

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΔΑΤΟΣ ΕΚ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΕΜΕΝΟΥΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΔΙΑΔΑ ΤΗΣ ΔΡΑΜΑΣ

Ευάγγελος Φινδανής¹ Ιωάννης Β. Σούλης²

¹Διπλ. Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχ. Α.Π.Θ., ΜΔΕ Υδραυλικής Μηχανικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειον Πανεπιστήμιον Θράκης, Ξάνθη, 67100, Ελλάδα, vangelisfindanis@gmail.com

²Καθηγητής, Τομέας Υδραυλικής Μηχανικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειον Πανεπιστήμιον Θράκης, Ξάνθη, 67100, Ελλάδα, soulis@civil.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατασκευή του τρίτου υδροηλεκτρικού έργου στη θέση Τέμενος, Περιφερειακή Ενότητα Δράμας, έχει προγραμματισθεί για παραγωγή ~27.0 MW ηλεκτρικής ενεργείας αλλά και να ρυθμίζει τις παροχές του Νέστου. Τμήμα της παροχής αυτής θα μπορούσε να αρδεύσει την πεδιάδα της Δράμας σε απόσταση 34.5 km μακριά από τον ταμιευτήρα. Προτείνεται λοιπόν η διερεύνηση του τρόπου μεταφοράς του απαιτούμενου ύδατος. Η μεταφορά γίνεται ως εξής: από το φράγμα του Τεμένους, με φυσική ροή μέσω σωλήνων πολυαιθυλενίου, διοχετεύεται ύδωρ προς το αντλιοστάσιο σε μικρή απόσταση. Οι αντλίες μεταφέρουν με αγωγό (χυτοσίδηρος εν μέρει) το ύδωρ σε δεξαμενή ευρισκομένη σε κατάλληλη υψομετρική θέση απ’ την οποία διοχετεύεται με φυσική ροή μέσω αγωγού πολυαιθυλενίου και ανοικτού αγωγού στην πεδιάδα της Δράμας. Περιγράφεται η συλλογή των απαραίτητων τοπογραφικών δεδομένων για τον σχεδιασμό του δικτύου. Παρουσιάζονται οι διαδρομές των επιμέρους τμημάτων του υδραγωγείου και το προφίλ της ροής για διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Με τα υπολογιστικά προγράμματα WaterCad και HEC-RAS εκτιμήθηκε η διαδικασία μεταφοράς ύδατος. Η ερευνητική αυτή εργασία πιθανώς να αποτελέσει μια κατευθυντήρια οδηγία για τους μελετητές που θα πραγματοποιήσουν την οριστική μελέτη του έργου.

Λέξεις κλειδιά: Μεταφορά Ύδατος, Αντλιοστάσιο, Μοντελοποίηση Ροής, Νέστος Ποταμός

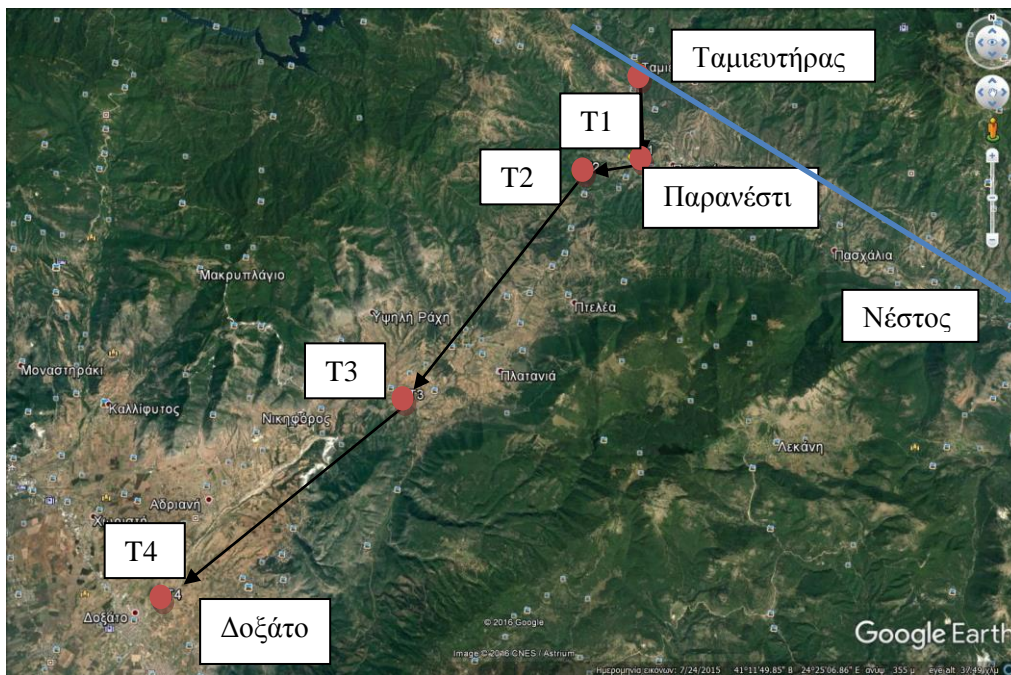
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υδραγωγεία χρησιμοποιούνται κυρίως για υδροδοτήσεις πόλεων, εργοστασίων και για αρδευτικούς σκοπούς. Η κίνηση των ρευστών σε αρκετές περιπτώσεις είναι περίπλοκη και ως εκ τούτου για την διεξαγωγή του σχεδιασμού του υδραγωγείου απαιτούνται απλουστευτικές παραδοχές οι οποίες είναι πιθανό να αλλοιώνουν εν τέλει τα αποτελέσματα. Όμως ο σχεδιασμός ενός υδραγωγείου είναι αναγκαίο να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα και επομένως είναι αναγκαία η προσομοίωση του με χρήση Η/Υ. Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί Καρδίας και Αγίου Δημητρίου τροφοδοτούνται με την μεταφορά ύδατος από το φράγμα Πολυφύτου. Στην παρούσα ερευνητική εργασία γίνεται μία αναγνωριστική μελέτη ενός συστήματος μεταφοράς ύδατος από το φράγμα, που πρόκειται να δημιουργηθεί στο Τέμενος του Δήμου Παρανεστίου, προς την πεδιάδα της Δράμας. Ο σχεδιασμός μπορεί να γίνει με την χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης υδραυλικών δικτύων. Ειδικότερα, για την προσομοίωση κλειστών αγωγών χρησιμοποιείται ευρέως το λογισμικό WaterCad της Bentley ενώ για την προσομοίωση ανοικτών αγωγών το λογισμικό HEC-RAS του Αμερικανικού Υπουργείου Αμύνης.

