

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ
ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ (ΟΛΥΜΠΙΑ – ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ)**

¹ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., & ¹ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ, Σ.

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,
Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής, Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

Λέξεις κλειδιά: Κλαδέος, πλημμυρικός κίνδυνος, επίμηκες προφίλ, στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα, ενέργεια χειμάρρου.

Keywords: Kladeos, flood hazard, longitudinal profile, instantaneous unit hydrograph, stream power.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην υδρολογική λεκάνη του Κλαδέου, παραπόταμου του Αλφειού στο ανατολικό τμήμα του Νομού Ηλείας. Η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου πραγματοποιήθηκε με την επισήμανση θέσεων που συγκεντρώνουν τις μεγαλύτερες πιθανότητες να πληγούν από καταστροφικά πλημμυρικά φαινόμενα σε περίπτωση ακραίων βροχοπτώσεων. Αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν σε κλίμακα 1:50.000 διαφορετικές μεθοδολογίες μεταξύ των οποίων και η κατασκευή επιμήκων τοπογραφικών τομών των υδρορευμάτων, η στατιστική επεξεργασία και ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων, η υδρολογική προσομοίωση επιλεγμένων λεκανών και η κατασκευή των αντίστοιχων στιγμιαίων μοναδιαίων υδρογραφημάτων και ο υπολογισμός της μεταβολής της κλίσης και της ενέργειας χειμάρρου των επιλεγμένων κλάδων του υδρογραφικού δικτύου. Από το συνδυασμό των αποτελεσμάτων έγινε αντιληπτή μερική έως καλή σύμπτωση των θέσεων των ευαίσθητων περιοχών.

**FLOOD HAZARD ASSESSMENT IN THE KLADEOS RIVER BASIN (OLYMPIA –
WESTERN PELOPONNESE)**

¹FOUNTOULIS, I. & ¹MAVROULIS, S.

¹National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,
Department of Dynamic, Tectonic, Applied Geology

ABSTRACT

The present paper aims to the evaluation of flood hazard in the drainage basin of Kladeos, which is a tributary of Alfeios River at the eastern part of the Elis prefecture. The flood hazard assessment was achieved by pointing out the places with the highest probabilities for catastrophic flood phenomena in case of intense rainfalls. For this reason different methodologies were developed and applied in scale 1:50.000 including construction of longitudinal profiles of watercourses, statistical processing and analysis of rainfalls data, applying of hydrological simulation in the selected drainage basins and construction of the respective instantaneous unitary hydrographs and the calculation of slope gradient and stream power of the selected branches. The combination and the comparison of the results showed partial or good correlation. From the longitudinal profiles of watercourses we realize that not only the gradual but also the abrupt changes of channel slope are due to hydrolithological alternations and faults. From the statistical analysis of rainfalls data, it is shown that the extreme rainfalls in Kladeos basin take place every 45 years with recurrence probability of about 2%. The most interesting instantaneous unitary hydrographs are the hydrographs of Kladeos and Makripodi basins with the most distinct peaks. As regards stream power, the most interesting diagrams are these of Plataneiko, Lagadino, Gani and Liakoto streams with the highest stream

power values near their mouth and the contribution to Kladeos. These streams release a vast amount of power through sites of human activity and development in case of extreme rainfalls. Thus, the flood protection must begin from the highest upstream areas in order to reduce flood phenomena incipiently, easily and effectively. On the other hand, the flood protection in the flood plain contains large scale measures of uncertain results and disproportional cost.

1. Εισαγωγή

Οι πλημμύρες θεωρούνται από τους πλέον συχνούς και ευρέως διαδεδομένους φυσικούς κινδύνους παγκοσμίως. Ο κίνδυνος πλημμύρας είναι η πιθανότητα να λάβει χώρα ένα πλημμυρικό φαινόμενο που μπορεί να προκαλέσει απώλειες ζωής ή τραυματισμούς, ζημιές σε περιουσίες, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις ή περιβαλλοντική υποβάθμιση.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κλαδέου, παραπόταμου του Αλφειού στην ευρύτερη περιοχή Λάλα – Αρχαίας Ολυμπίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα από τους πλησιέστερους υδρομετεωρολογικούς στη λεκάνη σταθμούς του ΥΠΕΧΩΔΕ στο Βασιλάκι και στο Στρέφι Ηλείας τα οποία αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν στατιστικά προκειμένου να προσδιοριστεί ο χρόνος επανάλιψης των ακραίων βροχοπτώσεων.

Για τον εντοπισμό τμημάτων του υδρογραφικού δικτύου, των οποίων τα μορφολογικά χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην εκδήλωση πιθανών πλημμυρικών φαινομένων, κατασκευάστηκαν επιμήκεις τοπογραφικές τομές των κυριότερων κλάδων. Επειδή, όμως για τη διερεύνηση των θέσεων πιθανής εκδήλωσης πλημμυρών δεν αρκεί η αναγνώριση περιοχών αποκλειστικά και μόνο βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών, ακολούθησε υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης του Κλαδέου και των επιμέρους λεκανών του.

Με βάση τα αποτελέσματα της υδρολογικής προσομοίωσης των επιλεγμένων λεκανών δημιουργήθηκαν τα στιγμιαία μοναδιαία υδρογραφήματα με σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης βροχής – απορροής, που καθορίζεται από την αντίδραση μιας λεκάνης σε επεισόδια βροχοπτώσεων και της κατανομής των χρόνων αποστράγγισης στις επιλεγμένες υδρολογικές λεκάνες. Για τους κυριότερους κλάδους υπολογίστηκαν οι τιμές της μεταβολής της κλίσης του χειμάρρου (Slope Gradient) και της ενέργειας χειμάρρου (Stream Power) με σκοπό τον εντοπισμό των θέσεων όπου παρατηρούνται μέγιστες τιμές τους. Τέλος, συνδυάζοντας όλα τα προαναφερθέντα γίνεται ιεράρχηση των περιοχών από άποψη πλημμυρικής επικινδυνότητας.

