

ΕΡΕΥΝΑ ΠΑΝΩ ΣΤΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ (Παράδειγμα από τη λεκάνη Σκλήθρου Φλώρινας)

Γ. Σούλιος, Γ. Δημόπουλος, Δ. Μουντράκης, Αντ. Ψιλοβίκος, Π. Πέννας,
Ελ. Χατζηδημητριάδης και Π. Βαφειάδης

ΣΥΝΟΨΗ

Προτείνεται ταξινόμηση των λεκανών του ελληνικού χώρου, ώστε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από έρευνες πεδίου να μπορούν να συγκριθούν και να γενικευθούν μέχρι το βαθμό που είναι επιστημονικά επιτρεπτό. Δίνονται τα γεωλογικά (σχηματισμοί, τεκτονική κ.ά.) και τα γεωμορφολογικά (ανάγλυφο, υδρογραφικό δίκτυο κ.ά.) στοιχεία της μελετούμενης λεκάνης Σκλήθρου Φλώρινας.

Με βάση τα δεδομένα 6 σταθμών γίνεται υπολογισμός των κατακρημνισμάτων που δέχθηκε η εξεταζόμενη λεκάνη κατά τη διετία 1985-87. Επίσης με βάση μετρήσεις παροχής και καθημερινές παρατηρήσεις στάθμης χαράσσεται το υδρόγραμμα της ολικής απορροής. Στο υδρόγραμμα γίνεται διαχωρισμός υπόγειας και επιφανειακής απορροής και υπολογισμός του όγκου τους. Έτσι δίνεται η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης και υπολογίζεται η ειδική παροχή της (ειδική απόδοσή της).

Γίνεται εφαρμογή των εμπειρικών μεθόδων του TURC, του COUTAGNE και των THORNTHWAITE-MATHER και από σύγκριση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των μεθόδων αυτών προς τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μετρήσεις πεδίου προκύπτουν οι συνθήκες εφαρμογής τους, με τις οποίες οι πιο πάνω μέθοδοι προσεγγίζουν περισσότερο την πραγματικότητα, δηλ. δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

RESUME

On propose une classification des bassins du pays hellenique de façon que le resultat issu des mesures directes sur le terrain puissent se comparer et se generaliser jusqu' au point que cela est scientifiquement raisonnable. On expose les donnees geologiques (formations, tectonique e.t.c.) et geomorphologiques (relief, reseau hydrographique e.t.c.) du bassin de Sklithro (Florina).

A base des donnees de stations on fait le calcul des precipitations que le bassin etudie a recu pendant 1985-87. Parallelement a base des mesures de debit et des observations journalieres du niveau on trace l' hydrogramme de l' ecoulement total. On decompose cet hydrogramme en des hydrogrammes de ruissellement superficiel et d' ecoulement souterrain. Ainsi on calcule l' equation du bilan hydrologique et le debit specifique (rendement specifique) du bassin.

On fait l' application des methodes empiriques de TURC, de COUTAGNE et de THORNTHWAITE-MATHER et par comparaison des resultats de ces methodes vers les resultats issus des mesures directes sur le terrain on debuit sous quelles conditions d' application ces methodes

RECHERCHE SUR LE BILAN HYDROLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS DU PAYS HELLENIQUE.
(D' apres l' exemple du bassin de Sklithro, Florina)

Soulios, G. Dimopoulos, D. Mountrakis, A. Psilovikos, P. Pennas,
El. Chatzidimitriadis et P. Vafiadis

peuvent correspondre mieux a la realite, c' est a dire sous quelles conditions elles donnent les meilleurs resultats.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

i. Η εκπόνηση της έρευνας αυτής έγινε δυνατή χάρις στη χρηματοδότηση του Υπουργείου Έρευνας και Τεχνολογίας (ΥΠΕΤ) με βάση το Πρόγραμμα Ανάπτυξης Έρευνας και Τεχνολογίας (ΠΑΕΤ) του 1984. Επιλέχθηκε για την έρευνα η λεκάνη Σκλήθρου αφενός γιατί θα μπορούσε να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για πολλές λεκάνες του ελληνικού χώρου, όπως θα φανεί στην κατάταξη την οποία θα κάνουμε, και αφετέρου γιατί πρόκειται για λεκάνη με μία μοναδική έξοδο, χωρίς υπόγειες διαρροές. Πρόκειται δηλαδή για μια περίπτωση όπου υπάρχει σύμπτωση ορίων επιφανειακής και υπόγειας απορροής. Ο σκοπός της έρευνας είναι να γίνει υπολογισμός του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια και να δοκιμασθεί η εφαρμοσιμότητα διαφόρων εμπειρικών μεθόδων που υπολογίζουν το υδρολογικό ισοζύγιο με βάση τα κατακρημνίσματα και τη θερμοκρασία.

