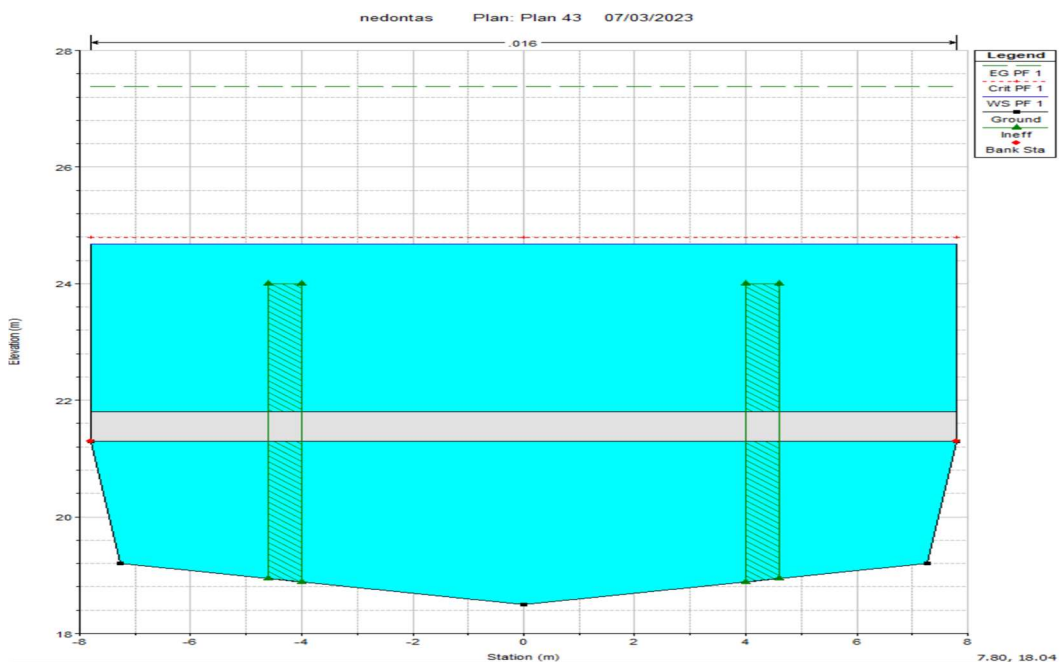
Το κατάστρωμα των γεφυρών τοποθετήθηκε με την κάτω παρειά να εφάπτεται στην άνω παρειά της όχθης προσεγγιστικά, καθώς τα τοπογραφικά δεδομένα δεν ήταν επαρκή. Με την ίδια λογική, θεωρήθηκε ύψος καταστρώματος περίπου 1.00 – 1.30 m.

Το σκεπαστό τμήμα προσομοιώθηκε με προσθήκη Lid ακριβώς πάνω από τη στέψη των πρανών έτσι ώστε να μην υπερχειλίζουν οι όγκοι εκατέρωθεν αλλά με μόνη περίπτωση την υπερπήδηση του σκεπαστού τμήματος στην αρχή του. Επίσης, προστέθηκε μια σχισμή στο πάνω κεντρικό μέρος του σκεπαστού, έτσι ώστε να μπορεί να λυθεί με τις μονοδιάστατες εξισώσεις για ανοικτούς αγωγούς και στην περίπτωση που ο αγωγός λειτουργήσει υπό πίεση. Αυτή η σχισμή ονομάζεται Preissman Slot.



Σχήμα 53. Μηκοτομή καλυμμένου τμήματος

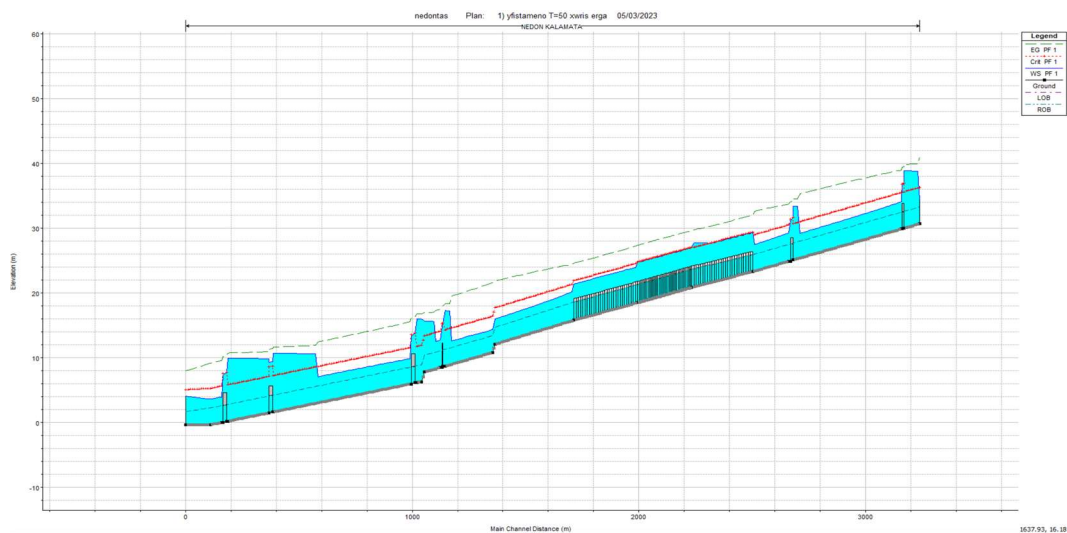
Ειδικότερα, στο τμήμα Δ του ποταμού, όπου η πλάκα σκυροδέματος εδράζεται και σε σειρά υποστυλωμάτων (ΧΘ 2005 – ΧΘ 2243). Τα υποστυλώματα μοντελοποιήθηκαν με την επιλογή του Ineffective flow area. Οι προεξοχές πάνω από την πλάκα αμελούνται και τοποθετήθηκαν για σχεδιαστικούς λόγους.



Σχήμα 54. Μοντελοποιημένο τμήμα Δ (καλυμμένο με υποστυλώματα) στο περιβάλλον HEC-RAS

### 6.3 Υδραυλική προσομοίωση υφιστάμενης κατάστασης

Στην υφιστάμενη κατάσταση οι διατομές είναι τραπεζοειδείς με πλάτος 15.6 m και ύψος 1.7-2.8 m. Η υδραυλική κλίση είναι στο 1% και η παροχή που υπολογίστηκε για καταιγίδα περιόδου επαναφοράς 50 έτη είναι 574.8 m<sup>3</sup>/s. Παρακάτω παρουσιάζεται η παροχέτευση του αγωγού σε μηκοτομή με τα ύψη υπερχειλίσης για κάθε διατομή.