2. Γεωγραφική τοποθέτηση – Γεωλογία – Υδρογραφικό δίκτυο

Ο Κλαδέος είναι παραπόταμος του Αλφειού και πηγάζει από τους πρόποδες της Φολόης δυτικά του οικισμού Λάλα. Στη συμβολή του με τον Αλφειό ποταμό, στους πρόποδες του Κρονίου λόφου, δημιουργήθηκε κατά την αρχαιότητα το ιερό της Αρχαίας Ολυμπίας (Σχήματα 1α, 1β).

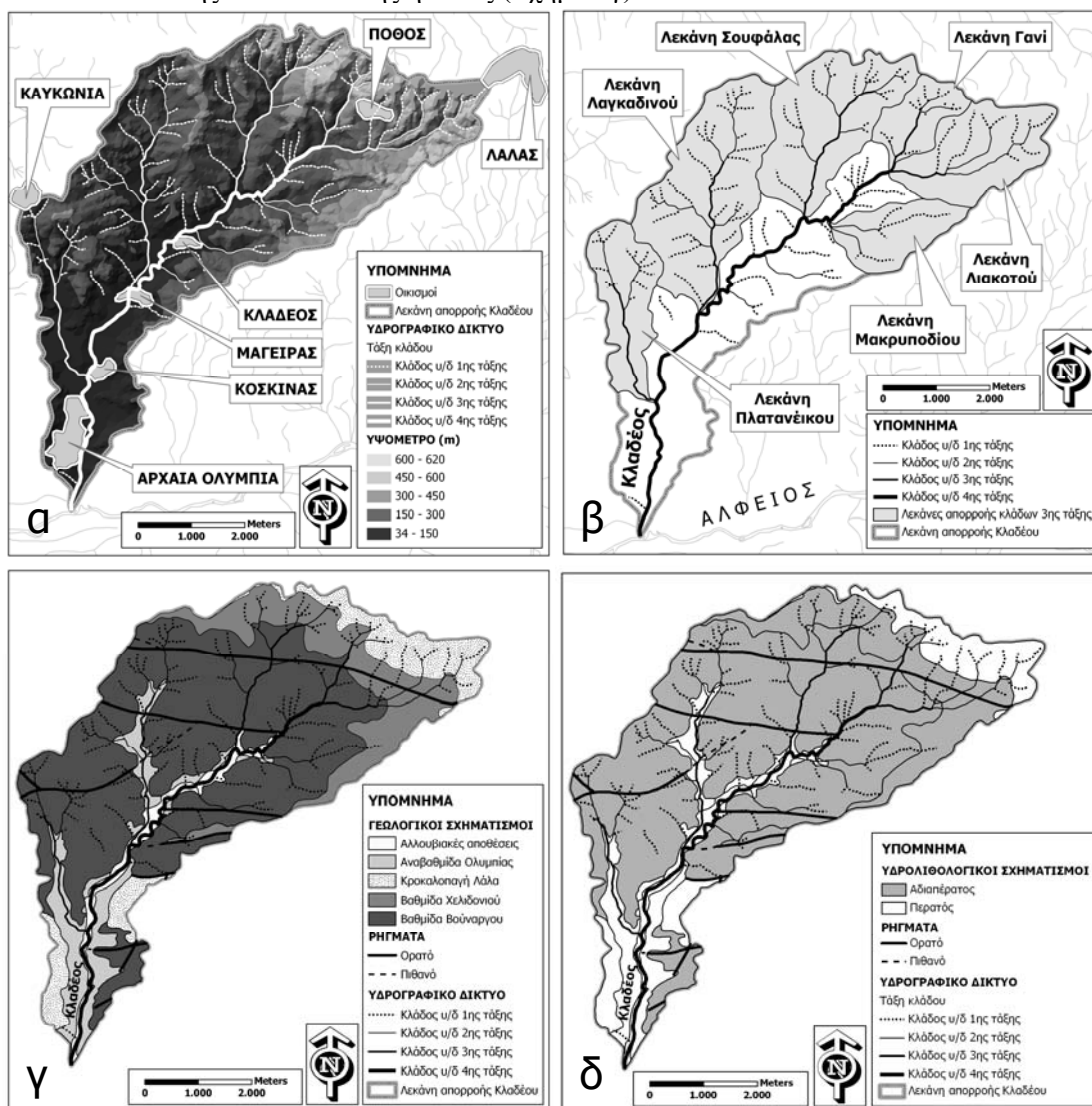
Για τη μελέτη της υδρολογικής λεκάνης του Κλαδέου χρησιμοποιήθηκαν ο τοπογραφικός χάρτης «ΟΛΥΜΠΙΑ» κλίμακας 1:50.000 της ΓΥΣ (1991) και ο αντίστοιχος γεωλογικός (Streif *et al.* 1982). Ο Κλαδέος αποτελεί έναν 4^{ης} τάξης κλάδο. Δημιουργείται από τη συμβολή δύο 3^{ης} τάξης κλάδων, που είναι τα ρέματα Γανί (έκταση 1,6 km²) και Λιακοτό (έκταση 3,7 km²) και πηγάζουν δυτικά του Λάλα. Στον Κλαδέο συμβάλλουν, επίσης, τέσσερις 3^{ης} τάξης κλάδοι, που είναι τα ρέματα Σουφάλα (έκταση 5,2 km²), Λαγκαδινού (έκταση 6,6 km²) και Πλατανέικο (έκταση 2,9 km²) βόρεια και Μακρυπόδι (έκταση 2,2 m²) νότια του κύριου κλάδου (Σχήμα 1β). Από την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler (1952) διαπιστώθηκε, επίσης, ότι η λεκάνη απορροής του Κλαδέου περιλαμβάνει 109 κλάδους 1^{ης} και 24 κλάδους 2^{ης} τάξης. Κατά τη διαδρομή του από την περιοχή νοτιοδυτικά του Πόθου μέχρι και την περιοχή βόρεια του Κοσκινά έχει ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση, ενώ αποκτά Β-Ν διεύθυνση από τον Κοσκινά μέχρι και τη συμβολή του με τον Αλφειό νότια της Αρχαίας Ολυμπίας (Σχήμα 1α).

