

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ CaCO_3 ΚΑΙ MgCO_3 ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΑΡΑΠΙΤΣΑΣ ΝΑΟΥΣΑΣ (Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ - ΒΟΡ. ΕΛΛΑΔΑ)

Ε. Βαβλιιάκης* και Α. Αρβανίτης

ABSTRACT

On the basis of chemical analyses of Arapitsa water was confirmed that:
a) The concentration of CaCO_3 and MgCO_3 in the water is reduced linearly with distance from the springs of Agios Nikolaos. b) The quantity of CaCO_3 and MgCO_3 which are deposited along Arapitsa river depends on the concentration of CaCO_3 and MgCO_3 in the water of the springs each time. c) The concentration of CaCO_3 and MgCO_3 in the of water is reduced increasing the air temperature. d) The existence of waterfalls and ponds along the river reduces the concentration of CaCO_3 and MgCO_3 in Arapitsa water because in these sites there is a substantial increase of air-water interface.

The determination of the origin and the evolution of the calcareous tufa (travertines) not only in the area of Arapitsa but in the wider area assumes the determination of the factors define the concentration of CaCO_3 and MgCO_3 in the waters of the karst springs.

ΣΥΝΟΨΗ

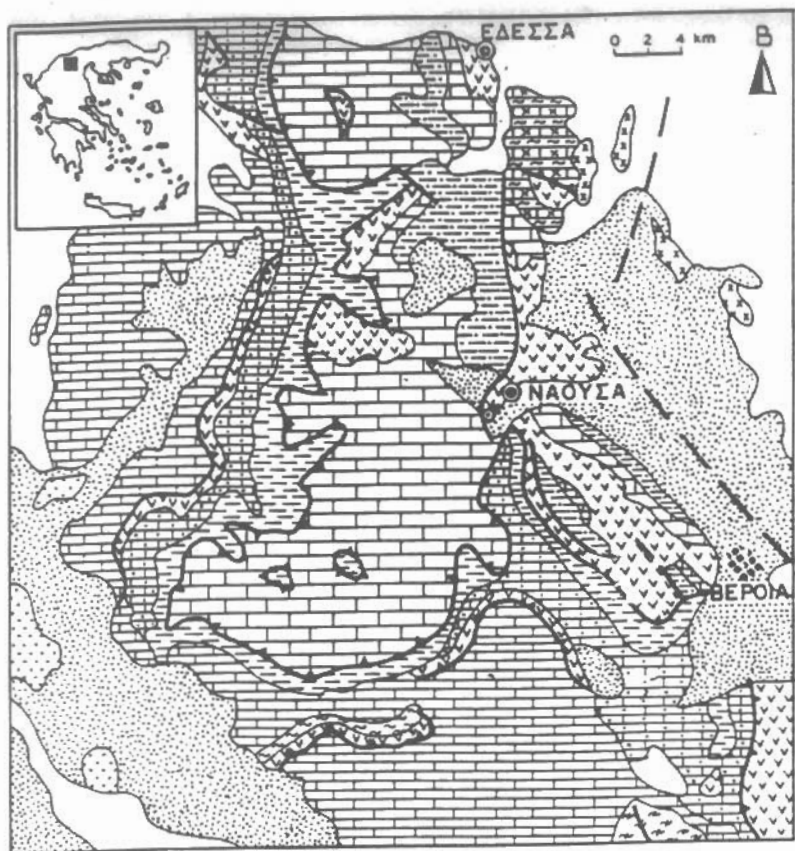
Με βάση χημικές αναλύσεις του νερού της Αραπίτσας διαπιστώθηκε ότι: α) Η περιεκτικότητα του νερού σε CaCO_3 και MgCO_3 ελαττώνεται γραμμικά με την αύξηση της απόστασης από τις πηγές του Αγ. Νικολάου. β) Η ποσότητα του αποτιθέμενου CaCO_3 και MgCO_3 κατά μήκος της κοίτης του ρέματος Αραπίτσα εξαρτάται από την εκάστοτε περιεκτικότητα σε CaCO_3 και MgCO_3 του νερού των πηγών του Αγ. Νικολάου. γ) Η περιεκτικότητα του νερού σε CaCO_3 και MgCO_3 ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. δ) Η ύπαρξη καταρρακτών και λιμνών μειώνει την περιεκτικότητα των υδάτων της Αραπίτσας σε CaCO_3 και MgCO_3 εξαιτίας της αύξησης της επιφανειακής αντίδρασης της υδατινής μάζας με την ατμόσφαιρα στις θέσεις αυτές.

Ο προσδιορισμός των παραγόντων γένεσης και εξάπλωσης των ασβεστόλιθων τόφφων (τραβερτινών) στην περιοχή της Αραπίτσας και στον ευρύτερο χώρο προϋποθέτει τον προσδιορισμό των παραγόντων που καθορίζουν την περιεκτικότητα σε CaCO_3 και MgCO_3 των υδάτων των καρστικών πηγών, ένα πρόβλημα ανοιχτό μέχρι σήμερα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απόθεση CaCO_3 και MgCO_3 των υδάτων των καρστικών πηγών συνδέεται άμεσα με τη γένεση και εξάπλωση των ασβεστολιθικών τόφφων (τραβερτινών) τόσο στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας όσο και σε παγκόσμια κλίμακα.

* Aristotle University of Thessaloniki, Department of Geology, 540 06
THESSALONIKI, Greece.



ΥΠΟΜΗΝΙΑ



Σύμφωνα με τη μέχρι σήμερα γνωστή βιβλιογραφία το πρόβλημα της διάλυσης και απόθεσης του $CaCO_3$ και $MgCO_3$ είναι πολύπλοκο (Bogli 1961, Wagner 1954, Βαβλιάκης 1981, 1992). Ιδιαίτερα για το τι επηρεάζει τις τοπικές διαφορές της διάλυσης και απόθεσης του $CaCO_3$ και $MgCO_3$ οι απόψεις αποκλίνουν σημαντικά.