Η μεταφορά ύδατος απαιτεί πάντα συνδυασμό της βαρυτικής κινήσεως του ύδατος και αν είναι αναγκαίο την χρήση αντλιών. Η περιοχή μελέτης απαιτεί την χρήση δεξαμενών και αντλιοστασίων σε συνδυασμό με ελεύθερη ροή. Η απόσταση μεταφοράς είναι αρκετά μεγάλη. Το μεγαλύτερο εμπόδιο είναι η υπερπήδηση 200.0 m ύψους λοφοσειρών που παρεμβάλλονται μεταξύ του ποταμού και της πεδιάδας. Μπορούν να υπολογισθούν οι παροχές για διαφορετικούς σχεδιασμούς αγωγών αλλά και να γίνει έλεγχος για προβλήματα στους σχεδιασμούς, όπως π.χ. η ανάπτυξη αρνητικών πιέσεων.

2. ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Ο πρώτος βαρυτικός αγωγός θα μεταφέρει το ύδωρ από τον ταμιευτήρα του Τεμένους μέχρι την δεξαμενή T1, με υψόμετρο 134.0 m, η οποία βρίσκεται στο Μεσοχώρι, Δήμου Παρανεστίου Δράμας, Σχήμα 1. Από την δεξαμενή αυτή αντλεί ο καταθλιπτικός αγωγός ο οποίος και μεταφέρει το ύδωρ στην δεξαμενή T2, με υψόμετρο 349.0 m. Στην δεξαμενή T1 σχεδιάστηκε ένα αντλιοστάσιο το οποίο παρέχει αρκετή ενέργεια στην ροή ώστε να μεταφερθεί προς την δεξαμενή T2. Από την δεξαμενή T2 αρχίζει ένας κλειστός βαρυτικός αγωγός ο οποίος άγει το ύδωρ στην δεξαμενή T3 η οποία τοποθετήθηκε στον οικισμό Μικρολιβάδι, με υψόμετρο 295.0 m. Τέλος, από την δεξαμενή άγεται ανοικτός αγωγός ο οποίος καταλήγει έξω από το Δοξάτο της Αντιπεριφέρειας Δράμας. Στο πέρας του ανοικτού αγωγού, το ύδωρ συγκεντρώνεται στην δεξαμενή T4 όπου μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για αρδευτικούς σκοπούς. Το τελικό ολικό μήκος, σε ευθυγραμμία, του υδραγωγείου είναι 35.4 km.



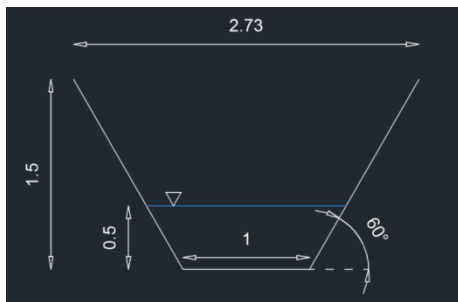
Σχήμα 1. Διαδρομή αγωγών και δεξαμενές με τον ταμιευτήρα του Τεμένους. Το σύνολο είναι 34.5 km σε ευθυγραμμες συνδέσεις.

Σημαντική παράμετρος για τον σχεδιασμό ενός υδραγωγείου είναι η παροχή σχεδιασμού. Βάσει αυτής της παραμέτρου γίνεται η διαστασιολόγηση όλων των επιμέρους τμημάτων του. Επομένως, η επιλογή της παροχής σχεδιασμού επηρεάζει άμεσα το κόστος για την κατασκευή του υδραγωγείου αλλά και το όφελος του. Στον υπό σχεδιασμό υδραγωγείο, η παροχή σχεδιασμού είναι ένα μέρος της μέσης ετησίας παροχής του ποταμού Νέστου η οποία ανέρχεται στα 58.0 m³/s. Η τιμή της παροχής σχεδιασμού επιλέχθηκε ίση με 1.8 m³/s δηλ. το 3.1 % της μέσης ετησίας παροχής του ποταμού. Ο λόγος που δεν επιλέχθηκε μεγαλύτερη παροχή σχεδιασμού είναι ότι κάτι τέτοιο θα απαιτούσε διαμέτρους αγωγών μεγαλύτερες των 1000.0 mm, δηλαδή διαμέτρους που θα εκτόξευσαν το κόστος του έργου. Βέβαια, αυτό δεν είναι απαγορευτικό. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αγωγοί εν παραλλήλω για να ικανοποιήσουν την οποιαδήποτε ανάγκη για άρδευση.

Ένα εργαλείο που κατευθύνει την διαστασιολόγηση των κλειστών αγωγών είναι ο τύπος του Bresse, με $D = 15.5\sqrt{Q}$. Το D, η διάμετρος δηλ., εισάγεται σε mm και το Q η παροχή σε m³/h. Η εξίσωση δίνει

την διάμετρο για μία δεδομένη παροχή υποθέτοντας ότι η ταχύτητα της ροής είναι 1.47 m/s. Εάν εφαρμοσθεί η ανωτέρω εξίσωση για την παροχή σχεδιασμού, τότε λαμβάνεται ότι η διάμετρος των αγωγών πρέπει να ισούται με 1247.7 mm, ώστε η μέση ταχύτητα της ροής να είναι 1.47 m/s. Η συγκεκριμένη τιμή της διαμέτρου είναι αρκετά μεγάλη οπότε επιλέγεται ως εσωτερική διάμετρος των σωλήνων τα 1000.0 mm με άμεση συνέπεια την αύξηση της ταχύτητας της ροής στα 2.3 m/s.