Η υδρολογική λεκάνη του Κλαδέου αναπτύσσεται στο ανατολικό τμήμα του τεκτονικά και σεισμικά ενεργού τεκτονικού βυθίσματος Πύργου – Ολυμπίας, που αποτελεί την κύρια νεοτεκτονική μακροδομή της περιοχής μελέτης. Στα υδρογραφικά δίκτυα, που αναπτύσσονται σε τεκτονικά ενεργές περιοχές, η ενεργότητα αντανακλάται στα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου. Χαρακτηριστική είναι η εντονότατη και εντυπωσιακή ασυμμετρία της

λεκάνης ως προς τον κύριο κλάδο του, που ρέει σε πολύ μικρή απόσταση από τον ανατολικό υδροκρίτη δίνοντας στη λεκάνη χαρακτηριστικό σχήμα και μεγαλύτερη έκταση στα δυτικά της κοίτης του. Τα υψηλότερα σημεία του υδροκρίτη (620 μ.) βρίσκονται βόρεια του Πόθου και νότια του Λάλα (Σχήμα 1α).

Ο αριθμός των υδρολογικών λεκανών 3^{ης} τάξης δυτικά και ανατολικά της κύριας κοίτης τονίζει την ασυμμετρία. Δυτικά του κύριου κλάδου αναπτύσσονται τέσσερις κλάδοι 3^{ης} τάξης, ενώ στα ανατολικά δύο λιγότεροι. Η έκταση των λεκανών απορροής των κλάδων 3^{ης} τάξης δυτικά του κύριου κλάδου του Κλαδέου είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη έκταση στα ανατολικά (Σχήμα 1α). Ανάλογη είναι η εικόνα για τους μικρότερης (1^{ης} και 2^{ης}) τάξης κλάδους, η πλειοψηφία των οποίων αναπτύσσεται στα δυτικά του κύριου κλάδου.

Η υπό μελέτη υδρολογική λεκάνη δομείται εξ ολοκλήρου από μεταλλικές αποθέσεις Ανωπλειοκαινικής – Ολοκαινικής ηλικίας (Σχήμα 1γ).



Σχήμα 1: (α) Τοπογραφικός, (γ) γεωλογικός και (δ) υδρολιθολογικός χάρτης της λεκάνης Κλαδέου. (β) Χάρτης με τις υδρολογικές λεκάνες κλάδων 3^{ης} τάξης.
 Figure 1: (a) Topographic, (c) geological and (d) hydrogeological map of Kladeos drainage basin. (b) Map depicting the 3rd order drainage basins.

Σύμφωνα με τις γεωλογικές χαρτογραφήσεις (Streif *et al.* 1982; Λέκκας και συν. 1992) οι σχηματισμοί που συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της, από τους νεότερους στους παλαιότερους, έχουν ως εξής (Σχήμα 1γ):

- Αλλουβιακές αποθέσεις: Πρόκειται για σύγχρονες ποτάμιες αποθέσεις που παρατηρούνται κατά μήκος της κοίτης του Κλαδέου ποταμού. Συνίστανται από χαλαρές άμμους, αργίλους και ασύνδετες κροκάλες ποικίλης λιθολογικής σύνθεσης που προέρχονται από όλες τις αλπικές γεωτεκτονικές ενότητες της ευρύτερης περιοχής. Το πάχος τους είναι μικρό και δεν ξεπερνά τα λίγα μέτρα.
- Αναβαθμίδα Ολυμπίας: Η αναβαθμίδα αυτή βρίσκεται σήμερα 7m περίπου πάνω από τη σύγχρονη κοίτη του ποταμού Κλαδέου. Τα ιζήματα αυτά πρέπει να αποτέθηκαν σε κάποια σύντομη χρονική περίοδο κατά τη Ρωμαϊκή εποχή εξαιτίας πλημμυρικών παροχών του ποταμού Κλαδέου και έχουν καλύψει τα ερείπια της Αρχαίας Ολυμπίας.
- Κροκαλοπαγή Λάλα: Πλειστοκαινικής ηλικίας ποτάμια ιζήματα συστήματος διακλαδιζόμενων ποταμών. Οι κροκάλες αποτελούνται από ασβεστόλιθο, ψαμμίτη, κερατόλιθο, χαλαζίτη και τοπικές αμμούχες ενστρώσεις. Στο ανώτερο τμήμα είναι έντονα αποσαθρωμένα σε ερυθρό πηλό με κροκάλες.
- Σχηματισμός Χελιδονιού: Πρόκειται για ακολουθία από άμμους με αμμοχάλικα, ιλύ και άργιλο τοπικά με λεπτές εμφανίσεις λιγνίτη χρώματος ερυθρωπού κίτρινου.
- Σχηματισμός Βούναργου: Χαρακτηρίζεται από άρρυθμες εναλλαγές αργίλων, μαργών, ιλυολίθων, ψαμμιτών, άμμων με κάποιες ενδιαστρώσεις κροκαλοπαγών. Η ποικιλία των λιθολογικών τύπων και οι κατά θέσεις διαφοροποιήσεις τόσο ως προς την κατακόρυφη όσο και ως προς την οριζόντια έννοια, οι αποσφηνώσεις, οι πλευρικές εξελίξεις και οι μικροασυμφωνίες αποτελούν τη συνήθη εικόνα εμφάνισης του σχηματισμού. Οι φάσεις του σχηματισμού είναι ρηγής θάλασσας, λιμνοθάλασσας, ανοικτού κόλπου και ηπειρωτικές λιμναίες – ποταμοχειμαρρώδεις, ενώ είναι Ανωπλειοκαινικής – Πλειστοκαινικής ηλικίας. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί μπορούν να διακριθούν από υδρολιθολογικής απόψεως σε μικροπερατούς, όπου το νερό της βροχής που κατεισδύει και προστίθεται στον υδροφόρο ορίζοντα κινείται μέσα από πόρους και υδατοστεγείς (Σχήμα 1δ). Μικροπερατοί θεωρούνται οι αλλουβιακές αποθέσεις κατά μήκος της κοίτης του Κλαδέου, η αναβαθμίδα της Ολυμπίας πάνω από τη σύγχρονη κοίτη του και τα κροκαλοπαγή του Λάλα. Υδατοστεγείς θεωρούνται οι σχηματισμοί Βούναργου και Χελιδονιού.

3. Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου

3.1 Επιμήκεις τοπογραφικές τομές υδρορευμάτων

Στην παρούσα εργασία κατασκευάστηκαν επιμήκεις τοπογραφικές τομές του κύριου κλάδου του Κλαδέου και των επιμέρους 3^{ης} τάξης κλάδων του υδρογραφικού του δικτύου με σκοπό να εντοπιστούν σημεία απότομης αλλαγής της κλίσης στην κοίτη των υδρορευμάτων (Σχήμα 2).

Η επιμήκης τοπογραφική τομή του Πλατανέικου ρέματος έχει μήκος 2.581 μέτρων. Αρχίζει από το σημείο συμβολής δύο κλάδων 2^{ης} τάξης στα 120 μέτρα και καταλήγει στο σημείο συμβολής του με τον Κλαδέο στα 60 μέτρα. Στο ανώτερο τμήμα της τομής, όπου το ρέμα ρέει πάνω στην περατή αναβαθμίδα της Ολυμπίας παρατηρείται μεγάλη κλίση. Στη συνέχεια, το ρέμα ρέει πάνω σε αλλουβιακές αποθέσεις με μικρότερη κλίση της αρχικής μέχρι και το υψόμετρο των 60 μέτρων, όπου η κλίση μηδενίζεται.

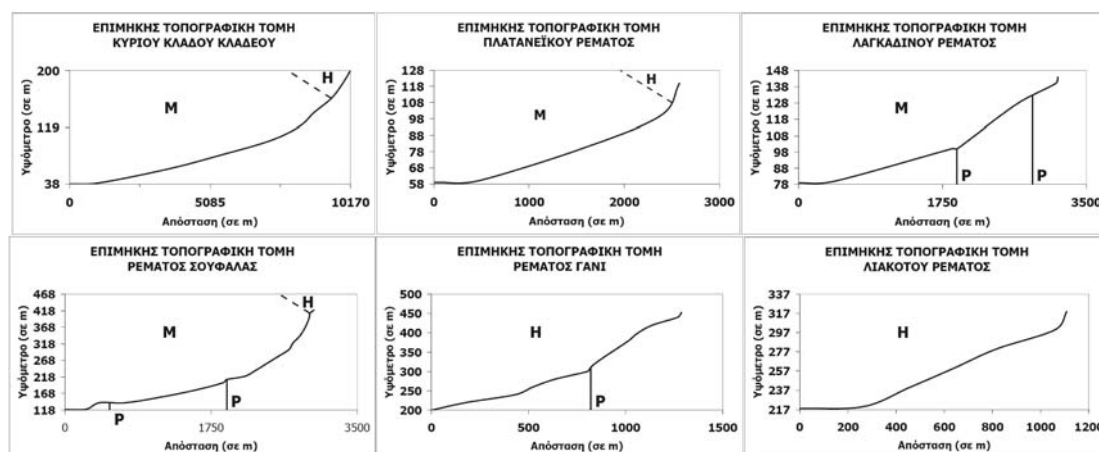
Η επιμήκης τοπογραφική τομή του Λαγκαδινού ρέματος έχει μήκος 3.150 μέτρων. Αρχίζει από το σημείο συμβολής δύο κλάδων 2ης τάξης στα 140 μέτρα και καταλήγει στο σημείο συμβολής του με τον Κλαδέο στα 80 μέτρα. Στα πρώτα 2.320 μέτρα της ροής του το Λαγκαδινό ρέει πάνω στην αναβαθμίδα Ολυμπίας και σε απόσταση 830 μέτρων από τη συμβολή του με τον Κλαδέο ρέει πάνω σε αλλουβιακές αποθέσεις. Αλλαγές στην κλίση της κοίτης του Λαγκαδινού εντοπίζονται σε απόσταση 1.930 και στα 430 μέτρων πριν τη συμβολή του με τον Κλαδέο. Η πρώτη αλλαγή στην κλίση οφείλεται στον τεκτονικό ιστό της περιοχής και πιο συγκεκριμένα σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγμα που διαρρηγνύει την αναβαθμίδα της Ολυμπίας καθώς και τον υποκείμενο σχηματισμό Βούναργου και η δεύτερη στη μετάβαση από την αναβαθμίδα α Ολυμπίας σε αλλουβιακές αποθέσεις.

Η επιμήκης τοπογραφική τομή του ρέματος Σουφάλας έχει μήκος 2.980 μέτρων. Αρχίζει από το σημείο συμβολής δύο κλάδων 2ης τάξης στα 420 μέτρα και καταλήγει στο σημείο συμβολής του με τον Κλαδέο στα 80 μέτρα. Στα πρώτα 50 περίπου μέτρα αναπτύσσεται πάνω στο

σηματισμό Χελιδονιού, στη συνέχεια και στα επόμενα 2.680 μέτρα πάνω στο σχηματισμό Βούναργου και στα τελευταία 250 μέτρα σε αλλουβιακές αποθέσεις. Στο υψηλότερο ανάντη τμήμα της τομής είναι εμφανής η μεγάλη κλίση, η οποία μειώνεται μετά το πέρασμα του ρέματος πάνω από ρήγμα σε υψόμετρο 220 μέτρων και σχεδόν μηδενίζεται σε υψόμετρο 120 μέτρων και σε μικρή απόσταση από τη συμβολή του με τον Κλαδέο.

Η επιμήκης τοπογραφική τομή του ρέματος Γανί έχει μήκος 1.290 μέτρων. Αρχίζει από τη συμβολή δύο κλάδων 2^{ης} τάξης σε υψόμετρο 450 μέτρων και καταλήγει στο σημείο συμβολής του με το 3^{ης} τάξης ρέμα Λιακοτού και δημιουργίας του κύριου κλάδου του Κλαδέου στα 200 μέτρα. Στα πρώτα 460 μέτρα του ρέει πάνω στο σχηματισμό Χελιδονιού και για το υπόλοιπο της ροής του πάνω στο σχηματισμό Βούναργου. Απότομες αλλαγές στην κλίση εντοπίζονται σε υψόμετρο 300 περίπου μέτρων όπου το ρήγμα διατέμνει την κοίτη του ρέματος και 220 μέτρων όπου ρέει πάνω στο σχηματισμό Βούναργου.