Στην εργασία αυτή με βάση μετρήσεις της περιεκτικότητας του νερού των καρστικών πηγών του Αγ. Νικολάου σε $CaCO_3$ και $MgCO_3$ από συγκεκριμένες θέσεις του ρέματος Αραπίτσα Νάουσας γίνεται προσπάθεια να προσδιοριστούν οι βα-

Σχ. 1: Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Βερμίου (Απλοποιημένος από το Γεωλογικό χάρτη της Ελλάδας, κλίμακας 1:500.000, Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα 1983)

Fig. 1: Geological map of the wider area of Vermion Mountain (Simplified by Geological map of Greece, scale 1:500.000 I.G.M.E., Athens 1983).

οικότεροι παράγοντες της απόθεσης των παραπάνω αλάτων.

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΗΣ

Ο ορεινός όγκος του Βερμίου, με ψηλότερη κορυφή στα 2052 m, εκτείνεται με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ ακολουθώντας τη γενική διεύθυνση των Ελληνίδων Οροσειρών χωρίζοντας τη λεκάνη της Κεντρικής Μακεδονίας στα Ανατολικά από τη Λεκάνη της Πτολεμαΐδας Δυτικά (Σχ. 1).

Το ρέμα της Αραπίτσας, το οποίο διέρχεται από την πόλη της Νάουσας, τροφοδοτείται τόσο από τις πηγές του Αγίου Νικολάου (κυρίως), όσο και από τα νερά του Σελιώτικου Λάκκου που αποστραγγίζει μία μεγάλη περιοχή του Βερμίου.

Το Βέρμιο, και πιο συγκεκριμένα, η λεκάνη απορροής της Αραπίτσας μέχρι τη Νάουσα, από γεωτεκτονικής πλευράς εντάσσεται στην ευρύτερη περιοχή των Εσωτερικών Ελληνίδων και ανήκει τόσο στη Ζώνη Αλμωπίας όσο και στην Πελαγονική Ζώνη.

Οι ανήκοντες στην Πελαγονική Ζώνη γεωλογικοί σχηματισμοί είναι:

- ο πελαγονικός φλύσχος ηλικίας Α. Μαιστριχτίου - Κ. Παλαιοκαίνου

- διάφοροι ασβεστόλιθοι που αποτελούν το επικλυσιγενές ανθρακικό κάλυμμα του Άνω Κρητιδικού (Μουντράκης και Κίλιας, 1989).

- μάρμαρα του Τριαδικού-Ιουρασικού που αποτελούν το ανθρακικό κάλυμμα του ανατολικού περιθωρίου της Πελαγονικής (Μουντράκης, 1985).

Οι ανήκοντες στη Ζώνη Αλμωπίας γεωλογικοί σχηματισμοί είναι φλυσχοειδείς σχηματισμοί και ανθρακικά πετρώματα με τη συμμετοχή οφιολίθων.

Πάνω στους σχηματισμούς της Πελαγονικής Ζώνης βρίσκονται επωθημένοι σχηματισμοί της ζώνης Αλμωπίας που συγκροτούν το τεκτονικό κάλυμμα του Άνω Βερμίου, που αποτελείται από (Brunn 1956, Μουντράκης 1985, Αθανασιάς και Σούλιος 1993):

- το κροκαλοπαγές βάσης Κενομανίου-Τουρωνίου

- τον τυπικό ασβεστολιθικό ορίζοντα του Άνω Κρητιδικού (Σενωνίου) που αποτελεί τον κύριο όγκο του ανθρακικού καλύμματος του Άνω Βερμίου.

- τον φλύσχη ηλικίας Άνω Μαιστριχτίου-Κάτω Παλαιοκαίνου που συνίσταται από ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους και ασβεστοσχιιστόλιθους.

Τα ιζήματα που εμφανίζονται στο χώρο της λεκάνης απορροής είναι:

- σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις και κορήματα Τεταρτογενούς-Ολοκαίνου

- παλαιές αναβαθμίδες με προχώματα του Ανώτ. Βιλλαφράγκιου-Μινδελίου

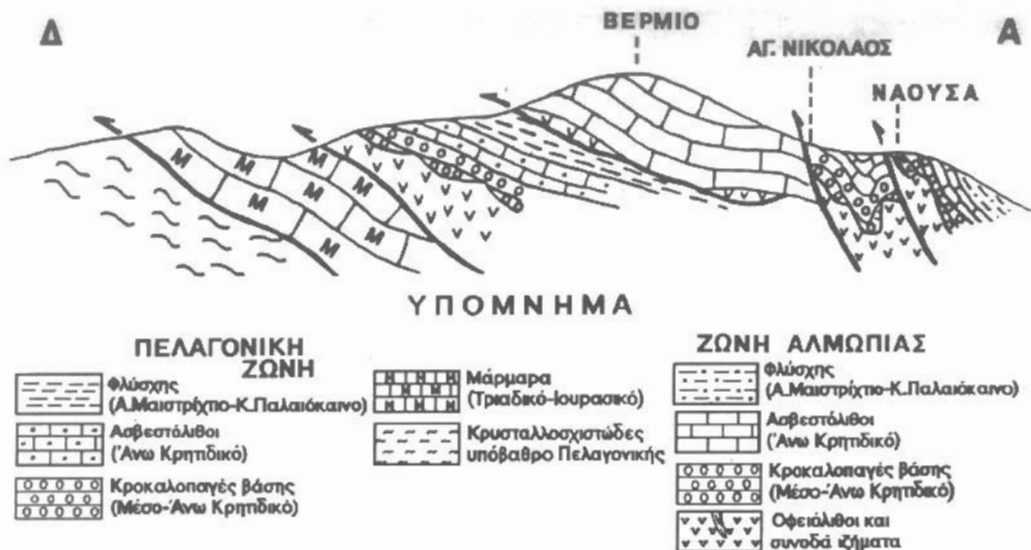
- τραβερτίνες, που σχηματίζουν τις αναβαθμίδες της Νάουσας και της Βέροιας, Τεταρτογενούς ηλικίας συμπεριλαμβανομένου και του Κατ. Πλειστοκαίνου.