Η διαστασιολόγηση του ανοικτού αγωγού υλοποιείται υποθέτοντας ότι η ροή σε αυτόν είναι ομοιόμορφη. Επιπλέον, θεωρείται ότι ο αγωγός έχει ενιαία κατά μήκος κλίση ίση με 1.3 %. Η συγκεκριμένη τιμή της κλίσεως προκύπτει από τοπογραφικά δεδομένα: το μήκος του ανοικτού αγωγού είναι 14.8 km, από την δεξαμενή T3 προς την δεξαμενή T4, και η υψομετρική διαφορά μεταξύ της αρχής και του πέρατός του είναι 197.0 m και ως εκ τούτου $197.0 \text{ m}/14.8 \text{ km}=1.3 \%$. Με βάση αυτά τα δεδομένα πρέπει να επιλεγεί η οικονομικότερη τραπεζοειδής διατομή, δηλαδή η διατομή που να ελαχιστοποιεί το κόστος εκσκαφών και επίστρωσης. Μία τραπεζοειδής διατομή, Σχήμα 2, χαρακτηρίζεται ως οικονομική όταν ισχύουν οι σχέσεις, $b = 2y/\sqrt{3}$ και $m = 1/\sqrt{3}$



Σχήμα 2. Η διατομή του ανοικτού αγωγού. Οι διαστάσεις είναι σε m.

Με b το πλάτος του πυθμένα, y το βάθος του ύδατος και m τη κλίση των πρανών. Για να υπολογιστεί το πλάτος του πυθμένα γίνεται η υπόθεση ότι $y=y_0$. Το ομοιόμορφο βάθος y_0 δίνεται από την εξίσωση,

$$\frac{[(b + my_0)y_0]^{5/3}}{[b + 2y_0\sqrt{1 + m^2}]^{2/3}} = \frac{nQ}{\sqrt{S_0}}$$

με n ο συντελεστής τριβής κατά Manning και S_0 την ομοιόμορφη κλίση. Λύνοντας το σύστημα των εξισώσεων για $n=0.018$, $Q=1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ και $S_0=1.3 \%$ προκύπτει $b=0.69 \text{ m}$. Για λόγους ασφαλείας εντέλει επιλέγεται $b=1.0 \text{ m}$. Έτσι, λύνεται εκ νέου η ανωτέρω εξίσωση και λαμβάνεται $y_0=0.5 \text{ m}$. Άρα, σε τμήματα του αγωγού που διατηρείται σταθερή κλίση για μεγάλο μήκος, το βάθος ροής y τείνει να γίνει ίσο με 0.5 m . Να σημειωθεί ότι το κρίσιμο βάθος ισούται με 0.61 m και ως εκ τούτου αναμένεται η ροή στον αγωγό να είναι υπερκρίσιμη. Τέλος, το ύψος της διατομής λαμβάνεται ίσο με 1.5 m . Αυτό συμβαίνει διότι στο βάθος ροής y , που αναμένεται να έχει τιμή ίση με 0.5 m , προστίθεται επιπλέον το ελεύθερο ύψος με τιμή 0.5 m και το ύψος του τέλους της επένδυσης που επίσης έχει τιμή ίση με 0.5 m . Το ελεύθερο ύψος είναι η απόσταση του χείλους του πρανού από την ανώτατη στάθμη του ύδατος το οποίο αποσκοπεί στην αποφυγή της υπερχειλίσης λόγω κυματισμών. Έτσι η τελική διατομή του ανοικτού αγωγού παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τις σωληνώσεις ενός εξωτερικού υδραγωγείου είναι ο χάλυβας, ο όλκιμος χυτοσίδηρος, το χλωριωμένο πολυβινύλιο PVC, το πολυαιθυλένιο τρίτης γενιάς, το σκυρόδεμα και ο υαλοπλισμένος πολυεστέρας. Το υλικό που ευρέως χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια είναι το PVC. Έχει μικρό βάρος, είναι φθινό υλικό και έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Το μειονέκτημά του είναι ότι δεν αντέχει μεγάλα ύψη πίεσεως (φορτίο) και επομένως δεν είναι κατάλληλο για καταθλιπτικούς αγωγούς. Έτσι, προτιμάται η εφαρμογή του σε βαρυτικούς αγωγούς. Αντίθετα, οι σωλήνες από όλκιμο χυτοσίδηρο έχουν πολύ μεγάλη μηχανική αντοχή και αντέχουν σε μεγάλες πιέσεις. Μειονεκτήματά τους όμως είναι το μεγάλο βάρος και το υψηλό κόστος. Βάσει των παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι ο καταθλιπτικός αγωγός μεταξύ των δεξαμενών T1 και T2 είναι φτιαγμένος εν μέρει από όλκιμο χυτοσίδηρο για να αντέξει το μεγάλο ύψος πίεσεως αλλά και τυχόν υδραυλικά πλήγματα. Αντίθετα, οι βαρυτικοί αγωγοί που συνδέουν τον ταμιευτήρα Τεμένους με την δεξαμενή T1 και την δεξαμενή T2 με την δεξαμενή T3 είναι φτιαγμένοι από PVC για να μειωθεί το κόστος κατασκευής του έργου και διότι στους αγωγούς αυτούς δεν αναπτύσσονται μεγάλες πιέσεις.

3. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα χαρτογραφικά δεδομένα του Google Earth έχουν προέλθει από την υπέρθεση δορυφορικών εικόνων, αεροφωτογραφιών και δεδομένων GIS. Επιπλέον, μερικές περιοχές έχουν καλυφθεί από ορθοφωτογραφίες. Η ακρίβεια του Google Earth είναι της τάξεως των 2.0 m και για τα οριζοντιογραφικά και για τα υψομετρικά δεδομένα. Η ακρίβεια αυτή αν και μη-επαρκής για την μελέτη ενός εξωτερικού υδραγωγείου είναι αρκετή για την διεξαγωγή μίας αναγνωριστικής μελέτης. Για να δημιουργηθεί κατάλογος με τις συντεταγμένες x και y των σημείων που ορίζουν την θέση του αγωγού και τα αντίστοιχα υψόμετρα του εδάφους η ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία,