Η επιμήκης τοπογραφική τομή του Λιακοτού έχει μήκος 1.100 μέτρων. Αρχίζει από τη συμβολή δύο κλάδων 2^{ης} τάξης σε υψόμετρο 320 μέτρων και καταλήγει στο σημείο συμβολής του με το 3^{ης} τάξης ρέμα Γανί και δημιουργίας του κύριου κλάδου του Κλαδέου στα 220 μέτρα. Το Λιακοτό ρέει εξ ολοκλήρου πάνω στο σχηματισμό Βούναργου. Απότομη αλλαγή στην κλίση του παρατηρείται σε υψόμετρο 220 μέτρων και σε απόσταση 260 μέτρων από τη συμβολή του με το ρέμα Γανί.



Σχήμα 2: Επιμήκειες τοπογραφικές τομές του Κλαδέου και των επιλεγμένων κλάδων 3^{ης} τάξης. Το **P** αντιστοιχεί σε ρήγμα, το **M** σε μικροπερατούς και το **A** σε αδιαπέρατους σχηματισμούς.

Figure 2: Longitudinal stream profiles of Kladeos and the selected branches of 3rd order. **P** for faults, **M** for μικροπερατούς formations and **A** for αδιαπέρατους formations.

Η επιμήκης τοπογραφική τομή του Κλαδέου έχει μήκος 10.170 μέτρων. Αρχίζει από τη συμβολή των κλάδων Γανί και Λιακοτού σε υψόμετρο 200 μέτρων και καταλήγει στο σημείο συμβολής του Κλαδέου με τον Αλφειό. Στα πρώτα 890 μέτρα αναπτύσσεται πάνω στο σχηματισμό Βούναργου ενώ για το υπόλοιπο της ροής του πάνω σε αλλουβιακές αποθέσεις. Απότομη αλλαγή στην κλίση της κοίτης του παρατηρείται κοντά στη συμβολή του με το ρέμα Σουφάλας σε υψόμετρο 120 μέτρων.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι οι μέγιστες τιμές της κλίσης παρατηρούνται στα ανάντη τμήματα των ρεμάτων. Σε ορισμένες θέσεις παρατηρείται απότομη αύξηση της κλίσης και συνεπώς και αύξηση της ενέργειας χειμάρρου. Το γεγονός αυτό κάνει τις κατάντη περιοχές πιο ευαίσθητες στην εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων σε περίπτωση που έχουμε πλημμυρικές παροχές λόγω ισχυρών βροχοπτώσεων.

Οι σταδιακές και οι απότομες αλλαγές στην κλίση της κοίτης των ρεμάτων οφείλονται κυρίως σε υδρολιθολογικές εναλλαγές μικροπερατών και υδατοστεγών σχηματισμών και στα ρήγματα που διαρρηγνύουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής αντίστοιχα.

3.2 Στατιστική επεξεργασία και ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων

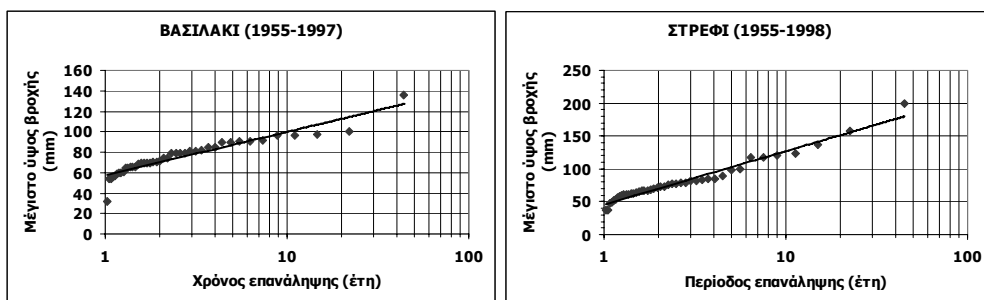
Τα βροχομετρικά δεδομένα προέρχονται από τους σταθμούς Βασιλακίου σε υψόμετρο 250 μέτρων περίπου και σε απόσταση 12 km περίπου ανατολικά της Ολυμπίας και Στρέφι σε υψόμετρο 80 μέτρων και σε απόσταση 6 km περίπου δυτικά της Ολυμπίας. Από τα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα εξήχθησαν τα μέγιστα ύψη βροχής 24ωρου για κάθε έτος. Τα μέγιστα ύψη βροχής ακολουθούν μια συχνότητα κατανομής ακραίων τιμών. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η κατανομή του Gumbel - type 1 (μέθοδος των στιγμών) (Σαμπαζιώτης 2005). Η εφαρμογή της μεθόδου έδωσε τα αποτελέσματα του Πίνακα I για τα σχετικά μέγιστα ύψη βροχής 24ωρης διάρκειας για περιόδους επανάληψης των 5, 10, 20, 50 και 100 ετών και για τους δύο σταθμούς.

Πίνακας I: Μέγιστα ύψη βροχής (mm) 24ωρου για διαφορετικές περιόδους επανάληψης.
Table I: 24 hours maximum values of rainfall (mm) for various recurrence intervals.

Περίοδος επανάληψης T (σε χρόνια)	y	Σταθμός Βασιλακίου	Σταθμός Στρέφι
		Μέγιστα ύψη βροχής (mm) 24ωρου	
5	1,50	87,29	102,055
10	2,25	97,22	120,25
20	3,19	109,66	143,07
50	3,90	119,066	160,303
100	4,60	128,334	177,292

Ιδιαίτερη σημασία έχουν η περίοδος επανάληψης και η πιθανότητα υπέρβασης για το μέγιστο ύψος βροχής 24ωρου στο σύνολο των ετών, το οποίο είναι 135,7 mm για το Βασιλάκι και 200 mm για το Στρέφι. Η περίοδος επανάληψης των βροχοπτώσεων αυτών είναι 44 και 45 έτη για Βασιλάκι και Στρέφι αντίστοιχα και η πιθανότητα επανεμφάνισης ή υπέρβασής τους 0,02 ή 2% και για τις δυο περιπτώσεις.