Στο χώρο της λεκάνης απορροής και γενικότερα του Βερμίου, κυριαρχεί η επώθηση του Άνω-Κρητιδικής ηλικίας τεκτονικού καλύμματος του Άνω Βερμίου πάνω στον Άνω-Κρητιδικής-Παλαιοκαινικής ηλικίας φλύσχη της Πελαγονικής (βλ. Σχ. 2) η οποία φαίνεται ότι έγινε με την τεκτονική φάση του Πριαμπονίου-Τέλους Ηκαίνου (Μουντράκης, 1985).

Στο σχ. 3 στη γεωλογική τομή απεικονίζεται η θέση των γεωλογικών σχηματισμών και των ρηγμάτων στον ευρύτερο χώρο των πηγών του Αγ. Νικολάου. Εμφανίζονται ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ με κλίση προς ΒΑ, που πιθανόν σχετίζονται με τη νεοτεκτονική φάση Ανωτ. Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου, και καλύπτονται από τραβερτίνες, νεώτερης ηλικίας.

Έντονη είναι η παρουσία καρστικών μορφών στην περιοχή της λεκάνης απορροής που απεικονίζεται με ισοϋψείς καταπτώσεως (Σχ. 4) και αντιστοιχούν σε ρολίνες, ομβάλες και πόλγες, γεγονός ενδεικτικό της έντονης καρστικοποίησης των ασβεστόλιθων, οι οποίες εντοπίζονται σε περιοχές που είναι παλαιές επιφάνειες επιπέδωσης (renewed) σε διάφορα υψόμετρα (Ψιλοβίκος 1989).

Το υδρογραφικό δίκτυο μπορεί να χαρακτηριστεί δενδριτικής έως σύνθετης μορφής (Σχ. 4). Το κύριο ρέμα που διασχίζει όλη σχεδόν τη λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται ως "Σελιώτικος Λάκκος", με συνεχή ροή, στον οποίον καταλήγουν



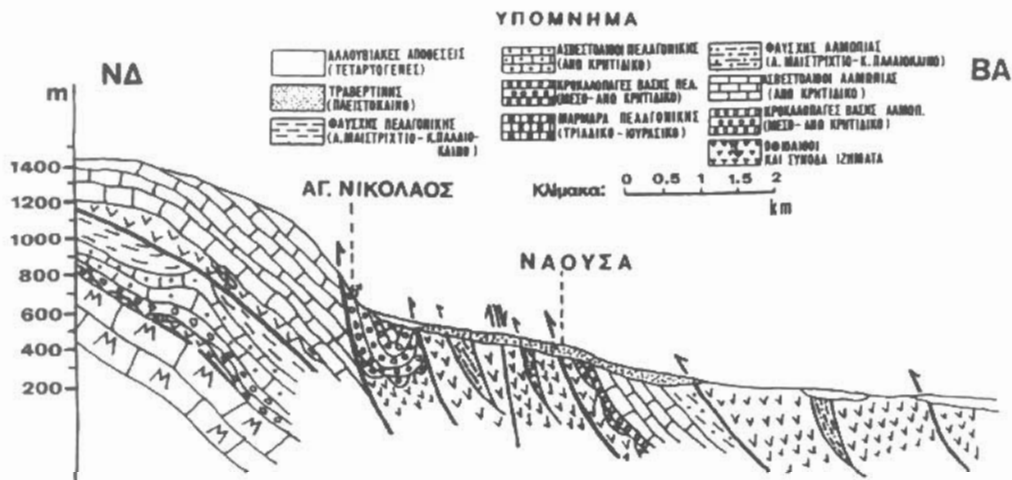
Σχ. 2: Σχηματική τομή του Βερμίου (κατά Σ. Αθανασιά)

Fig. 2: Schematic cross-section of Vermion Mountain (Athanasias S.)

πολλά μικρότερα ρέματα, εκ των οποίων η συντριπτική πλειοψηφία παρουσιάζει εποχιακή ροή και μόνον 2-3 έχουν συνεχή ροή.