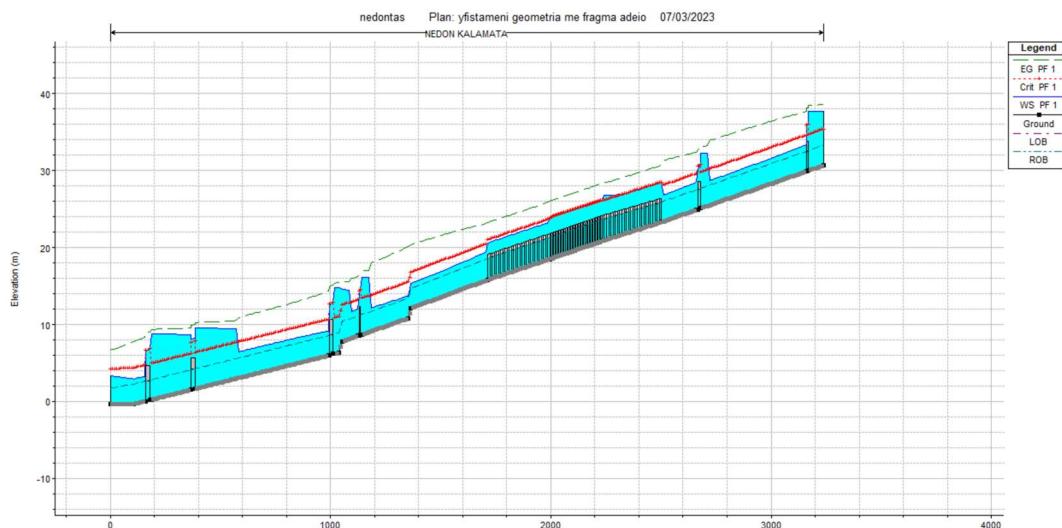


Σχήμα 55. Μηκοτομή υφιστάμενης κατάστασης

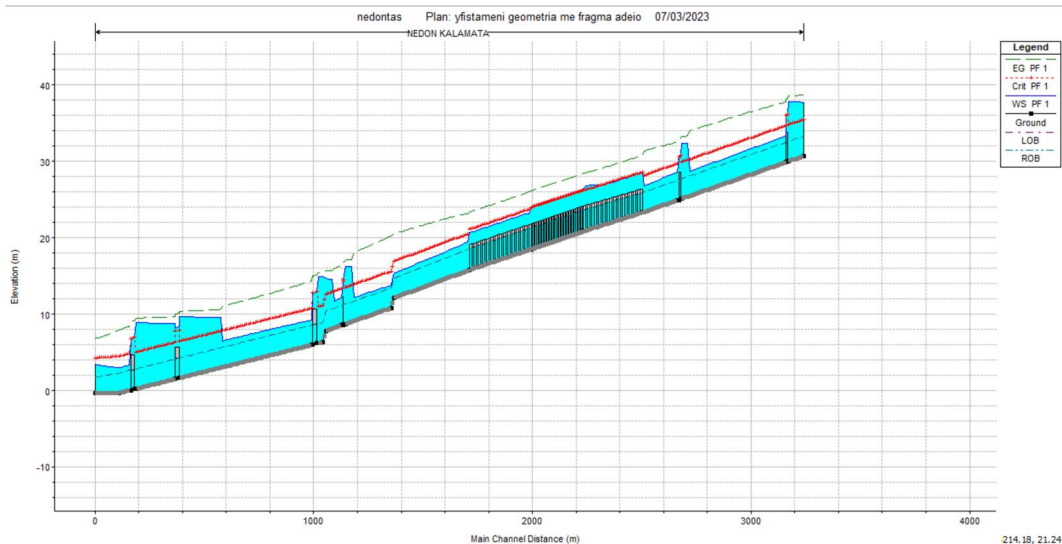
Παρατηρούνται πολύ υψηλές υπερχειλίσεις και γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η υπάρχουσα κατάσταση δεν καλύπτει παροχή σχεδιασμού με T=50 έτη και μάλιστα υπερχειλίζει από την πρώτη διατομή στα ανάντη μέχρι και την τελευταία στα κατόντη με μεγάλα υδραυλικά άλματα στις γέφυρες και στο καλυμμένο τμήμα της κοίτης.

### 6.4 Υδραυλική προσομοίωση υφιστάμενης κατάστασης με κατασκευή φράγματος

Με την κατασκευή του φράγματος επιτυγχάνονται μικρότερες εισερχόμενες παροχές ανάλογα με την ρυθμιστικό κανόνα της στάθμης του ταμιευτήρα. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις. Η πρώτη λαμβάνει ως είσοδο την παροχή με τον ταμιευτήρα άδειο, δηλαδή ταμιευτήρα με καθαρά αντιπλημμυρική χρήση και η δεύτερη με ταμιευτήρα με στάθμη στη μέση. Οι αντίστοιχες παροχές ανέρχονται σε 433.6 και 443.9 m<sup>3</sup>/s. Τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης παρουσιάζονται παρακάτω.



Σχήμα 56. Μηκοτομή υφιστάμενης κατάστασης με φράγμα ανάντη (άδειος ταμιευτήρας)



Σχήμα 57. Μηκοτομή υφιστάμενης κατάστασης με φράγμα ανάντη (μισός ταμιευτήρας)

Συμπεραίνουμε ότι η κατασκευή φράγματος προκάλεσε πιο ήπιες υπερχειλίσεις αλλά πάλι σημαντικές. Ειδικά στις διατομές γεφυρών όπου οι τοπικές απώλειες ενέργειας είναι μεγάλες και η ροή από υπερκρίσιμη που είναι σε όλο το μήκος γίνεται υποκρίσιμη με τη μορφή υδραυλικού άλματος.

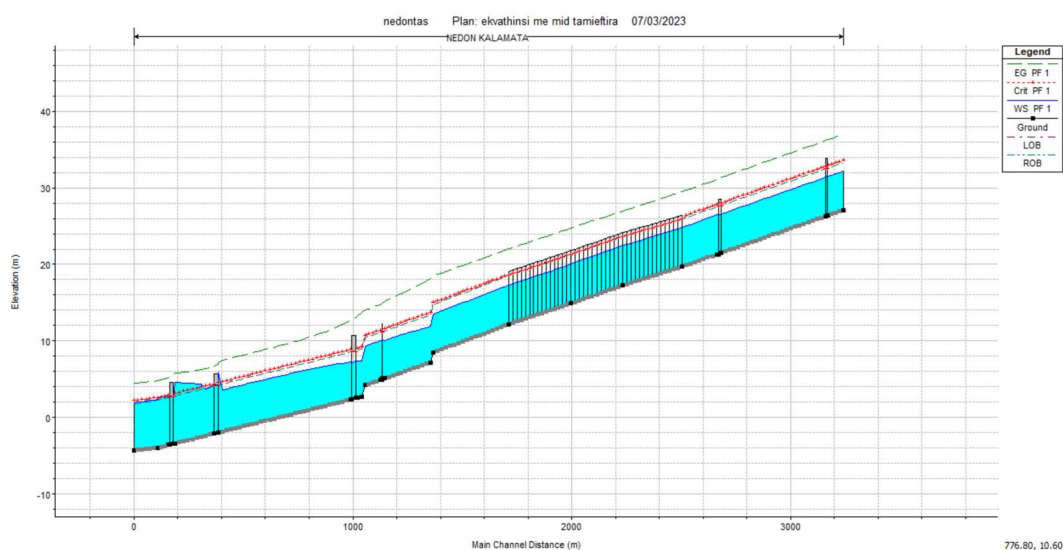
## 6.5 Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα

Συνάγεται από τα προηγούμενα κεφάλαια ότι η ύπαρξη και μόνο φράγματος στα ανάντη της διεύθετης δεν αποτελεί από μόνη της αξιόπιστη αντιπλημμυρική λύση. Καθίσταται απαραίτητη η τροποποίηση της διευθετημένης κοίτης του Νέδοντα μέσα στην πόλη της Καλαμάτας. Λύση τροποποίησης της κοίτης προτάθηκαν και από τους Σύστας και Υδροεξυγιαντική και από τη μελέτη Κουτσογιάννη. Αναφέρεται πως προκλήθηκαν αντιδράσεις από την τοπική κοινωνία σε σχέση με τις χρήσεις γης που ανταγωνίζονται τη χρήση γης για αντιπλημμυρική προστασία.

Για αυτό το λόγο έγινε προσπάθεια η λύση να περιορίζει όσο το δυνατό την ανάγκη απαλλοτρίωσης γαιών. Συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια λύσης του προβλήματος με την πρόταση μόνο εκβάθυνσης και όχι διαπλάτυνσης και καθίσταται ως βασικός άξονας σκέψης της εργασίας. Η εκβάθυνση λόγω του ότι γίνεται στα ήδη υφιστάμενα όρια της κοίτης δεν είναι ανταγωνιστική προς καμία χρήση γης.

Δοκιμάστηκε εκβάθυνση 4 m σε όλο το μήκος του ποταμού σε εύρος 8 m εγκάρσια διατηρώντας τις υπάρχουσες επικλίσεις και της υφιστάμενης και της εκβαθυμένης κοίτης.

Στο τμήμα Δ του καλυμμένου τμήματος με υποστυλώματα, δε χρειάζεται καθαίρεση αλλά προέκτασή τους σε μεγαλύτερο βάθος κάθετα στην κοίτη.