Από τις γραφικές παραστάσεις μέγιστων υψών βροχής ανά έτος – περιόδου επανάληψης διαπιστώνεται ότι οι ακραίες βροχοπτώσεις στην υδρολογική λεκάνη του Κλαδέου εκδηλώνονται κάθε 45 χρόνια περίπου με πιθανότητα επανεμφάνισης ή υπέρβασης τους της τάξης του 2%. Επίσης, παρατηρείται συσχέτιση για μέγιστα ύψη βροχής < 100 mm, που σημαίνει ότι μπορούν να προβλεφθούν. Για τις βροχοπτώσεις με μέγιστα ύψη βροχής ≥ 100 mm δεν υπάρχει συσχέτιση, που σημαίνει ότι τα ακραία καιρικά φαινόμενα δεν μπορούν να προβλεφθούν. Διαπιστώνεται, όμως, ότι η πιθανότητα για την εκδήλωση μιας ακραίας βροχοπτώσης αυξάνεται με το πέρασμα των ετών.



Σχήμα 3: Γραφικές παραστάσεις στον κατακόρυφο άξονα των οποίων προβάλλεται το μέγιστο ύψος βροχής ανά έτος σε mm και στον οριζόντιο η περίοδος επανάληψης σε έτη.

Figure 3: The maximum values of daily rainfall for the years examined in mm are presented in y axis and the recurrence intervals in years are presented in x axis.

3.3 Υδρολογική Προσομοίωση και Στιγμαίο Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Η υδρολογική προσομοίωση (Jenson and Dominique 1988; Φούμελης 2004; Σαμπαζιώτης 2005; Sambaziotis and Fountoulis 2007) εφαρμόστηκε για την υδρολογική λεκάνη του Κλαδέου

καθώς και για επιμέρους λεκάνες 3^{ης} τάξης των ρεμάτων Λιακοτό, Γανί, Σουφάλα, Λαγκαδινού, Πλατανεϊκό και Μακρυπόδι. Χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) της λεκάνης του Κλαδέου, όπως προέκυψε μετά από ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών του τοπογραφικού χάρτη ΟΛΥΜΠΙΑ κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (1991). Το αρχικό στάδιο περιελάμβανε την απομάκρυνση των κοιλωμάτων που εγκιβωτίζουν μέρος της ροής (flooding technique) (Jenson and Dominque, 1988). Στη συνέχεια εκτιμήθηκε η διεύθυνση ροής (flow direction) βάσει του πληρωμένου DEM. Ακολούθως και με βάση τη διεύθυνση ροής έγινε η αθροιστική συσσώρευση (flow accumulation) της επιφανειακής αποροής της λεκάνης και τελικό προϊόν το μήκος διαδρομών ροής.

Με βάση τους χάρτες μηκών διαδρομών ροής των επιλεγμένων λεκανών δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα στιγμιαία μοναδιαία υδρογραφήματα (Σχήμα 4). Για τη δημιουργία των υδρογραφημάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Clark (1945) όπως αυτή εφαρμόστηκε σε περιβάλλον ΣΓΠ από τους Φούμελη (2004) και Σαμπαζιώτη (2005).



Σχήμα 4: Τα στιγμιαία μοναδιαία υδρογραφήματα των λεκανών 3^{ης} τάξης.

Figure 4: The instantaneous unitary hydrographs of the 3rd order basins.

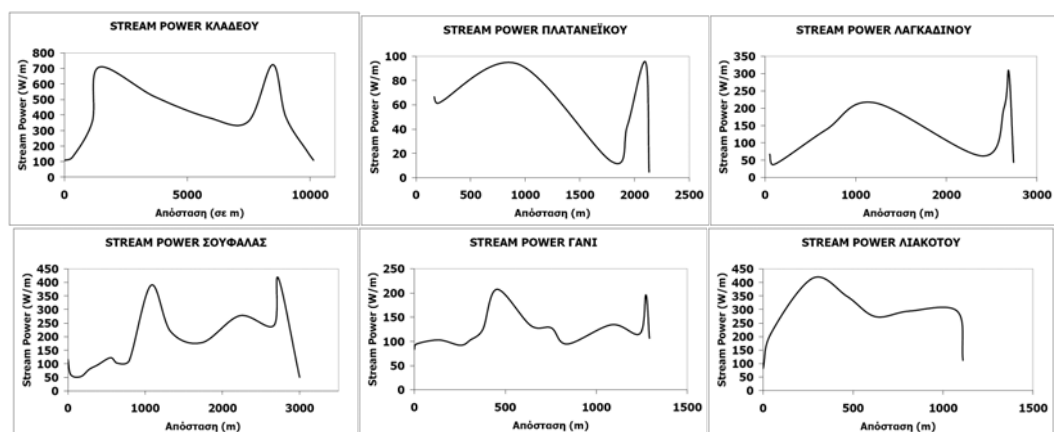
Τα στιγμιαία μοναδιαία υδρογραφήματα που παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι της κύριας λεκάνης του Κλαδέου και της επιμέρους λεκάνης Μακρυποδίου με τις ευδιάκριτες απότομες κορυφές (Σχήμα 4), που φανερώνουν ότι μέσα στις λεκάνες υπάρχουν περιοχές μεγάλης έκτασης που αποστραγγίζονται ταυτόχρονα σε περίπτωση βροχόπτωσης. Αυτές οι περιοχές μεγάλης έκτασης ταυτίζονται με τις περιοχές που δημιουργούν τις κορυφές στα ιστογράμματα των μηκών διαδρομών ροής των λεκανών απορροής. Σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης οι θέσεις, στις οποίες συμβάλλουν οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου που πηγάζουν από τις περιοχές που αποστραγγίζονται ταυτόχρονα είναι ευαίσθητες σε πλημμύρες (Σχήμα 6).