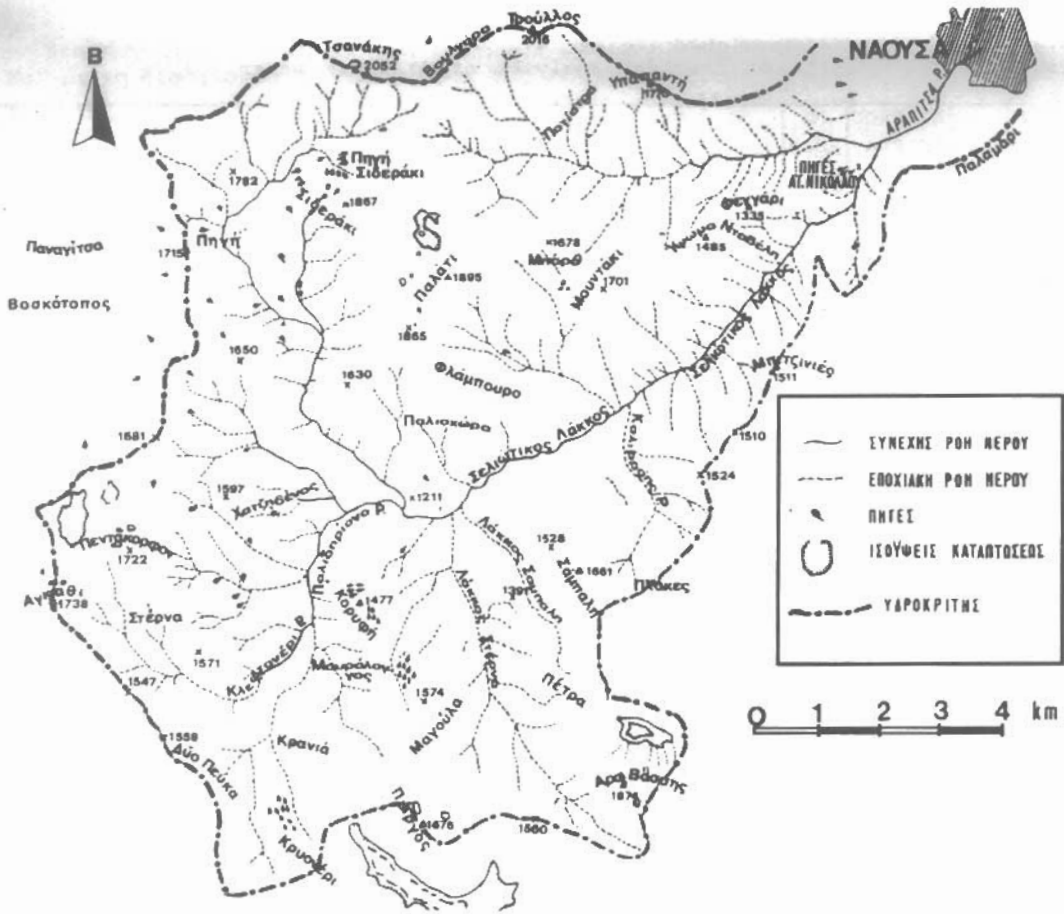
Οι πηγές του Αγ. Νικολάου, όπως φαίνεται και στο σχ. 3, με βάση τον τρόπο και το μηχανισμό γένεσης χαρακτηρίζονται ως πηγές υπερχειλίσης (Αθανασιάς και Σούλιος, 1993).

Κατά μήκος της κοίτης του ρέματος Αραπίτσας απαντούν μικροί καταρράκτες και λίμνες (Σχ. 5). Από επιτόπια μελέτη διαπιστώθηκε ότι τόσο τα τοιχώματα των καταρρακτιών όσο και οι πυθμένες και τα περιθώρια των λιμνών αποτελούνται από

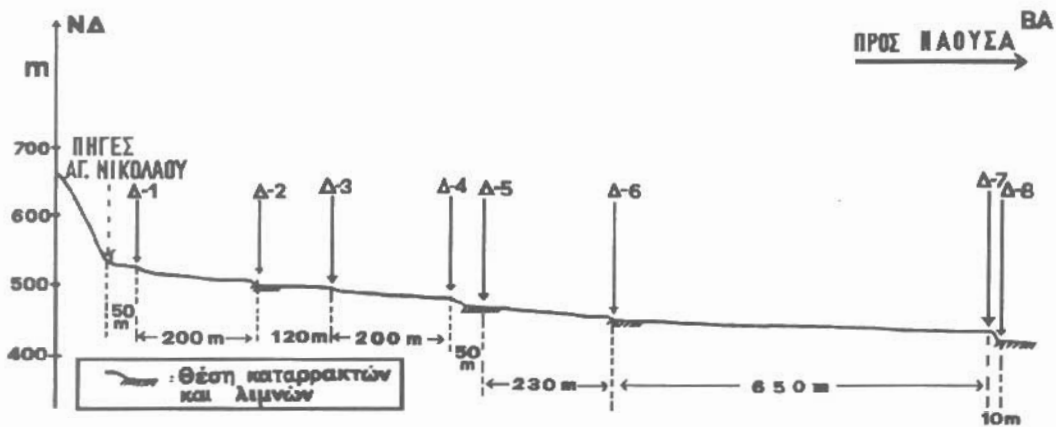


Σχ. 3: Γεωλογική τομή στο χώρο των πηγών του Αγ. Νικολάου Ναούσης (κατά Σ. Αθανασιά)

Fig. 3: Geological cross-section through the area of Agios Nikolaos springs, in Naousa (after Athanasias S.).



Σχ. 4: Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του ρέματος Αραπίτσας
 Fig. 4: The drainage system of drainage basin of Arapitsa river



Σχ. 5: Σκαρίφημα που δείχνει τις θέσεις δειγματοληψίας κατά μήκος του ρέματος της Αραπίτσας από την περιοχή των πηγών Αγίου Νικολάου Ναούσας μέχρι έξω από την πόλη της Ναούσας.
 Fig. 5: Draft cross-section showing the sampling sites along Arapitsa river from the area of Agios Nikolaos springs to Naousa.