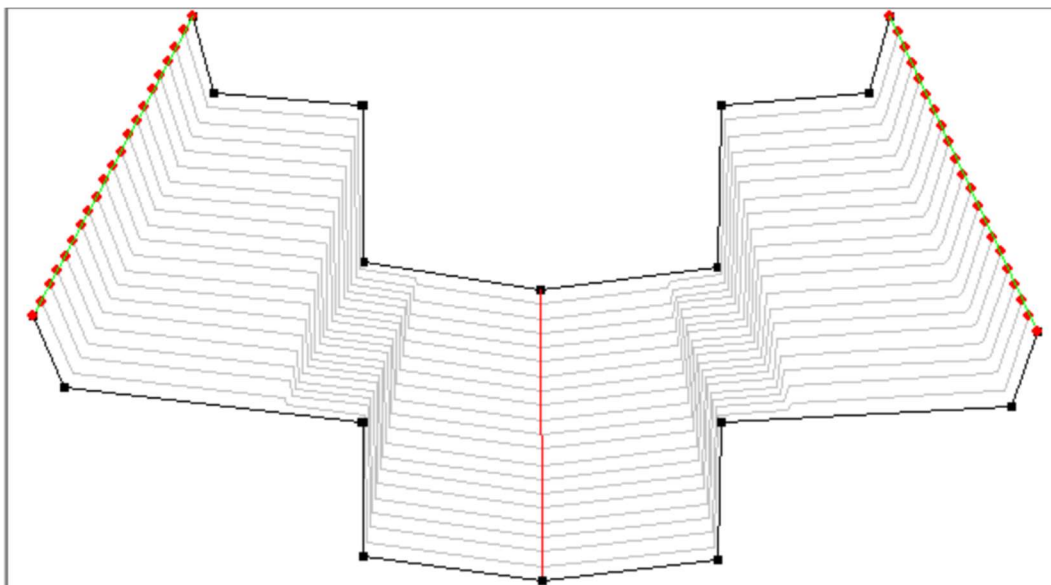


Σχήμα 58. Μηκοτομή με εκβάθυνση και φράγμα

Η υδραυλική προσομοίωση για ταμειυτήρα στα ανάντη με μέση στάθμη ( $Q=443.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ) έδειξε ότι η εκβάθυνση των τεσσάρων μέτρων είναι αρκετή για τη παροχέτευση των πλημμυρικών όγκων με εξαίρεση την περιοχή των γεφυρών Οδού Λυκούργου και Οδού Ευαγγελιστρίας όπου παρουσιάζονται μικρά υδραυλικά άλματα που λύνονται με την υπερύψωση των καταστρωμάτων τους κατά μισό μέτρο όπως εξηγείται παρακάτω.

Το πρόβλημα με αυτή τη διάταξη είναι η πτώση του υψομέτρου της βαθιάς γραμμής κατά 4 m στην περιοχή εκβολής στη θάλασσα, που θα έχει ως αποτέλεσμα την εισχώρηση θαλασσινού νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που οι παροχές είναι μικρές. Συγκεκριμένα, η τελευταία διατομή της οποίας η βαθιά γραμμή βρίσκεται σε υψόμετρο άνω του +0 βρίσκεται στη ΧΘ 673. Αυτό σημαίνει πως το θαλασσινό νερό θα λιμνάσει μέχρι αυτή τη χιλιομετρική θέση με βάθη από 0 έως 4 m. Οι επιπτώσεις μιας τέτοιας εξέλιξης είναι καταστροφικές και ποικίλουν σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης ζωής. Θα υπάρξει υποβάθμιση του αστικού τοπίου και συνεπώς ο τουρισμός της Καλαμάτας θα μειωθεί. Η ποιότητα του νερού θα μεταβληθεί με την ανάπτυξη αλγών και παθογόνων μικροοργανισμών και η ποιότητα των υπόγειων υδροφορέων με το φαινόμενο της υφαλμύρυνσης.

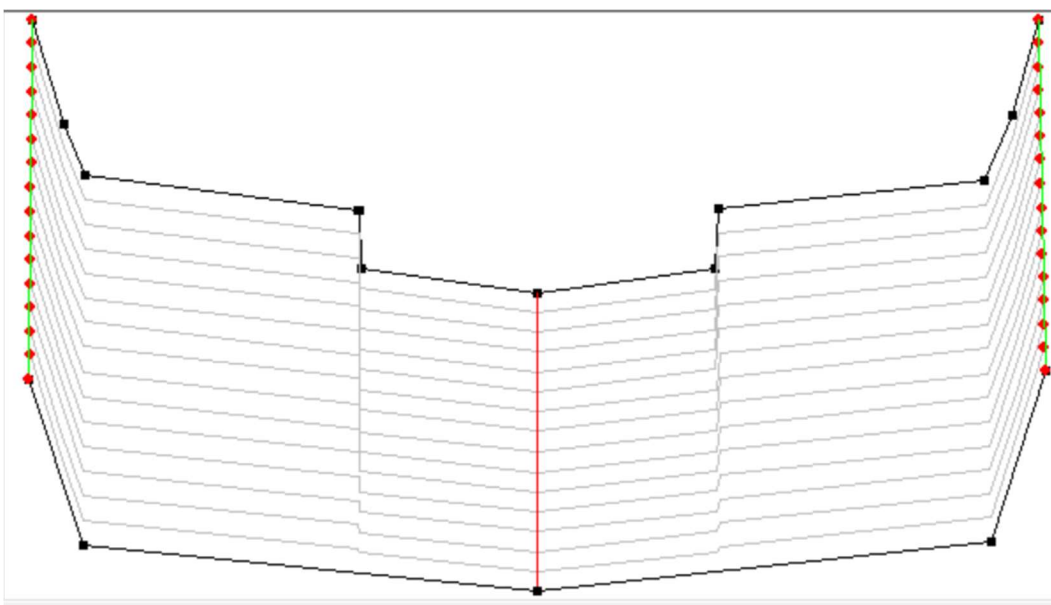
Η τροποποίηση που μελετήθηκε αφορά τη σταδιακή μείωση της εκβαθυμένης κοίτης από τη ΧΘ 683 έως τη ΧΘ 0 με ταυτόχρονη διαπλάτυνση της κοίτης στο ίδιο τμήμα. Όποια παροχετευτικότητα χάνεται στον κάθετο άξονα, αναπληρώνεται στον εγκάρσιο.



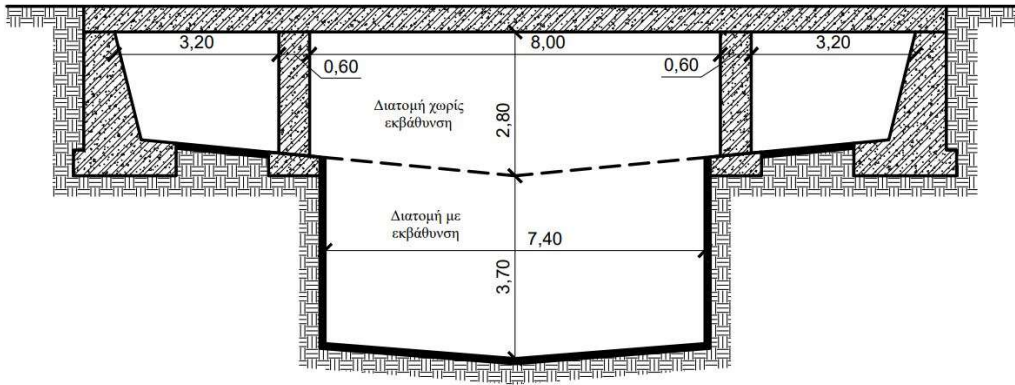
Σχήμα 59. Διαπλάτυνση και ταυτόχρονη απομείωση της εκβάθυνσης

Η διαπλάτυνση ξεκινάει στη θέση ΧΘ 683, λίγο πριν αρχίσει η κλίση μείωσης της εκβάθυνσης και αυξάνεται γραμμικά από ημιπλάτος 7.8 m σε 10.8 m με μια ζώνη προσαρμογής μήκους 100 m. Μετά συνεχίζει μέχρι την εκβολή με ημιπλάτος 10.8 m.