ii. Στην εξεταζόμενη λεκάνη εγκαταστήσαμε βροχογράφο, σταθμήμετρα, τα οποία παρακολουθούσαμε σε ημερήσια ή μηνιαία βάση. Υπήρξαν βέβαια διάφορα προβλήματα κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων. Όπως π.χ. μία μεγάλη πλημμύρα της 19-2-86 κατέστρεψε τη σταθμημετρική εγκατάσταση την οποία επανεγκαταστήσαμε τη μεθεπόμενη κ.λπ. Υπήρξαν προβλήματα δυσχέρειας πρόσβασης λόγω χιονοπτώσεων κ.λπ. Παρόλα αυτά θεωρούμε πολύ ικανοποιητικές τις μετρήσεις που κάναμε κατά τη διετία από 1-10-85 μέχρι 30-9-87, που ήταν η περίοδος υπαίθριων μετρήσεων και παρατηρήσεων.

iii. Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους του ανθρώπους της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας που μας έδωσαν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε αυτήν την έρευνα. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στους κ.κ. Ε. Φωκά, Δ. Δενιόζο, την κ. Αραμπατζή, τον κ. Ν. Πατηνιώτη, την κ. Χρυσάφη και όλους όσους αφανώς μας βοήθησαν.

A. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

1. Ορισμοί, γενικές αρχές και έννοιες

i. Μία λεκάνη είναι "αντιπροσωπευτική" όταν είναι επιλεγμένη ως αντιπροσωπευτική μιας ορισμένης "υδρολογικής περιοχής", δηλ. μιας περιοχής όπου υποθέτουμε ότι υπάρχει μία ορισμένη ομογένεια από υδρολογική άποψη (TOEBES, C.-OURYVAEV, V. 1970). Οι "υδρολογικές περιοχές" είναι οι σχετικά ομογενείς υποδιαίρέσεις μιας ζώνης ή μιας χώρας. Η υδρολογική περιοχή νοείται είτε ενιαία γεωγραφικά, οπότε η αντιπροσωπευτική λεκάνη αποτελεί τμήμα της, είτε νησιδιακά διασπαρμένη σε μία ευρύτερη περιοχή, η οποία περιλαμβάνει και άλλες "υδρολογικές περιοχές" και όπου οι "υδρολογικές νησίδες" έχουν ίδια, ομογενή υδρολογικά χαρακτηριστικά. Μπορούμε να χρησιμοποιούμε τους εσφαλμένους όρους "υδρολογική περιοχή" όταν πρόκειται για συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή ή "υδρολογική κατηγορία" όταν αποσυνδέουμε τα χαρακτηριστικά της από συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

Δεν είναι πάντοτε αναγκαία η "υδρολογική ομογένεια" στο εσωτερικό μιας αντιπροσωπευτικής λεκάνης, η οποία μπορεί να αποτελείται από επιμέρους ενότητες μη αυστηρά ομογενείς. Όμως στο σύνολό της η θεωρούμενη λεκάνη έχει ορισμένα χαρακτηριστικά υδρολογικά στοιχεία που είναι τα χαρακτηριστικά της "υδρολογικής περιοχής" ή "υδρολογικής κατηγορίας".

Η χρησιμότητα της αντιπροσωπευτικής λεκάνης έγκειται στο ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μία εντατική έρευνα της λεκάνης σε όλες τις γεωγραφικές περιοχές που αντιπροσωπεύει, δηλ. σε όλη την "υδρολογική περιοχή" ή "υδρολογική κατηγορία".

ii. "Πειραματική λεκάνη" είναι η λεκάνη που είναι ομογενής στο εσωτερικό της, δηλ. που έχει ομοιόμορφη κατανομή των χαρακτηριστικών της, κάποια από τα οποία μπορούμε να τα

μεταβάλλουμε διαδοχικά και να μελετήσουμε το αποτέλεσμα της μεταβολής τους πάνω στην υδρολογική συμπεριφορά της. Είναι προφανές ότι η έκταση μιας πειραματικής λεκάνης θα είναι περιορισμένη (μέγιστο εμβαδό 4 km²) ενώ της αντιπροσωπευτικής ποικίλει (συνήθως μεταξύ 1km² και 250 km² και σπάνια υπερβαίνει τα 1000 km²).

Πολλές φορές μία μεγάλη υδρολογική λεκάνη δεν ανήκει ολόκληρη στην ίδια “υδρολογική κατηγορία”, γιατί στο εσωτερικό της υπάρχουν τμήματα σημαντικά των οποίων τα χαρακτηριστικά ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες και στο σύνολό της δεν ικανοποιούνται οι πρωταρχικοί όροι της αντιπροσωπευτικότητας.