3.4 Ενέργεια χειμάρρου (Stream power)

Για την εύρεση της ενέργειας χειμάρρου απαιτούνται μετρήσεις παροχής. Επειδή, όμως, δεν είναι διαθέσιμα δεδομένα παροχής για την υδρολογική λεκάνη του Κλαδέου χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα από τους σταθμούς στο Βασιλάκι και Στρέφι Ηλείας. Οι υπολογισμοί έγιναν με την παραδοχή ότι σε περίπτωση πλημμύρας όλη η βροχόπτωση απορρέει επιφανειακά, ενώ η κατείδυση και η εξάτμιση θεωρούνται μηδενικές. Η παροχή και η κλίση είναι δύο μεταβλητές που απαιτούνται για τον υπολογισμό της ενέργειας χειμάρρου. Η κλίση υπολογίζεται με βάση το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο σε ποσοστό %.

Ο υπολογισμός του πλέγματος της παροχής απαιτεί πλέγματα συσσώρευσης των υδάτων και δεδομένα παροχής. Η συσσώρευση υπολογίζεται βάσει του χάρτη αθροιστικής συσσώρευσης (flow accumulation) της επιφανειακής αποροής της λεκάνης. Επειδή η παροχή δίνεται από τη σχέση $Q = E \times h / t$, όπου E εμβαδόν, h το ύψος βροχής και t ο χρόνος, τότε η παροχή ανάγεται στον υπολογισμό των τριών αυτών παραμέτρων. Η παράμετρος E υπολογίζεται με τη χρήση του χάρτη αθροιστικής συσσώρευσης, η παράμετρος h αποτελεί το 100% του μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής των ετών και η παράμετρος t περιλαμβάνει ένα 24ωρο.

Η ενέργεια χειμάρρου (Joule/sec ή Watt) υπολογίζεται από τη σχέση $\Omega = \gamma Q s$, όπου γ το ειδικό βάρος του νερού (9810 Nm^{-3}), Q η παροχή ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) και s η ενεργός κλίση (mm^{-1}). Από τα προφίλ ενέργειας χειμάρρου (Σχήμα 5) προκύπτει ότι σε όλα τα σημεία της κοίτης των χειμάρρων όπου αυξάνει η ενεργός κλίση S , αυξάνει αντίστοιχα και η ενέργεια χειμάρρου. Κι αυτό, αφού από τη σχέση $\Omega = \gamma Q S$ φαίνεται ότι η ενέργεια χειμάρρου μεταβάλλεται ανάλογα με την ενεργό κλίση.



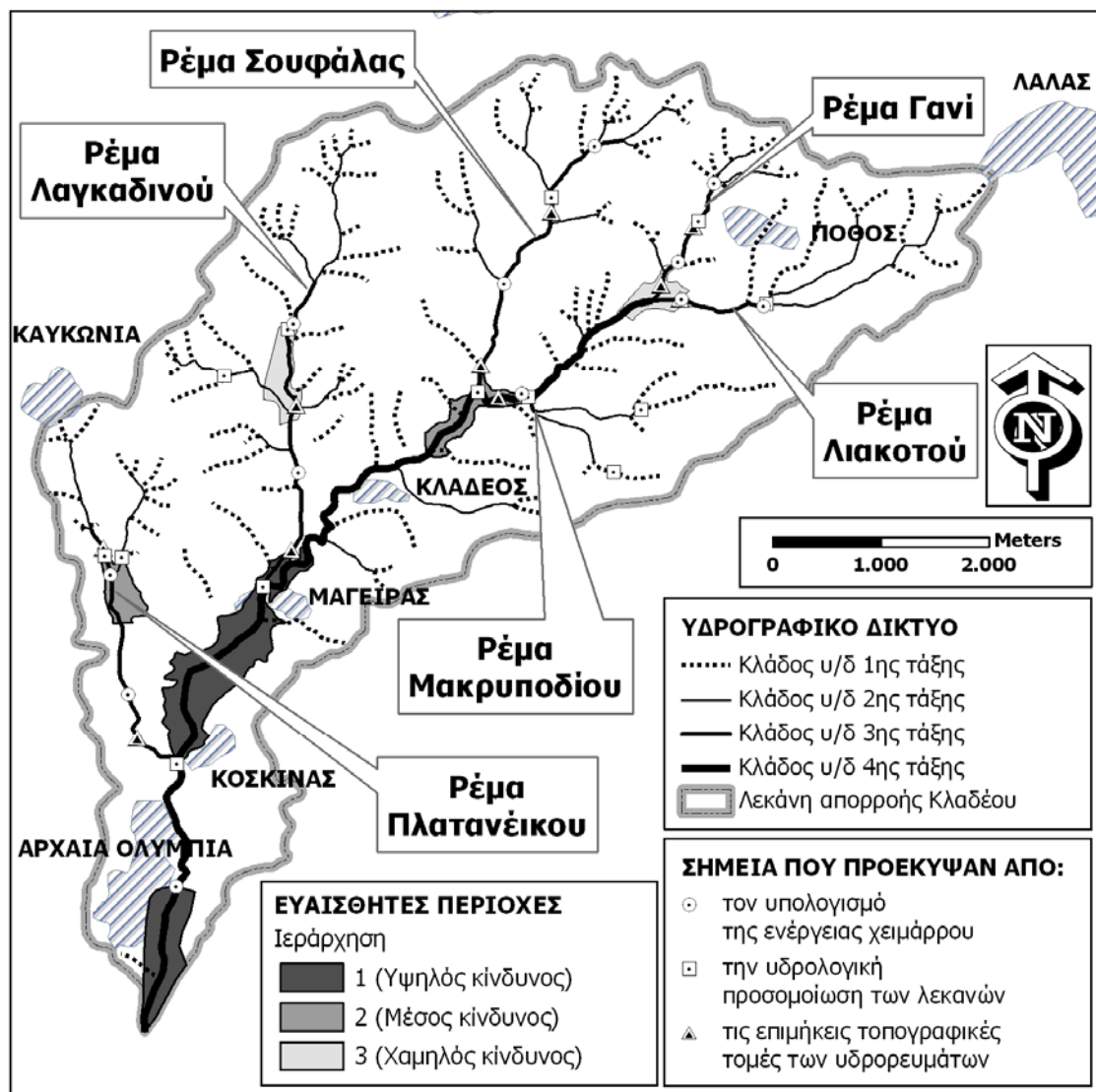
Σχήμα 5: Διαγράμματα ενέργειας χειμάρρου για τον Κλαδέο και τους 3^{ης} τάξης κλάδους του.
Figure 5: Stream Power profiles of Kladeos River and the selected 3rd order branches.