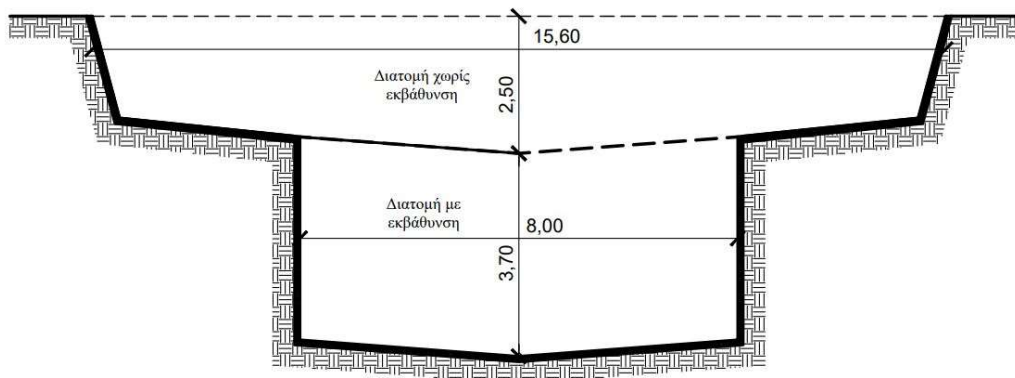
Σύμφωνα με τη μελέτη Κουτσογιάννη (2022), με ένα υψόμετρο -0.5 στην εκβολή (ΧΘ 0) η θάλασσα εισχωρεί 75 m μέσα στην κοίτη. Επειδή χρειάζεται να αποφευχθούν αρνητικές κλίσεις που θα είχαν σαν αποτέλεσμα και λιμνάζοντα νερά, αναστροφή της ροής και υδραυλικό άλμα, δε γίνεται να υπάρξει μηδενική εκβάθυνση στην εκβολή. Λήφθηκε εκβάθυνση 0.5 m. Συνεπώς σε μήκος 683 m η εκβάθυνση φθίνει από -4 σε -0.5 m. Η κλίση των πρανών στη ζώνη προσαρμογής της διαπλάτυνσης κατά τον επιμήκη άξονα είναι 3% έτσι ώστε να υπάρξει ομαλή μετάβαση στη ροή.



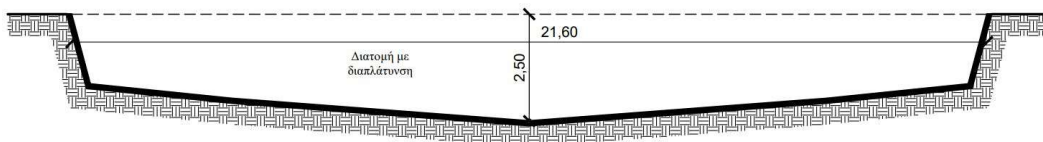
Σχήμα 60. Απομείωση της εκβάθυνσης στην εκβολή



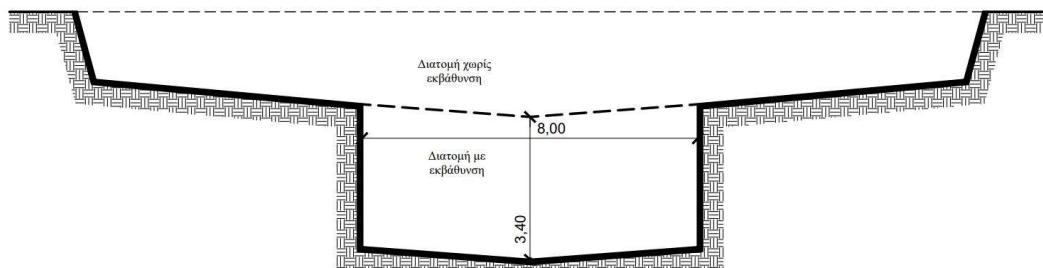
Σχήμα 61. Προτεινόμενη διατομή στο καλυμμένο τμήμα



Σχήμα 62. Προτεινόμενη διατομή Χ.Θ. 683.40 (αρχή διαπλάτυνσης + αρχή απομείωσης της εκβάθυνσης)



Σχήμα 63. Προτεινόμενη διατομή Χ.Θ. 0.00 (εκβολή)



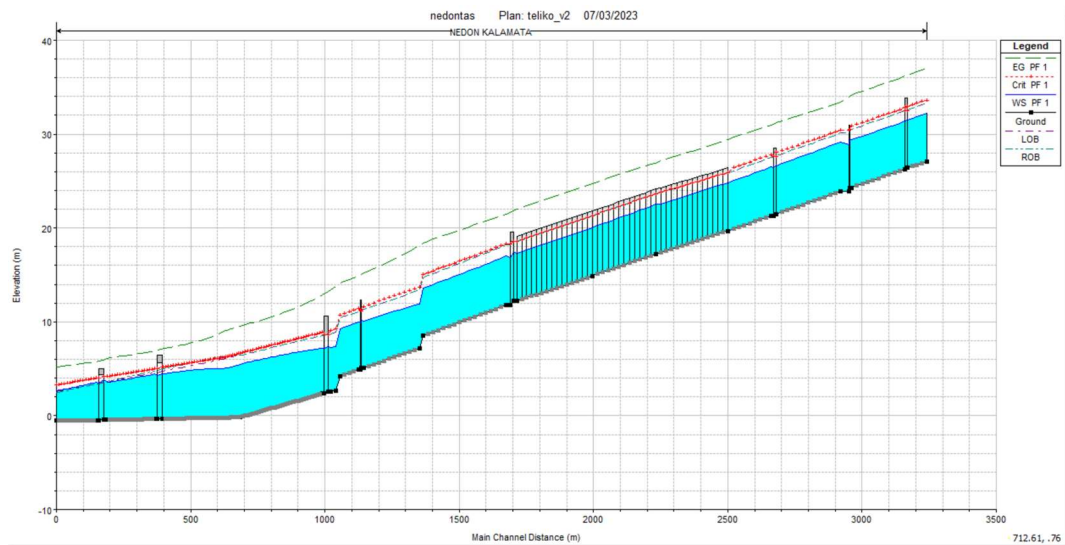
Σχήμα 64. Προτεινόμενη διατομή Χ.Θ. 584.36 (τέλος διαπλάτυνσης)



Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων

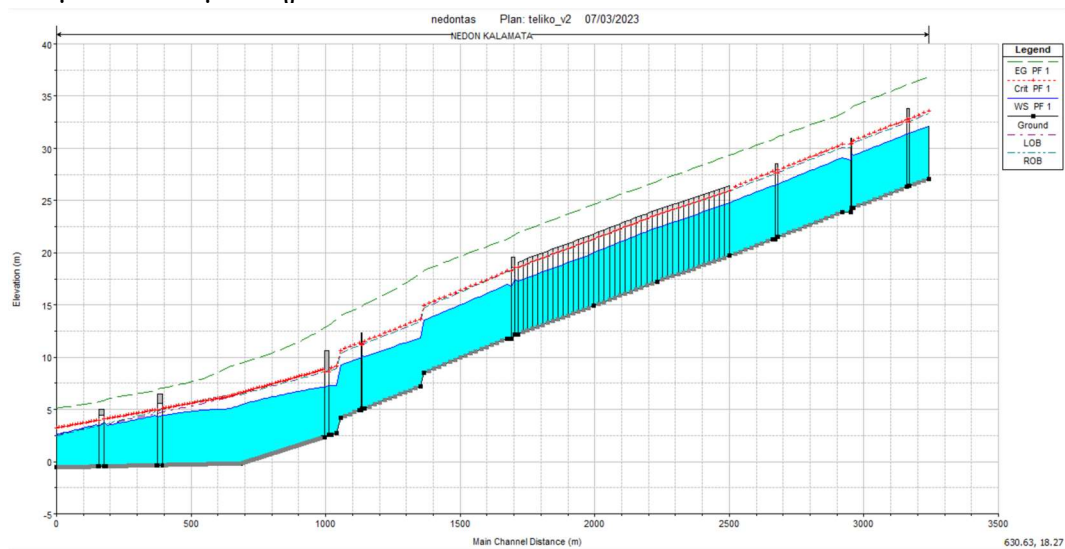
Με αυτή τη διάταξη έως τη ΧΘ 683 και στα υπόλοιπα τμήματα εκβάθυνση 4 m δοκιμάστηκε ένα πλήθος παροχών για διάφορα σενάρια καταιγίδας σχεδιασμού και ταμιευτήρα.