1. Εντοπίζεται η περιοχή μελέτης με το Google Earth.
2. Δημιουργείται ένας φάκελος εντός του καταλόγου «μέρη» του Google Earth.
3. Εντός αυτού του φακέλου εισάγονται τα σημεία που ορίζουν τον αγωγό με την χρήση του εργαλείου «Προσθήκη σήμανσης μέρους».
4. Όταν εκτελείται αυτή, η εντολή εμφανίζεται στο κέντρο της οθόνης ένα σημείο το οποίο το μετακινείται ακριβώς πάνω στην κορυφή του αγωγού.
5. Δίνεται στο σημείο ονομασία και σημειώνεται το υψόμετρο του σε ένα αρχείο .xls. Το υψόμετρο του σημείου φαίνεται κάτω δεξιά της οθόνης.
6. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 4 και 5 για κάθε σημείου του αγωγού σε όλο το μήκος αυτού.
7. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία με τα σημεία, επιλέγεται το «Αποθήκευση μέρους ως...», ως .kmz.
8. Εισάγεται η ιστοσελίδα <http://www.zonums.com/online/kml2x/>.
9. Επιλέγεται το «Upload kml/kmz File» και στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται το «Επιλογή αρχείου» όπου και επιλέγεται το αρχείο .kmz. Επιλέγεται το «Accept».
10. Στο «Output Coordinate System» επιλέγεται η προβολή UTM και η 35η ζώνη. Το ημισφαίριο που ενδιαφέρει είναι το Βόρειο.
11. Στο «Output File Format» επιλέγεται το CSV-excel και με το Export ανοίγει ένα παράθυρο τα περιεχόμενα του οποίου αντιγράφονται και επικολλώνται στο εσωτερικό ενός αρχείου .txt.
12. Στο αρχείο excel έχουν σημειωθεί τα υψόμετρα των σημείων. Στην καρτέλα «Data» επιλέγεται το «Get External Data From Text». Επιλέγεται το αρχείο .txt.
13. Στο παράθυρο που ανοίγεται, γίνεται η επιλογή Delimited και μετά Next. Στο «Delimiters» επιλέγεται ως διαχωριστικό το κόμμα και μετά Finish. Στο παράθυρο Import Data επιλέγεται το «New Worksheet».
14. Μεταφέρονται τα δεδομένα στο ίδιο φύλλο εργασίας με τα υψόμετρα έτσι ώστε να προκύψει ένας πίνακας 4 στηλών και n γραμμών όπου n ο αριθμός των σημείων που ορίζουν τον αγωγό από την αρχή μέχρι το πέρας αυτού. Στην πρώτη στήλη εμπεριέχονται τα ονόματα των σημείων, στην δεύτερη τα x, στην τρίτη τα y και στην τέταρτη τα υψόμετρα του εδάφους h.

Με την παραπάνω διαδικασία δημιουργούνται οι συντεταγμένες μίας τρισδιάστατης πολυγωνικής γραμμής. Η γραμμή αυτή δεν ταυτίζεται με τον αγωγό διότι τα υψόμετρα h είναι τα υψόμετρα του εδάφους και όχι τα υψόμετρα στα διάφορα σημεία του αγωγού. Ένας σωλήνας τοποθετείται σε μικρό βάθος εντός του εδάφους και ως εκ τούτου τα υψόμετρα στις κορυφές του είναι χαμηλότερα από τα αντίστοιχα υψόμετρα του εδάφους. Από την άλλη, ένας ανοικτός αγωγός πρέπει να έχει σταθερή κλίση και συνεπώς τα υψόμετρα στις διάφορες διατομές του δεν γίνεται να ταυτίζονται με τα υψόμετρα του εδάφους. Εάν συνέβαινε αυτό ο αγωγός θα είχε την κλίση του εδάφους, δηλαδή μία κλίση γενικά ακανόνιστη και όχι σταθερή η οποία μάλιστα μπορεί να είναι και ανηφορική. Ακριβώς για αυτούς τους λόγους είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν μηκοτομές για κάθε αγωγό ώστε εκτός από τα x και τα y να προσδιοριστούν και τα υψόμετρα στις κορυφές του αγωγού.

4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΟ WATERCAD ΚΑΙ HEC-RAS

4.1 WaterCad

Μετά την εισαγωγή των τοπογραφικών δεδομένων στο WaterCad είναι απαραίτητη η δημιουργία του μοντέλου, δηλαδή η προσθήκη και άλλων στοιχείων εκτός από κόμβους. Επιπλέον, πρέπει να

καθοριστούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δικτύου, όπως οι διάμετροι των αγωγών και η χωρητικότητα των δεξαμενών. Η παρουσίαση της μεθόδου που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δικτύου έγινε μέσω ενός τυπικού παραδείγματος. Έχοντας πλέον δομήσει το μοντέλο, σειρά έχει η επίλυση του η οποία θα γίνει για σταθερή ροή.

4.2 HEC-RAS

Παρακάτω αναφέρονται τα βήματα που απαιτούνται για την εισαγωγή των δεδομένων που συλλέχθηκαν από το Google Earth στο HEC-RAS. Τα δεδομένα αυτά περιέχονται σε έναν πίνακα τεσσάρων στηλών εκ των οποίων η πρώτη περιέχει τα ονόματα των διατομών, η δεύτερη και η τρίτη τα x και y του άξονα του αγωγού αντίστοιχα και η τέταρτη τα υψόμετρα του πυθμένα h του αγωγού όπως προέκυψαν από την μηκοτομή του αγωγού. Τα βήματα που απαιτούνται είναι τα ακόλουθα:

1. Τα τοπογραφικά δεδομένα μεταφέρονται σε αρχείο .scr και εισάγονται στο AutoCAD. Τα σημεία που δημιουργούνται ενώνονται με μία Polyline.
2. Δημιουργούνται τέσσερις επιπλέον Polyline στο AutoCAD μεταθέτοντας παράλληλα την πολυγωνική αξονική γραμμή που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Οι δύο γραμμές μετατίθενται κατά $B/2$, όπου B είναι το ανώτατο πλάτος της τομής του αγωγού, εκατέρωθεν της αρχικής γραμμής και οι υπόλοιπες δύο μετατίθενται κατά $b/2$ όπου b είναι το πλάτος του πυθμένα του αγωγού, πάλι εκατέρωθεν αυτής.
3. Οι συντεταγμένες x και y των τεσσάρων πολυγωνικών γραμμών που δημιουργήθηκαν εξάγονται σε αρχεία .txt και εισάγονται στο excel σε μορφή πινάκων.
4. Καθένας από τους παραπάνω 4 πίνακες έχει 4 στήλες, δηλ. το όνομα της διατομής και τα x , y , z , και n γραμμές, όπου n ο αριθμός των διατομών. Στα σημεία των ορίων του αγωγού το υψόμετρο είναι $z+1.5$ m όπου z το αντίστοιχο υψόμετρο του πυθμένα. Οι πίνακες αυτοί τοποθετούνται ο ένας κάτω από τον άλλον σχηματίζοντας έναν ενιαίο πίνακα με 4 στήλες και $4n$ γραμμές.
5. Στον πίνακα του βήματος 5 προστίθενται επιπλέον δύο στήλες οι οποίες έχουν σε κάθε γραμμή την ίδια εγγραφή. Στην 1^η επιπλέον στήλη προστίθεται το όνομα του καναλιού π.χ. "phase 4b" ενώ στην 2^η ο αύξων αριθμός του κλάδου του καναλιού. Αφού το κανάλι αποτελείται από έναν μόνο κλάδο, η 2^η στήλη, σε κάθε γραμμή, έχει την τιμή 1.
6. Στην αρχή του παραπάνω πίνακα προστίθεται η γραμμή "River Reach RS XYZ". Έτσι, ο τελικός πίνακας έχει 6 στήλες και $4n+1$ γραμμές.
7. Αντιγράφεται ο τελικός πίνακας του βήματος 7 σε ένα αρχείο .txt το οποίο μετατρέπεται σε μορφή .csv αντικαθιστώντας τα κενά με κόμματα.
8. Υπολογίζονται με το Πυθαγόρειο θεώρημα οι οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών σημείων του άξονα.
9. Ανοίγεται το HEC-RAS και δημιουργείται νέο Project. Ακολουθείται η διαδρομή Edit→Geometric Data→File→Import Geometry Data→CSV Format. Στο παράθυρο που ανοίγει, επιλέγεται το αρχείο .csv του βήματος 7. Έπειτα, διατηρείται το x , y , z format και επιλέγεται το SI Units. Επιλέγοντας το Finished-Import Data εμφανίζεται το κανάλι στο παράθυρο γραφικών του HEC-RAS.
10. Ακολουθείται η διαδρομή Geometric Data→Tables→Manning's work values. Επιλέγονται οι τρεις στήλες του αναδύμενου παραθύρου και μετά επιλέγεται το Set Values για να εισαχθεί η τιμή του συντελεστή Manning.
11. Αντιγράφεται η λίστα με τις αποστάσεις του βήματος 8 από το excel και επικολλάται στην μεσαία στήλη του πίνακα που αναδύεται ακολουθώντας την διαδρομή Geometric Data→Tables→Reach Lengths. Η τελευταία τιμή της μεσαίας στήλης τίθεται ίση με μηδέν.
12. Στην καρτέλα Edit επιλέγεται το Steady Flow Data με αποτέλεσμα να αναδύεται ένα παράθυρο. Στο Profile Names and Flow rates εισάγεται η παροχή σχεδιασμού. Έπειτα,

επιλέγεται το Reach Boundary Conditions και εισάγονται οι οριακές συνθήκες στην αρχή και στο πέρας του αγωγού.

Με το View→Cross-Sections παρουσιάζονται οι διατομές του ανοικτού αγωγού και με το Profile Summary Table από την καρτέλα View, παρουσιάζονται οι τιμές υδραυλικών παραμέτρων σε πίνακα.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Πρώτο τμήμα του υδραγωγείου

Το πρώτο τμήμα αρχίζει από τον ταμιευτήρα του Τεμένους και καταλήγει στην δεξαμενή T1, Σχήμα 3. Η μεταφορά του ύδατος υλοποιείται με αγωγό διαμέτρου 1000.0 mm και μήκους 4.3 km ο οποίος βρίσκεται υπό πίεση. Ο σωλήνας αυτός είναι βαρυντικός υλικού PVC διότι το φορτίο πίεσεως δεν εμφανίζει μεγάλες τιμές. Ο ταμιευτήρας Τεμένους έχει μέγιστη στάθμη λειτουργίας τα 154.0 m και ελάχιστη τα 147.0 m. Το σημείο εκροής του ταμιευτήρα έχει συντεταγμένες $x=289109.9$ και $y=4575154.31$ (UTM). Η δεξαμενή T1 τέθηκε κοντά στο Μεσοχώρι του Δήμου Παρανεστίου, έτσι ώστε το υψόμετρο της βάσεως της να βρίσκεται στα 134.0 m. Η αύξηση του υψομέτρου της βάσεως της δεξαμενής T1 από τα 126.0 m (αρχικά) στα 134.0 m συνεισφέρει στην μείωση της παροχής ώστε να πλησιάσει την τιμή σχεδιασμού αλλά και στην μείωση της απαιτούμενης ισχύος για μεταφορά του ύδατος από την δεξαμενή T1 προς την δεξαμενή T2 (δεύτερο τμήμα). Η διαδρομή που ακολουθεί ο αγωγός τροποποιήθηκε ώστε να μην εμφανίζονται υποπίεσεις σε κανένα σημείο της ροής. Στην τελική λύση, η μέγιστη στάθμη της δεξαμενής T1 είναι τα 139.0 m ενώ η ελάχιστη είναι τα 135.0 m. Συνεπώς, στο WaterCad θα προσομοιωθούν τα τέσσερα σενάρια που φαίνονται στον Πίνακα 1.



Σχήμα 3. Η τελική διαδρομή που ακολουθεί το πρώτο τμήμα του υδραγωγείου, από τον ταμιευτήρα στην δεξαμενή T1.