Πίν Ι: Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του νερού της Αραπίτσας
 Table I: The results of chemical analyses of Arapitsa water

ΗΜΕΡΟ-ΜΗΝΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑ-ΤΟΣ	°C ΑΕΡΑ	°C ΝΕΡΟΥ	CaCO ₃ (mg/L)	MgCO ₃ (mg/L)	CaCO ₃ +MgCO ₃ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)
7-7-1991	Δ ₁			156.0	49.678	205.678	62.4	14.40662	251.80017	0.0
16-8-1991	Δ ₁	18.0	10.3	165.0	58.940	223.940	66.0	17.09260	275.26235	0.0
16-8-1991	Δ ₂	18.0	10.3	160.0	56.414	216.414	64.0	16.36006	263.11770	0.0
16-8-1991	Δ ₃	18.0	10.4	158.0	55.572	213.572	63.2	16.11588	259.63957	0.0
6-10-1991	Δ ₁	16.0	10.5	166.0	74.938	240.938	66.4	21.73202	298.78100	0.0
6-10-1991	Δ ₃	16.3	10.7	156.0	74.096	230.096	62.4	21.48784	279.95594	0.0
20-10-1991	Δ ₁	15.7	10.5	180.0	79.148	259.148	72.0	22.95292	319.29740	0.0
20-10-1991	Δ ₄	15.7	10.9	177.0	74.938	251.938	70.8	21.73202	305.15000	0.0
20-10-1991	Δ ₅	15.7	10.9	174.0	70.728	244.728	69.6	20.51112	295.95644	0.0
20-10-1991	Δ ₆	15.7	11.0	168.0	70.728	238.728	67.2	20.51112	289.08723	0.0
20-10-1991	Δ ₇	15.7	11.1	158.0	69.886	227.886	63.2	20.26694	273.54543	0.0
20-10-1991	Δ ₈	15.7	11.1	149.0	69.044	218.044	59.6	20.02276	262.21172	0.0
3-11-1991	Δ ₁	5.6	10.4	178.0	75.780	253.780	71.2	21.97620	313.98801	0.0
3-11-1991	Δ ₄	7.8	10.2	172.0	72.412	244.412	68.8	20.99948	295.97026	0.0
3-11-1991	Δ ₅	7.8	10.2	171.0	72.412	243.412	68.4	20.99948	294.82540	0.0
3-11-1991	Δ ₆	7.7	10.0	163.0	71.570	234.570	65.2	20.75530	284.51468	0.0
3-11-1991	Δ ₇	7.5	9.6	156.0	65.676	221.676	62.4	19.04604	265.58242	0.0
10-11-1991	Δ ₁	10.8	10.5	168.0	85.884	253.884	67.2	24.90636	316.41118	0.0
10-11-1991	Δ ₄	12.6	10.6	157.0	85.042	242.042	62.8	24.66218	296.07395	0.0
10-11-1991	Δ ₅	12.6	10.6	155.0	85.042	240.042	62.0	24.66218	293.78422	0.0
10-11-1991	Δ ₆	12.6	10.6	150.0	83.358	233.358	60.0	24.17382	285.75632	0.0
10-11-1991	Δ ₇	11.8	10.6	144.0	80.832	224.832	57.6	23.44128	272.50165	0.0
10-11-1991	Δ ₈	11.7	10.5	142.0	79.990	221.990	56.8	23.19710	269.09675	0.0
15-11-1991	Δ ₁	4.8	10.1	169.0	58.940	227.940	67.6	17.09260	279.93925	0.0
15-12-1991	Δ ₄	10.7	9.9	165.0	58.098	223.098	66.0	16.84842	268.37594	0.0
15-12-1991	Δ ₅	10.7	9.9	164.0	58.098	222.098	65.6	16.84842	267.23107	0.0
15-12-1991	Δ ₆	10.0	9.7	162.0	58.098	220.098	64.8	16.84842	264.94134	0.0
15-12-1991	Δ ₇	9.0	9.2	159.0	57.256	216.256	63.6	16.60424	257.58522	0.0
15-12-1991	Δ ₈	9.0	8.5	157.0	56.414	213.414	62.8	16.36006	254.18032	0.0
26-1-1991	Δ ₁	1.0	10.3	180.0	88.410	268.410	72.0	25.63890	333.97000	0.0
26-1-1991	Δ ₄	3.0	9.7	160.0	84.200	244.200	64.0	24.41800	298.35720	0.0
26-1-1991	Δ ₅	3.0	9.7	156.0	86.726	242.726	62.4	25.15054	297.23264	0.0
26-1-1991	Δ ₆	3.0	9.6	153.0	81.674	234.674	61.2	23.68546	286.88736	0.0
26-1-1991	Δ ₇	3.0	8.9	149.0	74.096	223.096	59.6	21.48784	269.04888	0.0
26-1-1991	Δ ₈	3.0	8.3	144.0	74.096	218.096	57.6	21.48784	263.38544	0.0

σύγχρονους ασβεστολιθικούς τόφφους. Οι τόφφοι αυτοί προέκυψαν από την απόθεση CaCO₃ και MgCO₃ πάνω σε προϋπάρχουσες προεξοχές της κοίτης. Η προοδευτική αύξηση του ύψους των προεξοχών της κοίτης, εξ' αιτίας της συνεχούς απόθεσης CaCO₃ και MgCO₃ πάνω σ' αυτές, οδήγησε στο σχηματισμό των προαναφερθέντων καταρρακτιών και μικρο-λιμνών.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΙΜΓΑΤΟΛΗΨΙΑ

Προκειμένου να προσδιορισθούν τυχόν μεταβολές της περιεκτικότητας σε CaCO₃ και MgCO₃ των προερχομένων από τις καρστικές πηγές υδάτων του ρέματος Αραπίτσας πάρθηκαν δείγματα νερού από διαφορετικές αποστάσεις σε σχέση με τις πηγές από συγκεκριμένες θέσεις (Σχ. 5) και σε διάφορες εποχές του έτους.