1. T=50 με στάθμη ταμιευτήρα στη μέση



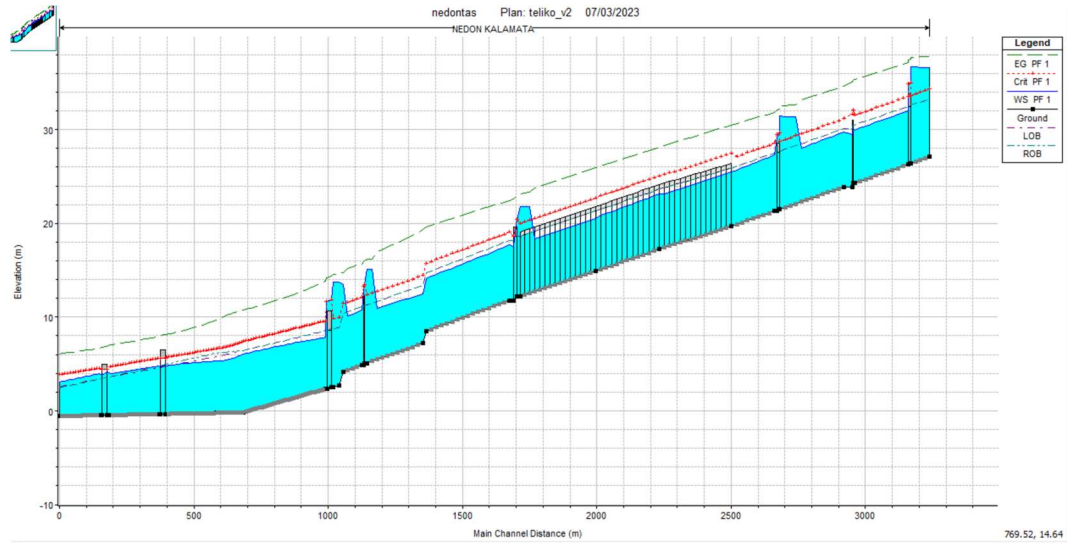
Σχήμα 65. Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα μέση με 0 οπές (T=50)

2. T=50 με άδειο ταμιευτήρα



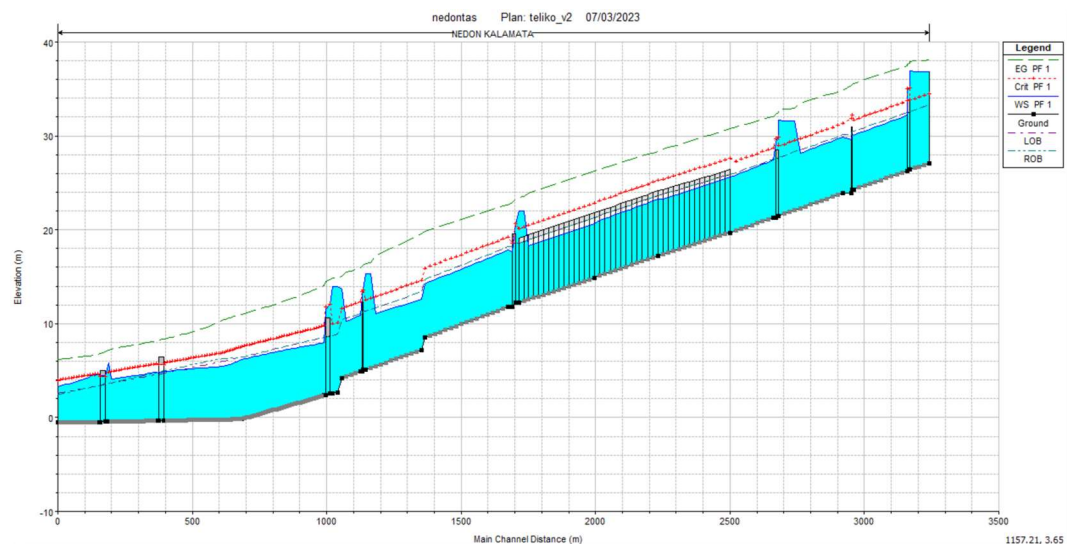
Σχήμα 66. Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα άδειο με 0 οπές (T=50)

3.  $T=100$  με ταμειντήρα άδειο και 0 οπές φράγματος



Σχήμα 67. Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα άδειο με 0 οπές ( $T=100$ )

4.  $T=100$  με ταμειντήρα άδειο και 3 οπές φράγματος



Σχήμα 68. Εκβάθυνση, διαπλάτυνση και φράγμα άδειο με 3 οπές ( $T=100$ )

Για καταίγίδα σχεδιασμού  $T=50$  για οποιαδήποτε ρυθμιστική στάθμη ταμειντήρα, η κοίτη έχει ομαλή ροή με την ελεύθερη επιφάνεια κάτω από τις όχθες. Στο μεγαλύτερο μέρος του ποταμού και ειδικότερα μέχρι την αλλαγή κλίσης της βαθιάς γραμμής στη χιλιομετρική θέση 683 m, η ελεύθερη επιφάνεια αφήνει περιθώριο 1 m από τις όχθες. Μετά τη γέφυρα της οδού Λυκούργου η ελ. επιφάνεια φαίνεται να πλησιάζει τις όχθες αλλά το σημείο αυτό βρίσκεται ήδη πολύ κοντά στη θάλασσα και υπάρχει μια ζώνη αγρού χωρίς κάποια χρήση, η οποία μπορεί να λειτουργήσει ως δευτερεύουσα κοίτη χωρίς κάποιο επιπρόσθετο έργο.

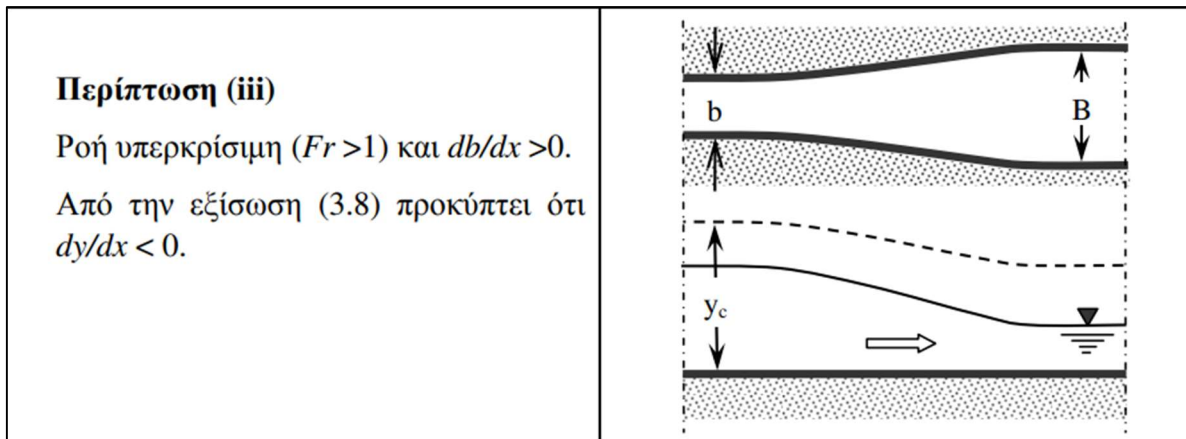


Σχήμα 69. Οριζοντιογραφία στην εκβολή (με πράσινο η δευτερεύουσα κοίτη και με άσπρο η διαπλάτυνση)

Η κλίση των πρανών στη ζώνη προσαρμογής της διαπλάτυνσης κατά τον επιμήκη άξονα είναι 3% έτσι ώστε να υπάρξει ομαλή μετάβαση στη ροή. Η ροή είναι υπερκρίσιμη και η διαπλάτυνση τείνει να μειώσει το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας στο ίδιο σημείο που αλλάζει η κλίση της βαθιάς γραμμής, η οποία μόνη της τείνει να αυξήσει και μάλιστα σημαντικά το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας.