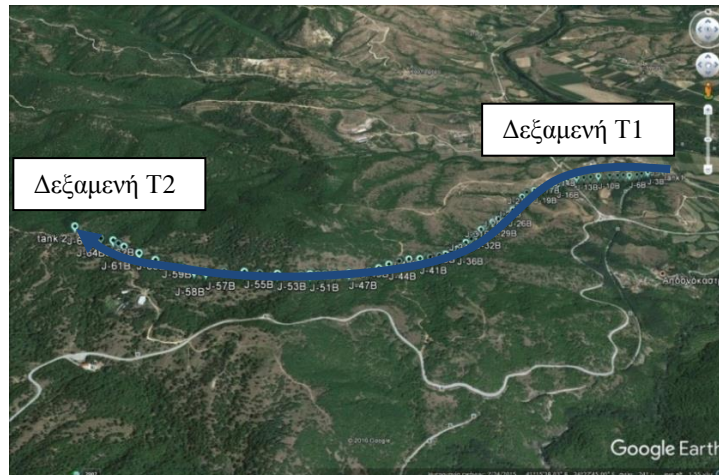
Επίσης, στον πίνακα αυτόν παρουσιάζονται οι παροχές που προκύπτουν από το WaterCad για κάθε σενάριο. Η μηκοτομή του αγωγού βρίσκεται κάτω από την πιεζομετρική γραμμή όπως σχεδιάστηκε από το WaterCad και ως εκ τούτου δεν εμφανίζονται υποπίεσεις. Η λύση είναι αποδεκτή.

Σενάριο	Ανάτη στάθμη (m)	Κατάτη στάθμη (m)	Παροχή (l/s)
1	154	139	1714
2	154	135	1935
3	147	135	1507
4	147	139	1225

Πίνακας 1. Τα τέσσερα σενάρια και οι αντίστοιχες παροχές για το πρώτο τμήμα του υδραγωγείου.

5.2 Δεύτερο τμήμα του υδραγωγείου

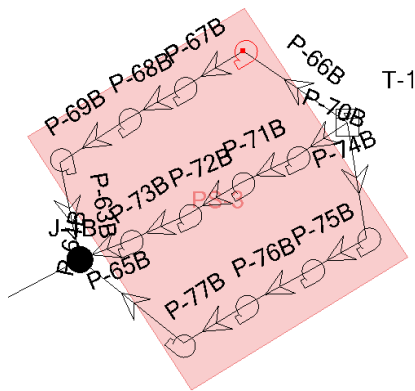
Ο σχεδιασμός του δεύτερου τμήματος του υδραγωγείου αρχίζει από την δεξαμενή T1 και καταλήγει στην δεξαμενή T2. Η μεταφορά του ύδατος υλοποιείται με έναν αγωγό διαμέτρου 1000.0 mm και μήκους 2.8 km που ξεκινάει από υψόμετρο 134.0 m και καταλήγει σε υψόμετρο 349.0 m. Επομένως, στο δεύτερο τμήμα του υδραγωγείου είναι απαραίτητη η λειτουργία ενός αντλιοστασίου. Ο αγωγός είναι καταθλιπτικός και δέχεται μεγάλες τιμές πίεσεως με αποτέλεσμα ως υλικό (εν μέρει) να επιλεγεί ο όλκιμος χυτοσίδηρος (Ductile Iron). Η τοπογραφία που μελετήθηκε φαίνεται στο Σχήμα 4.



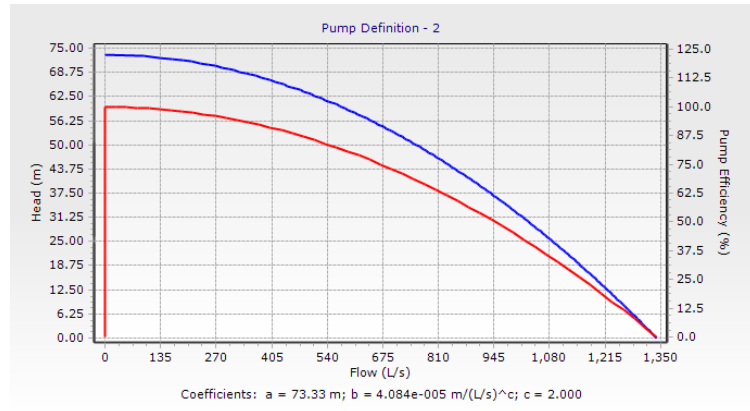
Σχήμα 4. Η διαδρομή που ακολουθεί το δεύτερο τμήμα του υδραγωγείου, από την δεξαμενή T1 στην δεξαμενή T2.

Για να προσδιοριστεί η διάταξη των αντλιών του αντλιοστασίου ακολουθείται η εξής λογική: έστω ότι το συνολικό μανομετρικό που πρέπει να προστεθεί σε συνολική παροχή Q είναι H . Εάν μία αντλία παρέχει παροχή q και αποδίδει μανομετρικό h , ο αριθμός των σειρών των αντλιών στο αντλιοστάσιο είναι ίσος με Q/q ενώ κάθε σειρά αποτελείται από H/h αντλίες. Επομένως, επιλέγοντας ως σημείο σχεδιασμού των αντλιών το $(q, h)=(670.0 \text{ l/s}, 55.0 \text{ m})$ και λαμβάνοντας υπόψη ότι η υψομετρική διαφορά των δεξαμενών T1 και T2 είναι 215.0 m ενώ η παροχή σχεδιασμού είναι 1800.0 l/s, προκύπτει ότι το αντλιοστάσιο πρέπει να έχει $1800.0/670.0 \approx 3$ σειρές αντλιών. Σε κάθε σειρά πρέπει να υπάρχουν $215.0/55.0 \approx 4$ αντλίες. Άρα, στο σύνολο απαιτείται η εγκατάσταση 12 αντλιών, Σχήμα 5α. Γνωρίζοντας το σημείο σχεδιασμού των αντλιών, το WaterCad μπορεί να σχεδιάσει τις καμπύλες λειτουργίας τους. Στο Pump Definitions, χρησιμοποιείται η μέθοδος του Design Point, όπου και εισάγεται το σημείο σχεδιασμού. Έτσι, προκύπτουν οι καμπύλες λειτουργίας Σχήμα 5β. Τέλος, οι αγωγοί που συνδέουν τις αντλίες μεταξύ τους είναι από όλκιμο χυτοσίδηρο. Οι σωλήνες που συνδέουν τις αντλίες με την δεξαμενή T1 έχουν διάμετρο ίση με 550.0 mm ενώ όλοι οι υπόλοιποι σωλήνες του αντλιοστασίου μέχρι τον κόμβο J-1, Σχήμα 5α, έχουν διάμετρο 400.0 mm. Στο WaterCad προσομοιώνονται τα δύο σενάρια που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Στον πίνακα σημειώνονται οι παροχές που προκύπτουν από το πρόγραμμα υπολογισμών για κάθε σενάριο. Η μηκοτομή του αγωγού και στα δύο σενάρια βρίσκεται κάτω από την πιεζομετρική γραμμή. Οι παροχές και στα δύο σενάρια είναι κοντά στην παροχή σχεδιασμού, Σχήμα 6. Επομένως, η λύση είναι αποδεκτή.