Στη συνέχεια αναλύθηκαν τα δείγματα και προσδιορίστηκαν τα ιόντα Ca^{++} και Mg^{++} με τη διαδικασία προσδιορισμού της σκληρότητας, με τη μέθοδο τιτλοδότησης και ογκομέτρησης με EDTA. Η ακρίβεια προσδιορισμού ήταν και για τα δύο στοιχεία της τάξης τους 0.1 mg/l και η απόκλιση περίπου $\pm 1\%$. Τα HCO_3^- προσδιορίστηκαν με τη διαδικασία προσδιορισμού της αλκαλικότητας, με τη μέθοδο της τιτλοδότησης και ογκομέτρησης με θειικό οξύ. Η ακρίβεια προσδιορισμού ήταν της τάξης του 1 mg/l και η απόκλιση $\pm 0.5\%$.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δίνονται στον πίνακα I, όπου παρατίθενται και οι τιμές θερμοκρασίας αέρα και νερού καθώς και οι τιμές $CaCO_3$ και $MgCO_3$ που αντιστοιχούν στις συγκεντρώσεις ιόντων Ca^{++} και Mg^{++} .

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας ήταν να προσδιορισθεί εάν και κατά πόσον οι τυχόν μεταβολές της περιεκτικότητας σε $CaCO_3$ και $MgCO_3$ των υδάτων της Αραπίτσας συσχετίζονται με την απόσταση από τις καρστικές πηγές προέλευσής τους και τη μορφολογική διαφορά των θέσεων δειγματοληψίας.

Τα σχήματα 6 και 7 δίνουν τη σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας του νερού σε $CaCO_3$ και $MgCO_3$ και της απόστασης από τις πηγές του Αγίου Νικολάου.

Οι πίνακες II και III δίνουν τις μεταβολές της περιεκτικότητας του νερού $CaCO_3$ και $MgCO_3$ που οφείλονται στη μορφολογική διαφορά των θέσεων δειγματοληψίας όπως φαίνονται και στα σχήματα 8 και 9.

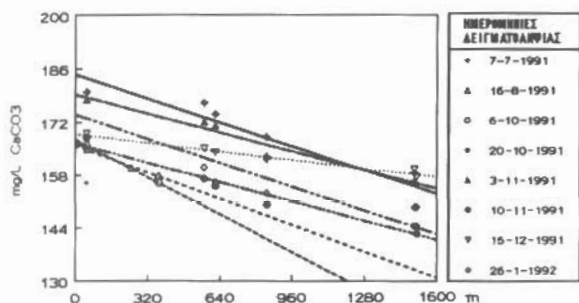
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως προκύπτει από τα σχήματα 6 και 7 η περιεκτικότητα των υδάτων της Αραπίτσας τόσο σε $CaCO_3$ όσο και σε $MgCO_3$ ελαττώνεται χαρακτηριστικά με την

Πίν. II: Τιμές της περιεκτικότητας του νερού σε $CaCO_3$ και $MgCO_3$ πριν και μετά έναν μικρό καταρράκτη στις θέσεις Δ₄ και Δ₅ αντίστοιχα καθώς και οι αντίστοιχες μεταβολές.

Table II: Values of the concentration of $CaCO_3$ and $MgCO_3$ in the water before and after a small waterfall in the sites Δ₄ and Δ₅ corresponding changes

ΗΜΕΡΟ- ΜΗΝΙΑ	Δ4		Δ5		μεταβολή	
	$CaCO_3$ σε mg^3/L	$MgCO_3$ σε mg^3/L	$CaCO_3$ σε mg^3/L	$MgCO_3$ σε mg^3/L	$CaCO_3$ σε mg^3/L	$MgCO_3$ σε mg^3/L
20-10-1991	177.0	74.938	174.0	70.728	-3.0	-4.21
3-11-1991	172.0	72.412	171.0	72.412	-1.0	0.00
10-11-1991	157.0	85.042	155.0	85.042	-2.0	0.00
15-12-1991	165.0	58.098	164.0	58.098	-1.0	0.00
26-1-1992	160.0	84.2	156.0	85.726	-4.0	+1.526



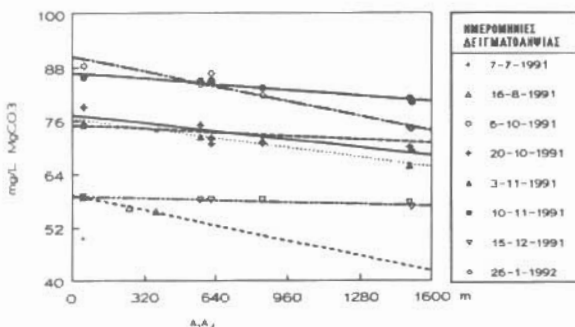
Σχ. 6: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε $CaCO_3$ του νερού του ρέματος Αραπίτσα σε συνάρτηση με την απόσταση από τις καρστικές πηγές Αγ. Νικολάου.

Fig. 6: The change of the concentration of $CaCO_3$ in the water of Arapitsas in relation to the distance from Karst springs of Agios Nikolaos.

Πίν III: Τιμές της περιεκτικότητας του νερού σε CaCO_3 και MgCO_3 πριν και μετά τον καταρράκτη στις θέσεις Δ7 και Δ8 αντίστοιχα καθώς και οι αντίστοιχες μεταβολές.

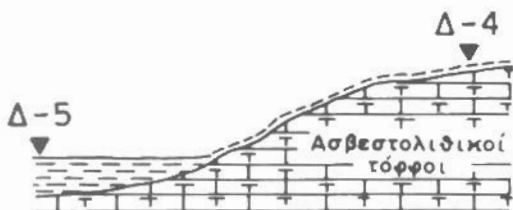
Table III: Values of the concentration of CaCO_3 and MgCO_3 in the water before and after the waterfall in the sites Δ7 and Δ8 correspondingly and the corresponding changes.