Σχήμα 70. Τμήμα της οριζοντιογραφίας με τη ζώνη προσαρμογής



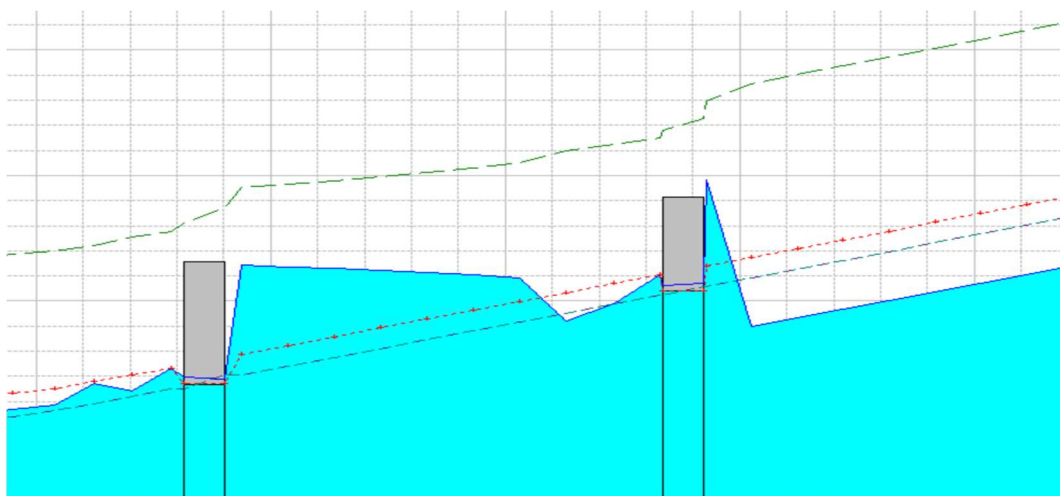
Σχήμα 71. Διαπλάτυνση αγωγού (Π. Ν. Παπανικολάου)

Η ξαφνική μείωση της κλίσης του αγωγού φέρνει τη ροή πιο κοντά στο κρίσιμο βάθος, αλλά η εμφάνιση υδραυλικού άλματος έχει αποφευχθεί. Οι κλίσεις πριν και μετά τη ΧΘ 683 είναι 1% και 0.1% αντίστοιχα. Υπολογίζοντας την κρίσιμη κλίση για δεδομένη παροχή και κρίσιμο βάθος με την εξίσωση:

$$J_c = \frac{Q^2 \times n^2}{b^2 \times y_c^2} \left( \frac{1}{y_c} + \frac{2}{b} \right)^{4/3}$$

Η κρίσιμη κλίση για  $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $n=0.016$  και  $y_c=4.8 \text{ m}$  και πλάτος ίσο με το υφιστάμενο  $b=15.6 \text{ m}$  υπολογίζεται γύρω στο 0.15%. Άρα με κλίση νέου αγωγού ίση με 0.1 % η ροή θα γινόταν υποκρίσιμη, θα υπήρχε υδραυλικό άλμα και η ελεύθερη επιφάνεια θα υψωθεί. Αυξάνοντας το πλάτος με τη διαπλάτυνση, μειώνεται η κρίσιμη κλίση και η ροή μένει αμετάβλητη.

Οι γέφυρες της οδού Λυκούργου και οδού Ευαγγελιστρίας, με ΧΘ 375 και 171 αντίστοιχα, παρουσιάζουν υδραυλικό άλμα και στα σενάρια με  $T=50$  και θα χρειαστεί ανακατασκευή τους με ύψωση του καταστρώματος κατά 0.5 m. Το υδραυλικό άλμα που δημιουργείται οφείλεται στις τοπικές απώλειες ενέργειας λόγω των αυξημένων contraction/expansion coefficients και δημιουργεί πρόβλημα στα κατάντη λόγω της ταχέως μεταβαλλόμενης ροής.

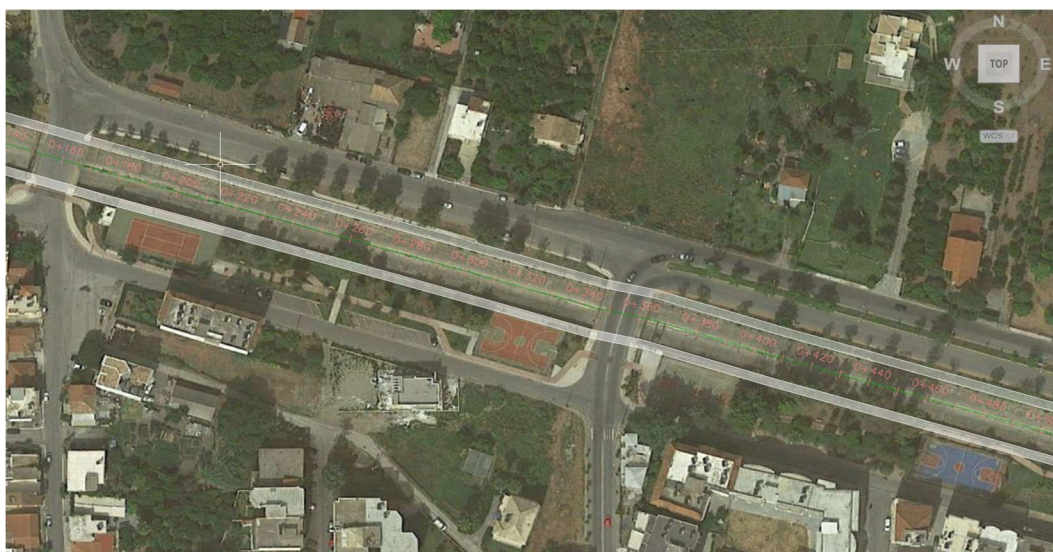


Σχήμα 72. Υδραυλικά άλματα (Γέφυρα Ευαγγελιστρίας αριστερά και Γέφυρα Λυκούργου δεξιά)

Για καταιγίδα σχεδιασμού  $T=100$  παρουσιάζονται υπερχειλίσσεις σε όλες τις γέφυρες και στο τμήμα μετά τη γέφυρα της οδού Λυκούργου, αλλά η κοίτη είναι ικανή να παροχετεύσει και αυτούς τους όγκους. Για αυτό το λόγο κρίνεται σκόπιμο να εξεταστεί ένα σχέδιο άμεσου κινδύνου με μετρήσεις στάθμης σε άμεσο χρόνο στα ανάντη του διευθετημένου τμήματος και αυτόματο κλείσιμο της λειτουργίας των γεφυρών με σηματοδότες έκτακτου κινδύνου.

## 6.6 Απαλλοτριώση γαιών

Η προτεινόμενη διαπλάτυνση στο τμήμα 0 έως 683 ΧΘ, επιβάλλει την απαλλοτριώση δημόσιων γαιών με χρήσεις αναψυχής και αθλητικών εγκαταστάσεων. Παρακάτω απεικονίζεται ένα τμήμα της οριζοντιογραφίας αυτού του τμήματος.



Σχήμα 73. ΧΘ 140-500: Χρήσεις γης και οριζοντιογραφία της διαπλάτυνσης (σκιαγραμμισμένη)

Η βόρεια όχθη του ποταμού απέχει από το οδικό δίκτυο μήκος επαρκές έτσι ώστε να μη χρειάζεται τροποποίηση του. Θα χαθεί σε κάποια τμήματα η ικανότητα πρόσβασης από πεζούς στην όχθη και σε άλλα θα μειωθεί.

Στη νότια όχθη υπάρχει χώρος αναψυχής με τρία γήπεδα, τα οποία θα χρειαστεί να απαλλοτριωθούν. Το πάρκο έχει επαρκές πλάτος, έτσι ώστε να διατηρηθεί η χρήση του.