α)



β)

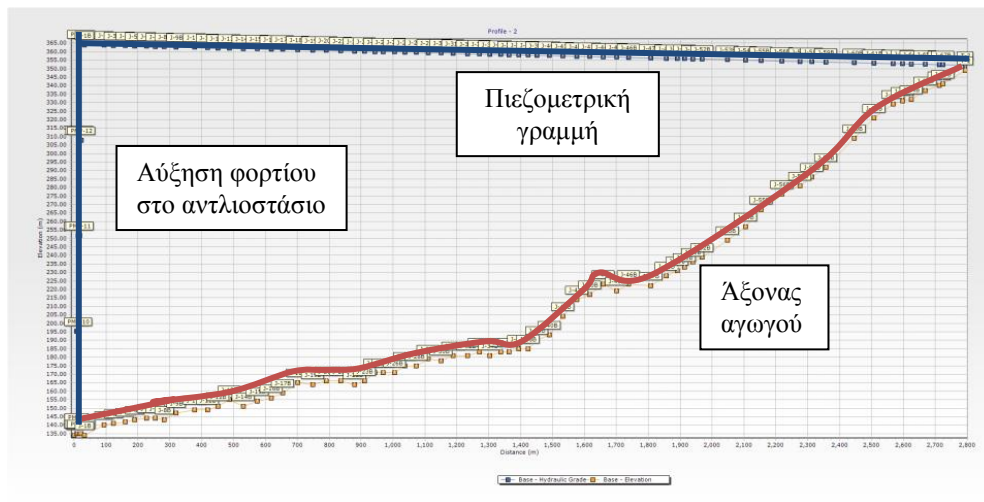


Σχήμα 5. α) Το αντλιοστάσιο αποτελείται από δώδεκα αντλίες. β) Παρουσιάζονται οι καμπύλες λειτουργίας της αντλίας. Το σημείο λειτουργίας είναι το $(q, h)=(670.0 \text{ l/s}, 55.0 \text{ m})$.

Σενάριο	Ανάντη στάθμη (m)	Κατάντη στάθμη (m)	Παροχή (l/s)
1	135	352	1876
2	139	352	1923

Πίνακας 2. Τα δύο σενάρια και οι αντίστοιχες παροχές.

Το φορτίο πίεσης κατά την εμφάνιση υδραυλικού πλήγματος αυξάνεται κατά Δh το οποίο υπολογίζεται από τις εξισώσεις Joukowski. Προκύπτει ότι $\Delta h=342.0 \text{ m}$ ύδατος. Με κανονικές συνθήκες το μέγιστο φορτίο πίεσης εμφανίζεται στο χαμηλότερο σημείο του αγωγού, δηλαδή στον κόμβο J-1 ο οποίος βρίσκεται αμέσως κατάντη του αντλιοστασίου. Το φορτίο πίεσης στον κόμβο J-1 ισούται με 229.0 m . Ως εκ τούτου, κατά την εμφάνιση υδραυλικού πλήγματος το φορτίο πίεσης θα λάβει τιμή ίση με 571.0 m ύδατος ($=229+342 \text{ m}$ ύδατος), ή 5.6 MPa .

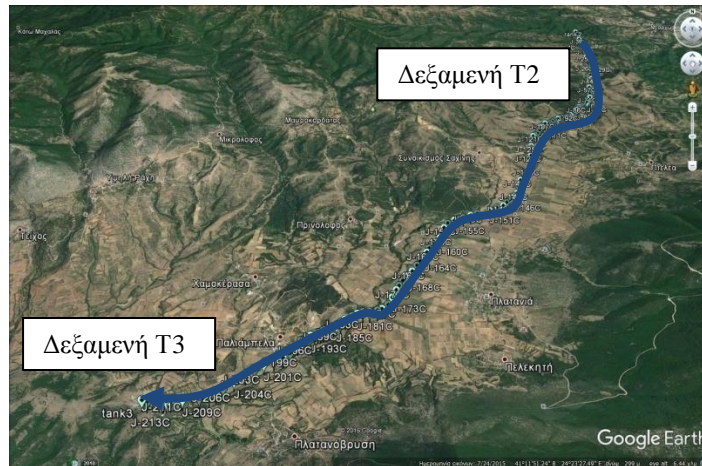


Σχήμα 6. Η μηκοτομή του αγωγού για το δεύτερο σενάριο, από την δεξαμενή T1 στην δεξαμενή T2, και η πιεζομετρική γραμμή που βρίσκεται σε κάθε σημείο άνω της μηκοτομής του αγωγού.

5.3 Τρίτο τμήμα του υδραγωγείου

Το τρίτο τμήμα του υδραγωγείου έχει ως αρχή την δεξαμενή T2 και πέρας την δεξαμενή T3. Η μεταφορά του ύδατος υλοποιείται με έναν σωλήνα διαμέτρου 1000.0 mm και μήκους 13.5 km ο οποίος βρίσκεται υπό πίεση. Ο αγωγός αυτός είναι βαρυντικός. Το φορτίο πίεσης δεν έχει μεγάλες τιμές με αποτέλεσμα ως υλικό του αγωγού μπορεί να επιλεγθεί το PVC. Θα προσομοιωθεί ένα

σενάριο όπου η στάθμη της δεξαμενής T2 είναι 352.0 m και της δεξαμενής T3 τα 333.0 m. Υπολογίζεται ότι η παροχή που μεταφέρεται από τον αγωγό σε αυτή την περίπτωση είναι ίση με 1514.0 l/s. Η παροχή του αγωγού είναι μικρότερη της παροχής σχεδιασμού και ως εκ τούτου η λύση απορρίπτεται. Είναι απαραίτητο η δεξαμενή T3 να μετακινηθεί ώστε το υψόμετρο της βάσης της να γίνει 295.0 m. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η τελική διαδρομή που ακολουθεί ο κλειστός αγωγός και η θέση των δεξαμενών T2 και T3. Υπολογίζεται ότι η παροχή που μεταφέρεται από τον αγωγό σε αυτή την περίπτωση είναι ίση με 1835.0 l/s.