ΗΜΕΡΟ- ΜΗΝΙΑ	Δ7		Δ8		μεταβολή	
	CaCO_3 σε mg^3/L	MgCO_3 σε mg^3/L	CaCO_3 σε mg^3/L	MgCO_3 σε mg^3/L	CaCO_3 σε mg^3/L	MgCO_3 σε mg^3/L
20-10-1991	158.0	69.886	149.0	69.044	-9.0	-0.842
3-11-1991	156.0	65.676	-	-	-	-
10-11-1991	144.0	80.832	142.0	79.99	-2.0	-0.842
15-12-1991	159.0	57.256	157.0	56.414	-2.0	-0.842
26-1-1992	149.0	74.096	144.0	74.096	-5.0	0.000



Σχ. 7: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε MgCO_3 του νερού του ρέματος Αραπίτσα σε συνάρτηση με την απόσταση από τις καρστικές πηγές του Αγ. Νικολάου.

Fig. 7: The change of the concentration of MgCO_3 in the water of Arapitsa in relation to the distance from Karst springs of Agios Nikolaos.



Σχ. 8: Σχηματική τομή στο χώρο του μικρού καταρράκτη μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας Δ4 και Δ5 (πριν και μετά τον καταρράκτη αντίστοιχα).

Fig. 8: Schematic cross-section through the area of the small waterfall between the sampling sites Δ4 and Δ5 (before and after the waterfall correspondingly).

αύξηση της απόστασης της θέσης δειγματοληψίας από τις πηγές. Η συσχέτιση μεταξύ περιεκτικότητας CaCO_3 και MgCO_3 και απόστασης από τις πηγές εκφράζεται με τις παρακάτω εξισώσεις:

Για το CaCO_3

Ημερομηνία	Εξίσωση	Συντελεστής συσχέτισης
16-8-1991	$y = -0.022194x + 165.956633$	$r = 99.5082\%$
6-10-1991	$y = -0.03125x + 167.5625$	$r = 100\%$
20-10-1991	$y = -0.019971x + 184.641627$	$r = 94.9152\%$
3-11-1991	$y = -0.015912x + 179.425145$	$r = 97.6281\%$
10-11-1991	$y = -0.01638x + 166.58989$	$r = 97.9873\%$
15-12-1991	$y = -0.007457x + 169.004889$	$r = 98.5245\%$
26-1-1992	$y = -0.020124x + 174.105376$	$r = 91.5091\%$

όπου y : η περιεκτικότητα του νερού σε mg/l CaCO_3
 x : η απόσταση σε m από τις πηγές.

Για το MgCO_3

Ημερομηνία	Εξίσωση	Συντελεστής συσχέτισης
16-8-1991	$y = -0.01074x + 59.373888$	$r = 99.0536\%$
6-10-1991	$y = -0.002631x + 75.069562$	$r = 100\%$
20-10-1991	$y = -0.005876x + 77.406175$	$r = 86.5155\%$
3-11-1991	$y = -0.006893x + 76.519287$	$r = 98.7894\%$
10-11-1991	$y = -0.004139x + 86.876324$	$r = 96.8265\%$
15-12-1991	$y = -0.001431x + 59.034032$	$r = 93.9651\%$
26-1-1992	$y = -0.010547x + 90.498584$	$r = 97.1579\%$

όπου y : η περιεκτικότητα του νερού σε mg/l MgCO_3

X : η απόσταση σε m από τις πηγές.

Όπως προκύπτει επίσης από τον ΠΙΝΑΚΑ I η περιεκτικότητα των υδάτων σε CaCO_3 και MgCO_3 για όλες τις θέσεις δειγματοληψίας ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Η ελάττωση αυτή ήταν αναμενόμενη δεδομένου ότι η ταχύτητα διαφυγής του CO_2 από τα καρστικά ύδατα της Αραπίτσας αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Ανάλογη διαπίστωση έγινε και από τον Βαβλιιάκη (1992) στο χώρο των καταρρακτών της Έδεσσας.

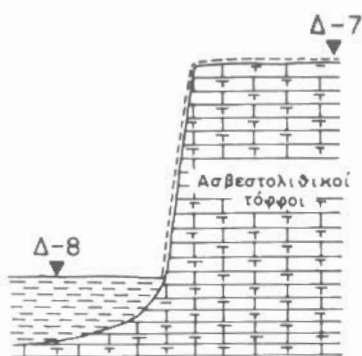
Εξετάζοντας τις διαφορές περιεκτικότητας CaCO_3 και MgCO_3 μεταξύ της αρχικής (Δ_1) και της τελικής (Δ_8) θέσης για διάφορες ημερομηνίες δειγματοληψίας διαπιστώνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η αρχική τιμή των υδάτων των καρστικών πηγών τόσο μεγαλύτερη ποσότητα CaCO_3 και MgCO_3 αποτίθεται κατά μήκος της κοίτης του ρέματος Αραπίτσα ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Συνεπώς η επικρατούσα άποψη ότι οι μεγάλης έκτασης αποθέσεις CaCO_3 (αβεστολιθικών τόφων ή τραβερτινών) ευνοήθηκαν με υψηλές θερμοκρασίες θα πρέπει να επανεξετασθεί αν ληφθεί επιπλέον υπόψη, ότι σύμφωνα με του Αθανασιά και Σούλιο (1993), η περιεκτικότητα των υδάτων των πηγών Αγ. Νικολάου είναι συνάρτηση της εκάστοτε παροχής τους.

Πίν IV: Οι διαφορές περιεκτικότητας CaCO_3 και MgCO_3 μεταξύ της αρχικής (Δ_1) και της τελικής (Δ_8) θέσης για διάφορες ημερομηνίες δειγματοληψίας.