## Βιβλιογραφία

- [1] Κουτσογιάννης Δ., *Πρόσθετα και συμπληρωματικά υδραυλικά και αντιπλημμυρικά τεχνικά έργα στην περιοχή της Καλαμάτας*, Τεχνική έκθεση, Αθήνα, 2022
- [2] Παπανικολάου Π., *Στοιχεία μόνιμης ροής σε αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια*, Διδακτικές σημειώσεις, Έκδοση 5<sup>η</sup>, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, 2017-2018
- [3] Ευστρατιάδης Α., Παπανικολάου Π., Μίχας Σ., *Σημειώσεις μαθήματος «Υδραυλικές Κατασκευές – Φράγματα»*, Διδακτικές σημειώσεις, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, 2022
- [4] U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, *Design of Small Dams*, 3rd Edition, U.S. G.P.O., Denver, Colorado, 1987
- [5] ΥΠΕΝ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου. Στάδιο II, Φάση 1 – Παραδοτέο 12 «Προσχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας – Τεχνική Έκθεση»*, Έκδοση 1, 2017
- [6] ΥΠΕΝ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου. Στάδιο I, Φάση 1 – Παραδοτέο 2 «Ομβρίες Καμπύλες – Τεχνική Έκθεση»*, Έκδοση 1, 2015
- [7] Akan A. O., Επιμέλεια: Δρ. Παναγιώτης Παπανικολάου, *Υδραυλική των ανοικτών αγωγών*, Έκδοση 1<sup>η</sup>, Εκδόσεις DaVinci, Αθήνα, 2020
- [8] U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, *HEC-HMS Hydrologic Modeling System, Technical Reference Manual, CPD-74B*, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2000

## Παράρτημα Α

Όμβριες καμπύλες διάρκειας βροχής 0.5-48h για περιόδους επαναφοράς 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 έτη.

<b>i(mm/h)</b>										
<b>Νέδουσα</b>										
<b>d(h) \ T(yr)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>0.5</b>	68.4	79.5	95.7	109.0	123.5	144.4	161.8	180.5	207.7	230.2
<b>1</b>	43.8	51.0	61.3	69.9	79.1	92.6	103.7	115.7	133.1	147.5
<b>2</b>	27.3	31.8	38.3	43.6	49.4	57.8	64.7	72.2	83.0	92.0
<b>3</b>	20.6	24.0	28.8	32.8	37.2	43.5	48.7	54.4	62.6	69.3
<b>6</b>	12.6	14.7	17.6	20.1	22.8	26.6	29.8	33.3	38.3	42.4
<b>12</b>	7.7	8.9	10.7	12.2	13.9	16.2	18.1	20.2	23.3	25.8
<b>24</b>	4.7	5.4	6.5	7.4	8.4	9.8	11.0	12.3	14.1	15.7
<b>48</b>	2.8	3.3	3.9	4.5	5.1	6.0	6.7	7.5	8.6	9.5
<b>Καλαμάτα</b>										
<b>d(h) \ T(yr)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>0.5</b>	35.4	44.4	57.5	68.4	80.1	97.2	111.2	126.5	148.6	166.8
<b>1</b>	22.7	28.5	36.9	43.8	51.4	62.3	71.3	81.1	95.2	106.9
<b>2</b>	14.1	17.8	23.0	27.3	32.0	38.8	44.5	50.6	59.4	66.7
<b>3</b>	10.6	13.4	17.3	20.6	24.1	29.3	33.5	38.1	44.8	50.3
<b>6</b>	6.5	8.2	10.6	12.6	14.8	17.9	20.5	23.3	27.4	30.7
<b>12</b>	4.0	5.0	6.5	7.7	9.0	10.9	12.5	14.2	16.7	18.7
<b>24</b>	2.4	3.0	3.9	4.7	5.5	6.6	7.6	8.6	10.1	11.4
<b>48</b>	1.5	1.8	2.4	2.8	3.3	4.0	4.6	5.2	6.1	6.9
<b>Πήδημα</b>										
<b>d(h) \ T(yr)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>0.5</b>	37.7	47.5	61.7	73.5	86.2	104.7	119.9	136.5	160.4	180.2
<b>1</b>	24.2	30.5	39.6	47.1	55.3	67.1	76.9	87.4	102.8	115.5
<b>2</b>	15.1	19.0	24.7	29.4	34.5	41.9	48.0	54.6	64.1	72.0
<b>3</b>	11.4	14.3	18.6	22.1	26.0	31.5	36.1	41.1	48.3	54.3
<b>6</b>	6.9	8.8	11.4	13.5	15.9	19.3	22.1	25.1	29.6	33.2
<b>12</b>	4.2	5.3	6.9	8.2	9.7	11.7	13.5	15.3	18.0	20.2
<b>24</b>	2.6	3.2	4.2	5.0	5.9	7.1	8.2	9.3	10.9	12.3
<b>48</b>	1.6	2.0	2.5	3.0	3.6	4.3	5.0	5.6	6.6	7.4
<b>Λογκανίκος</b>										
<b>d(h) \ T(yr)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>0.5</b>	38.4	48.9	64.2	76.9	90.6	110.5	126.9	144.7	170.4	191.8
<b>1</b>	24.6	31.4	41.2	49.3	58.1	70.8	81.3	92.7	109.2	122.9
<b>2</b>	15.3	19.6	25.7	30.8	36.2	44.2	50.7	57.9	68.2	76.7
<b>3</b>	11.6	14.7	19.4	23.2	27.3	33.3	38.2	43.6	51.3	57.8
<b>6</b>	7.1	9.0	11.8	14.2	16.7	20.4	23.4	26.7	31.4	35.3
<b>12</b>	4.3	5.5	7.2	8.6	10.2	12.4	14.2	16.2	19.1	21.5
<b>24</b>	2.6	3.3	4.4	5.2	6.2	7.5	8.6	9.9	11.6	13.1
<b>48</b>	1.6	2.0	2.7	3.2	3.7	4.6	5.2	6.0	7.0	7.9

Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων

<b>Γενικευμένη όμβρια</b>										
<b>d(h)</b> \ <b>T(yr)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
<b>0.5</b>	48.0	58.3	73.2	85.5	98.8	118.1	134.1	151.4	176.4	197.2
<b>1</b>	30.8	37.4	46.9	54.8	63.3	75.7	85.9	97.0	113.1	126.4
<b>2</b>	19.2	23.3	29.3	34.2	39.5	47.2	53.6	60.5	70.6	78.8
<b>3</b>	14.5	17.6	22.0	25.8	29.8	35.6	40.4	45.6	53.2	59.4
<b>6</b>	8.9	10.7	13.5	15.8	18.2	21.8	24.7	27.9	32.5	36.3
<b>12</b>	5.4	6.5	8.2	9.6	11.1	13.3	15.0	17.0	19.8	22.1
<b>24</b>	3.3	4.0	5.0	5.8	6.7	8.0	9.1	10.3	12.0	13.4
<b>48</b>	2.0	2.4	3.0	3.5	4.1	4.9	5.5	6.3	7.3	8.1



## Παράρτημα Β

Αναλυτικός υπολογισμός καθαρού υετογραφήματος για περίοδο επαναφοράς 50 και 100 έτη με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων blocks.

Πίνακας 17. Υετογράφημα σχεδιασμού (T=50 έτη)