Σχήμα 7. Η λύση για το τρίτο τμήμα του υδραγωγείου, από την δεξαμενή T2 στην δεξαμενή T3.

5.4 Τέταρτο τμήμα του υδραγωγείου

Το τέταρτο τμήμα του υδραγωγείου έχει ως αρχή την δεξαμενή T3 και πέρας την δεξαμενή T4. Το ύδωρ μεταφέρεται με έναν ανοικτό αγωγό ή μηκοτομή, Σχήμα 8. Το μήκος είναι 14.8 km και η επένδυση του αγωγού είναι από σκυρόδεμα για να αντέχει ταχύτητες ροής μέχρι και 6.0 m/sec.



Σχήμα 8. Η διαδρομή για το τέταρτο τμήμα του υδραγωγείου, από την δεξαμενή T3 στην T4.

Για το τέταρτο τμήμα του υδραγωγείου θα προσομοιωθούν δύο σενάρια. Στο πρώτο σενάριο η παροχή είναι η παροχή σχεδιασμού των 1.8 m³/s ενώ στο δεύτερο μελετάται η περίπτωση παροχής 3.0 m³/s ώστε να εξεταστεί η πιθανότητα υπερχειλίσής του. Η δημιουργία του προφίλ της ροής στο HEC-RAS απαιτεί την εισαγωγή οριακών συνθηκών στην αρχική και στην τελική διατομή του αγωγού. Έτσι, η στάθμη στο ανάντη άκρο του αγωγού έχει υψόμετρο 295.3 m ενώ στο κατόντη άκρο 99.0 m. Μετά την επίλυση του μοντέλου προέκυψαν τα αποτελέσματα που αντιστοιχούν στην παροχή σχεδιασμού,

1.8 m³/s. Σημειώνεται ότι ο αγωγός δεν υπερχειλίζει σε καμία διατομή ενώ η ροή είναι παντού υπερκρίσιμη.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατωτέρω αναφέρονται μερικά συμπεράσματα και οδηγίες για βελτίωση του συστήματος μεταφοράς ύδατος στην πεδιάδα της Δράμας από τον ποταμό Νέστο όπως αποδείχθηκε από την έρευνα.

1. Το υδραυλικό μοντέλο μπορεί με ευκολία να δημιουργηθεί μέσα στο περιβάλλον των εμπορικών λογισμικών WaterCad και HEC-RAS. Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων υλοποιείται με μία πληθώρα γραφημάτων.
2. Η μεταφορά ύδατος απαιτεί τον σχεδιασμό τριών κλειστών αγωγών, ενός ανοικτού αγωγού και τεσσάρων δεξαμενών. Η ανάλυση έγινε για παροχή 1.8 m³/s διότι υπάρχει περιορισμός στην διάμετρο των σωλήνων. Παρ' όλα αυτά η παράλληλη χρήση αγωγών δεν είναι απαγορευτική.
3. Το πρώτο και το τρίτο τμήμα του υδραγωγείου αποτελούνται από βαρυτικούς αγωγούς από PVC. Το δεύτερο τμήμα αποτελείται από έναν καταθλιπτικό αγωγό το υλικό του οποίου είναι εν μέρει όλκιμος χυτοσίδηρος, Ductile Iron. Όλοι οι κλειστοί αγωγοί είναι εσωτερικής διαμέτρου 1000.0 mm. Ο ανοικτός αγωγός έχει επένδυση από σκυρόδεμα.
4. Το αντλιοστάσιο του υδραγωγείου απαρτίζεται από τρεις σειρές εν παραλλήλω αντλιών ενώ κάθε σειρά αποτελείται από τέσσερις εν σειρά αντλίες. Η επιλογή των χαρακτηριστικών των αντλιών είναι συμβατή με τα μεγέθη αντλιών της Ελληνικής αγοράς. Έτσι, το αντλιοστάσιο μπορεί να μεταφέρει την απαιτούμενη ποσότητα ύδατος των 1.8 m³/s κατά 215.0 m.
5. Η κλίση του ανοικτού αγωγού μπορεί να μειωθεί ακόμη πιο πολύ. Έτσι, για να παραμένει η μέση κλίση του αγωγού σταθερή, θα δημιουργηθεί ένα τμήμα του αγωγού όπου πραγματοποιείται υδατόπτωση. Η υδατόπτωση αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου.

Η ερευνητική αυτή εργασία θα αποτελέσει μια κατ' αρχήν κατευθυντήρια οδηγία για τους μελλοντικούς ερευνητές που θα πραγματοποιήσουν την μεταφορά του ύδατος με οριστικές μελέτες. Η τοπική οικονομία θα βελτιωθεί με την εκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών πηγών δηλ. της γης και του ύδατος.

ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

R.V. Giles, Fluid Mechanics and Hydraulics, McGraw-Hill, 1962.

A. Δαμασκηνίδου-Γεωργιάδου Α. και Ε. Σιδηρόπουλος, Σημειώσεις Υδραυλικής Ανοικτών Αγωγών, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη 1996.

I. Β. Σούλης, Υδραυλική Ανοικτών Αγωγών, Εκδόσεις Αϊβάζη, Θεσσαλονίκη 1999.

I. Β. Σούλης, Υδραυλική Κλειστών Αγωγών, Εκδόσεις Αϊβάζη, Θεσσαλονίκη 1999.

I. Β. Σούλης, Υπολογιστική Μηχανική Ρευστών, Τμήμα Πολ. Μηχ. Δ.Π.Θ., Ξάνθη 2004.

X. Τζιμόπουλος, Γεωργική Υδραυλική Τόμος II: Συλλογικά Αρδευτικά Δίκτυα με Καταιονισμό, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη 1997.

Γ. Τσακίρης, Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός & Διαχείριση Τόμος I: Αστικά Υδραυλικά Έργα, Αθήνα 2010.

<http://www.peacesoftware.de/einigewerte/img/trapez.png>

http://www.pipeflow.com/public/PipeFlowExpertSoftwareHelp/desktop/Energy_and_Hydraulic_Grade_Lines.htm

<http://www.engineeringexceltemplates.com/blog.aspx?categoryid=5>

<http://www.slideshare.net/louyalhamy/hydro-chapter3-by-louy-al-hami>