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον όσον αφορά την ενέργεια χειμάρρου παρουσιάζουν τα διαγράμματα των κλάδων Πλατανείου, Λαγκαδινού, Γανί και Λιακοτού (Σχήμα 5). Χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές ενέργειας χειμάρρου προς το στόμιό τους, που είναι η συμβολή τους με τον Κλαδέο. Οι μεγάλες αυτές τιμές οφείλονται όχι μόνο στις αντίστοιχες τιμές της ενεργού κλίσης αλλά και στο γεγονός ότι στα σημεία, όπου παρατηρούνται, αποστραγγίζεται όλη η υδρολογική τους λεκάνη. Σε περίπτωση σφοδρών βροχοπτώσεων αυτά τα ρέματα εκτονώνουν ένα μεγάλο μέρος της ισχύος τους κοντά ή μέσα σε κατοικημένες περιοχές, καλλιεργήσιμες εκτάσεις και γενικά εκτάσεις όπου λαμβάνει χώρα ανθρώπινη δραστηριότητα.

4. Συμπεράσματα

Ο συνδυασμός των διαφορετικών μεθοδολογιών που αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν μας οδήγησε στον προσδιορισμό των θέσεων, όπου σε περίπτωση ακραίων βροχοπτώσεων μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα από την εκδήλωση πλημμυρικών επεισοδίων, δηλ. τις θέσεις όπου ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι ιδιαίτερα αυξημένος. Οι περιοχές αυτές είναι οι μικρής μορφολογικής κλίσης και ήπιου αναγλύφου σχεδόν οριζόντιες περιοχές κατάντη των ευαίσθητων σημείων που προσδιορίστηκαν από τις μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν.

Η αντιπλημμυρική προστασία πρέπει να ξεκινήσει από τις υψηλότερες ανάντη περιοχές (Σχήμα 6), έτσι ώστε να μετριάζεται το φαινόμενο εν τη γενέσει του. Στις υψηλές περιοχές, που καθορίζονται στο εσωτερικό των λεκανών ανάντη των σημείων των κοιτών που σημειώνεται η απότομη αύξηση της ενέργειας χειμάρρου, το φαινόμενο της πλημμύρας δεν έχει ακόμη ξεκινήσει. Αυτές οι περιοχές όμως αποτελούν το χώρο συλλογής του κύριου όγκου του νερού που θα καταλήξει στα στόμια των χαμηλών περιοχών. Εκεί, μπορούν να γίνουν ουσιαστικότερες και ευκολότερες παρεμβάσεις για την ανασχεση του φαινομένου των πλημμυρών. Στις χαμηλές περιοχές που ο χάρτης πλημμυρικού κινδύνου (Σχήμα 6) υποδεικνύει ως πλέον επικίνδυνες, πολύ λίγα πράγματα μπορούν να γίνουν προς την κατεύθυνση της ανασχεσης του ίδιου του φαινομένου. Στις περιοχές αυτές ενδείκνυνται κυρίως θεσμικές και κανονιστικές παρεμβάσεις, με πρωτεύοντα στόχο την εξασφάλιση της φυσικής λειτουργίας του πλημμυρικού πεδίου σε συνδυασμό με την προστασία των ευαίσθητων περιοχών από ανθρώπινες δραστηριότητες που αυξάνουν την τρατότητα των περιοχών αυτών. Αντίθετα, αν η αντιπλημμυρική προστασία εστιαστεί μόνο στις πεδινές περιοχές πρέπει να γίνουν παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας με αμφίβολα αποτελέσματα και δυσανάλογο κόστος.



Σχήμα 6: Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου και ιεράρχηση των περιοχών βάσει των μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν.

Figure 6: (a) Flood hazard map and hierarchy of the sites based on the applied methodologies.

Βιβλιογραφία

- Clark, C.O. 1945. Storage and the unit hydrograph transactions. Bull. American Soc. Civil Enginners, 110, 1419-1488.
- Jenson, S.K., Dominique, J.O. 1988. Extracting topographics structure from digital elevation data for geographic systems analysis. Fotogrammetric engineering and remote sensing 54, vol. 11, 1593-1600.
- Sambaziotis and Fountoulis, 2007. Estimation of flash flood hazard in the Pidima - Arfara area (Messinia, SW Greece), based on the study of instantaneous unitary hydrographs, longitudinal profiles and stream power. Proc. 11th International Congress of the Geological Society of Greece, Athens, 24-26 May, 2007, Bull. Geol. Soc. Greece vol. XXXX/4, p. 1621-1633.
- Streif, H., Περισωράτης, Κ., Μητρόπουλος, D. 1982. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, φύλλο Ολυμπία, κλίμακα 1:50.000, εκδόσεις ΙΓΜΕ.
- Λέκκας, Ε., Παπανικολάου, Δ., Φουντούλης, Ι., 1992. Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Πύργος – Τρόπαια (κλίμακα 1/100.000). Πρόγραμμα, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας.

Σαμπαζιώτης, 2005. Έρευνα για την αντιμετώπιση πλημμυρών στην περιοχή μεταξύ Πηδήματος και Αρφαρών του νομού Μεσσηνίας και δυνατότητα εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στην περιοχή. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 183.

Φούμελης, Μ., 2004. Χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών και τηλεπισκόπησης για την εκπόνηση χαρτών επικινδυνότητας σε κατολισθητικά και πλημμυρικά φαινόμενα, Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 243.