ΝΕΔΩΝ T50								
t <sub>i</sub> (h)	h <sub>i</sub> =t <sub>i</sub> *i <sub>ti</sub> (mm)	φ	h <sub>φ</sub> (mm)	ρ <sub>i</sub> =h <sub>i</sub> /H <sub>tot</sub>	Διαφορά	Αναδιάταξη		Ολικό Βροχογράφημα
					ρ <sub>i</sub> -ρ <sub>i-1</sub>	θέση	τιμή	h <sub>i</sub> ' = ρ <sub>i</sub> *H <sub>tot</sub> (mm)
0.25	44.06	0.65	28.61	0.180	0.180	47	0.006	0.98
0.5	59.06	0.72	42.82	0.269	0.089	45	0.006	1.01
0.75	68.58	0.76	52.21	0.328	0.059	43	0.007	1.04
1	75.70	0.78	59.36	0.373	0.045	41	0.007	1.08
1.25	81.48	0.80	65.21	0.410	0.037	39	0.007	1.12
1.5	86.38	0.81	70.20	0.441	0.031	37	0.007	1.17
1.75	90.66	0.82	74.57	0.469	0.027	35	0.008	1.22
2	94.48	0.83	78.48	0.493	0.025	33	0.008	1.27
2.25	97.93	0.84	82.02	0.516	0.022	31	0.008	1.34
2.5	101.10	0.84	85.27	0.536	0.020	29	0.009	1.41
2.75	104.03	0.85	88.27	0.555	0.019	27	0.009	1.48
3	106.76	0.85	91.07	0.573	0.018	25	0.010	1.58
3.25	109.32	0.86	93.70	0.589	0.017	23	0.011	1.68
3.5	111.74	0.86	96.18	0.605	0.016	21	0.011	1.80
3.75	114.02	0.86	98.52	0.620	0.015	19	0.012	1.95
4	116.19	0.87	100.75	0.634	0.014	17	0.013	2.12
4.25	118.26	0.87	102.88	0.647	0.013	15	0.015	2.35
4.5	120.24	0.87	104.91	0.660	0.013	13	0.017	2.63
4.75	122.14	0.87	106.86	0.672	0.012	11	0.019	3.01
5	123.96	0.88	108.73	0.684	0.012	9	0.022	3.54
5.25	125.72	0.88	110.53	0.695	0.011	7	0.027	4.37
5.5	127.41	0.88	112.27	0.706	0.011	5	0.037	5.85
5.75	129.05	0.88	113.95	0.717	0.011	3	0.059	9.39
6	130.64	0.88	115.58	0.727	0.010	1	0.180	28.61
6.25	132.17	0.89	117.15	0.737	0.010	2	0.089	14.21
6.5	133.66	0.89	118.68	0.746	0.010	4	0.045	7.16
6.75	135.11	0.89	120.16	0.756	0.009	6	0.031	4.99
7	136.52	0.89	121.61	0.765	0.009	8	0.025	3.91
7.25	137.89	0.89	123.01	0.774	0.009	10	0.020	3.25
7.5	139.23	0.89	124.38	0.782	0.009	12	0.018	2.80
7.75	140.53	0.89	125.72	0.791	0.008	14	0.016	2.48
8	141.81	0.90	127.02	0.799	0.008	16	0.014	2.23
8.25	143.05	0.90	128.30	0.807	0.008	18	0.013	2.03
8.5	144.27	0.90	129.54	0.815	0.008	20	0.012	1.87
8.75	145.46	0.90	130.76	0.822	0.008	22	0.011	1.74
9	146.62	0.90	131.95	0.830	0.008	24	0.010	1.63
9.25	147.76	0.90	133.12	0.837	0.007	26	0.010	1.53
9.5	148.88	0.90	134.27	0.844	0.007	28	0.009	1.44
9.75	149.98	0.90	135.39	0.851	0.007	30	0.009	1.37
10	151.06	0.90	136.49	0.858	0.007	32	0.008	1.30
10.25	152.11	0.90	137.57	0.865	0.007	34	0.008	1.25

Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων

10.5	153.15	0.91	138.63	0.872	0.007	36	0.008	1.19
10.75	154.17	0.91	139.68	0.878	0.007	38	0.007	1.14
11	155.17	0.91	140.70	0.885	0.006	40	0.007	1.10
11.25	156.16	0.91	141.71	0.891	0.006	42	0.007	1.06
11.5	157.13	0.91	142.70	0.897	0.006	44	0.006	1.02
11.75	158.08	0.91	143.68	0.904	0.006	46	0.006	0.99
12	159.02	0.91	144.64	0.910	0.006	48	0.006	0.96
<b>sum</b>								<b>144.64</b>

Πίνακας 18. Υετογράφημα σχεδιασμού (T=100 έτη)

ΝΕΛΩΝ T100								
t <sub>i</sub> (h)	h <sub>i</sub> =t <sub>i</sub> *i <sub>ti</sub> (mm)	φ	h <sub>φ</sub> (mm)	ρ <sub>i</sub> =h <sub>i</sub> /H <sub>tot</sub>	Διαφορά	Αναδιάταξη		Ολικό Βροχογράφημα
					ρ <sub>i</sub> -ρ <sub>i-1</sub>	θέση	τιμή	h <sub>i</sub> ' = ρ <sub>i</sub> *H <sub>tot</sub> (mm)
0.25	50.02	0.65	32.48	0.180	0.180	47	0.006	1.11
0.5	67.06	0.72	48.61	0.269	0.089	45	0.006	1.14
0.75	77.86	0.76	59.27	0.328	0.059	43	0.007	1.18
1	85.95	0.78	67.40	0.373	0.045	41	0.007	1.23
1.25	92.50	0.80	74.04	0.410	0.037	39	0.007	1.27
1.5	98.06	0.81	79.70	0.441	0.031	37	0.007	1.33
1.75	102.92	0.82	84.66	0.469	0.027	35	0.008	1.38
2	107.26	0.83	89.09	0.493	0.025	33	0.008	1.45
2.25	111.18	0.84	93.12	0.516	0.022	31	0.008	1.52
2.5	114.78	0.84	96.80	0.536	0.020	29	0.009	1.60
2.75	118.11	0.85	100.22	0.555	0.019	27	0.009	1.69
3	121.21	0.85	103.40	0.573	0.018	25	0.010	1.79
3.25	124.11	0.86	106.38	0.589	0.017	23	0.011	1.91
3.5	126.85	0.86	109.19	0.605	0.016	21	0.011	2.05
3.75	129.45	0.86	111.85	0.620	0.015	19	0.012	2.21
4	131.91	0.87	114.39	0.634	0.014	17	0.013	2.41
4.25	134.26	0.87	116.80	0.647	0.013	15	0.015	2.66
4.5	136.51	0.87	119.10	0.660	0.013	13	0.017	2.98
4.75	138.66	0.87	121.32	0.672	0.012	11	0.019	3.41
5	140.74	0.88	123.44	0.684	0.012	9	0.022	4.02
5.25	142.73	0.88	125.49	0.695	0.011	7	0.027	4.96
5.5	144.65	0.88	127.46	0.706	0.011	5	0.037	6.64
5.75	146.51	0.88	129.37	0.717	0.011	3	0.059	10.66
6	148.31	0.88	131.21	0.727	0.010	1	0.180	32.48
6.25	150.06	0.89	133.00	0.737	0.010	2	0.089	16.13
6.5	151.75	0.89	134.74	0.746	0.010	4	0.045	8.12
6.75	153.39	0.89	136.42	0.756	0.009	6	0.031	5.66
7	154.99	0.89	138.06	0.765	0.009	8	0.025	4.43
7.25	156.55	0.89	139.66	0.774	0.009	10	0.020	3.69
7.5	158.07	0.89	141.21	0.782	0.009	12	0.018	3.18
7.75	159.55	0.89	142.73	0.791	0.008	14	0.016	2.81
8	160.99	0.90	144.21	0.799	0.008	16	0.014	2.53
8.25	162.41	0.90	145.66	0.807	0.008	18	0.013	2.31
8.5	163.79	0.90	147.07	0.815	0.008	20	0.012	2.12
8.75	165.14	0.90	148.45	0.822	0.008	22	0.011	1.97
9	166.46	0.90	149.81	0.830	0.008	24	0.010	1.85
9.25	167.76	0.90	151.14	0.837	0.007	26	0.010	1.74

Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού  
Αντιπλημμυρική προστασία Καλαμάτας – Ποταμός Νέδων

9.5	169.03	0.90	152.43	0.844	0.007	28	0.009	1.64
9.75	170.27	0.90	153.71	0.851	0.007	30	0.009	1.56
10	171.49	0.90	154.96	0.858	0.007	32	0.008	1.48
10.25	172.69	0.90	156.19	0.865	0.007	34	0.008	1.41
10.5	173.87	0.91	157.39	0.872	0.007	36	0.008	1.35
10.75	175.03	0.91	158.58	0.878	0.007	38	0.007	1.30
11	176.17	0.91	159.74	0.885	0.006	40	0.007	1.25
11.25	177.29	0.91	160.88	0.891	0.006	42	0.007	1.21
11.5	178.39	0.91	162.01	0.897	0.006	44	0.006	1.16
11.75	179.47	0.91	163.12	0.904	0.006	46	0.006	1.13
12	180.54	0.91	164.21	0.910	0.006	48	0.006	1.09
<b>sum</b>								<b>164.21</b>