Table VI: The differences in the concentration of CaCO_3 and MgCO_3 in the water between the first (Δ_1) and the last (Δ_8) sampling site for different dates of sampling.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Για το CaCO_3			
	Δ_1 (mg/LCaCO_3)	Δ_8 (mg/LCaCO_3)	METABOLH CaCO_3 (mg/L)	% METABOLH CaCO_3
20-10-1991	180	149	31	17.22
10-11-1991	168	142	26	15.476
15-12-1991	169	157	12	7.1
26-01-1992	180	144	36	20.0

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Για το MgCO_3			
	Δ_1 (mg/LMgCO_3)	Δ_8 (mg/LMgCO_3)	METABOLH MgCO_3 (mg/L)	%METABOLH MgCO_3
20-10-1991	79.148	69.044	10.104	12.77
10-11-1991	85.884	79.99	5.894	6.863
15-12-1991	58.94	56.414	2.526	4.286
26-01-1992	88.41	74.096	14.314	16.19



Σχ. 9: Σχηματική τομή στο χώρο του τελευταίου καταρράκτη μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας Δ7 και Δ8 (πριν και μετά τον καταρράκτη αντίστοιχα).

Fig. 9: Schematic cross-section through the area of the last waterfall between the sampling sites Δ7 and Δ8 (before and after the waterfall correspondingly).

άζουν την περιεκτικότητα σε CaCO_3 και MgCO_3 τόσο των καρστικών πηγών Αγ. Νικολάου όσο και των αντίστοιχων πηγών της ευρύτερης περιοχής, ένα πρόβλημα που αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

- ΑΘΑΝΑΣΙΑΣ, Σ. Υδρογεωλογική μελέτη του καρστικού υδροφόρου συστήματος των πηγών Αγ. Νικολάου Νάουσας. Διδακτορική διατριβή (υπό δημοσίευση). Αριστ. Παν/μιο Θεσ/νίκης.
- ΑΘΑΝΑΣΙΑΣ, Σ., ΣΟΥΛΙΟΣ Γ. (1993). Συμβολή στη μελέτη του χημισμού των νερών του καρστικού υδροφόρου συστήματος των πηγών Αγ. Νικολάου Νάουσας, 2^ο Υδρογεωλογικό συνέδριο, Πάτρα (υπό δημοσίευση).
- ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ, Ε. (1981). Μελέτη των επιφανειών διάβρωσης καρστικών παγετωδών και περιπαγετωδών μορφών του Όρους Μενοικίου στην Ανατ. Μακεδονία από γεωμορφολογικής και μορφογενετικής πλευράς. Διδακτορική διατριβή. Θεσσαλονίκη.
- ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ, Ε. (1992). Σχηματισμός - εξέλιξη του σπηλαιού της Έδεσσας και η θετική μετατόπιση του μετώπου των καταρράκτων Α' Πανελλήνιο Σπηλιολογικό Συνέδριο, Αθήνα (υπό εκτύπωση).
- BOGLI, A. (1978). Karsthydrographie und Physische Spelaologie, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- BRUNN, J. (1956). Contribution a l' etude geologique du Pinde septentrional et d' une partie de la Macedonia occidentale. *Ann geol. Pays Hell.*, 7, pp. 1-358.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1982). Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος Φύλλο ΠΥΡΓΟΙ, Κλίμακα 1:50.000, Αθήνα.

Ότι, πράγματι, η θερμοκρασία δεν είναι ο μόνος ή ότι δεν είναι ο αποφασιστικότερος παράγοντας απόθεσης CaCO_3 και MgCO_3 φαίνεται από τις διαφορές των τιμών στις θέσεις Δ₄-Δ₅ και Δ₇-Δ₈ (βλ. σχ. 8 και 9) όπου μεταξύ τους παρεμβάλλονται καταρράκτες και λίμνες, όπως προκύπτει από τους πίνακες II και III. Οι τιμές στις θέσεις Δ₅ και Δ₈ είναι μικρότερες σε σχέση με τις θέσεις Δ₄ και Δ₇.

Η μείωση της περιεκτικότητας του νερού σε CaCO_3 και MgCO_3 στις θέσεις Δ₅ και Δ₈ οφείλεται στην αύξηση της επιφάνειας αντίδρασης της υδάτινης μάζας του ρέματος Αραπίτσας με την ατμόσφαιρα εξαιτίας της παρεμβολής των καταρράκτων και των λιμνών. Επειδή ο σχηματισμός των καταρράκτων και λιμνών κατά μήκος του ρέματος Αραπίτσα δεν οφείλεται σε τεκτονικά ή πετρογραφικά αίτια αλλά στη μεγάλη περιεκτικότητα σε CaCO_3 και MgCO_3 του νερού των πηγών του Αγ. Νικολάου, ο προσδιορισμός των παραγόντων γένεσης και εξάπλωσης των ασβεστολιθικών τόφων τόσο κατά μήκος της Αραπίτσας όσο και στον ευρύτερο χώρο απαιτεί προηγουμένως τον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρε-

- Ι.Γ.Μ.Ε. (1982). Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος Φύλλο ΒΕΡΟΙΑ, Κλίμακα 1:50.000, Αθήνα.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1983). ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, Κλίμακας 1:500.000.
- ΚΙΛΙΑΣ ΑΔ., ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1989). Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής. Τεκτονική, Μεταμόρφωση και Μαγματισμός. Δελτ. Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τόμος XXIII/Τεύχος 1, Σελ. 29-46. Πρακτικά 4^{ου} Συνεδρίου Ε.Γ.Ε. (1988).
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη.
- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ Α., ΚΑΝΕΤΣΗ Ε. (1989). Εξάπλωση και Παλαιογεωγραφική σημασία των επιφανειών επιπέδωσης στους ορεινούς όγκους της Πελαγονικής μάζας. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τόμος XXIII/Τεύχος 1, Σελ. 279-287 Πρακτικά 4^{ου} Συνεδρίου Ε.Γ.Ε., (1988).
- WAGNER, G., (1954). Der Karst als Musterbeispiel der Verkarstung. *Natw. Mschr, dtsh. Naturkdever.* 62/9-10, 193-212.