2. Ταξινόμηση των ελληνικών λεκανών

i. Είναι γνωστό ότι πολλοί και διάφοροι παράγοντες επιδρούν πάνω στην υδρολογική συμπεριφορά μιας λεκάνης και μάλιστα κάθε ένας από αυτούς μπορεί να επιδρά κατά πολύπλοκο τρόπο. Έτσι αν θεωρούσαμε όλους τους παράγοντες με όλες τις λεπτομέρειές τους τότε θα καταλήγαμε στο συμπέρασμα ότι κάθε μία λεκάνη αποτελεί μία εντελώς χωριστή κατηγορία και δεν είναι αντιπροσωπευτική παρά μόνο του εαυτού της.. Όμως αυτή η άποψη οδηγεί στην άρνηση κάθε ιδέας και αρχής ταξινόμησης των λεκανών κάτι που θεωρητικά και πρακτικά είναι το ίδιο αντιεπιστημονικό με την αποδοχή απλών και γενικών απόψεων που οδηγούν στην ενιαιοποίηση. Έτσι νομίζουμε ότι πρέπει να γίνει κάποια κατάταξη των ελληνικών υδρολογικών λεκανών με βάση τα κύρια φυσικά στοιχεία τους που καθορίζουν βασικά την υδρολογική τους συμπεριφορά. Ως τέτοια στοιχεία θεωρούμε τα ακόλουθα, με βάση τα οποία κάνουμε τις εξής υποδιαιρέσεις:

α) Τη γεωλογική σύσταση και ειδικά την περατότητα K των σχηματισμών που απαντούν στη λεκάνη. Έτσι έχουμε λεκάνες K_1 με μικρή και μέση περατότητα και K_2 με μεγάλη περατότητα. Στη δεύτερη κατηγορία υπάγονται ουσιαστικά λεκάνες στη γεωλογική σύσταση των οποίων μετέχουν βασικά καρστικοί σχηματισμοί και κροκαλοπαγή ή ψαμμίτες.

β) Το ύψος P των ετησίων κατακρημνισμάτων. Θα έχουμε λεκάνες P_1 όταν $P < 600$ mm, P_2 όταν $600 \text{ mm} < P < 800$ mm και P_3 όταν $P > 800$ mm, δηλ. λεκάνες μικρού, μέσου και μεγάλου ύψους κατακρημνισμάτων.

γ) Τη μέση κλίση S του εδάφους. Θα έχουμε λεκάνες S_1 χαμηλής και μέσης κλίσης όταν $S < 18\%$ και λεκάνες S_2 υψηλής κλίσης όταν $S > 18\%$.

δ) Τη μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα T . Θα έχουμε λεκάνες T_1 με χαμηλή θερμοκρασία όταν $T < 13^\circ \text{C}$ και λεκάνες T_2 μέσης και υψηλής θερμοκρασίας όταν $T > 13^\circ \text{C}$.

ε) Τη φυτοκάλυψη V που μπορεί να καθορισθεί με εμπειρικά, δηλ. στην ουσία με υποκειμενικά κριτήρια. Μπορούμε να έχουμε λεκάνες V_1 χωρίς καθόλου ή με περιορισμένη θαμνώδη ή δεινδρώδη βλάστηση. Λεκάνες V_2 με μέτρια ή σημαντική θαμνώδη ή δεινδρώδη βλάστηση (λεκάνες με καθολική πυκνή δεινδρώδη βλάστηση, αν υπάρχουν, είναι ελάχιστες στον ελληνικό χώρο και δε νομίζουμε ότι πρέπει να γίνει ειδική κατηγορία). Σε όλες τις περιπτώσεις βέβαια θα υπάρχει κάποια ποώδης βλάστηση, κυρίως εποχιακή.

Με βάση τα πιο πάνω έγινε ο πίνακας I με τις 48 κατηγορίες των ελληνικών λεκανών. Φυσικά κατάταξεις λεκανών απορροής έχουν προταθεί για πολλά τμήματα της Γης π.χ. Βραζιλία, Ν. Ζηλανδία, Σοβιετική Ένωση, Τσεχοσλοβακία κ.ά. (TOEBES, C.-OURYVAEV, U. 1970, DUB, O. 1965, SZESZTAY, K. 1965 κ.ά).

ii. Είναι προφανές ότι ο πίνακας III θα μπορούσε να ήταν μικρότερος. Θα ήταν δηλ. δυνατό να συγχωνευθούν κάποιες κατηγορίες, αν δεν παίρναμε υπόψη κάποιο παράγοντα, π.χ. τη μέση θερμοκρασία αέρα T , ή αν διακρίναμε μόνο δύο κατηγορίες, αντί για τρεις σε κάποιο άλλο παράγοντα, π.χ. P . Όμως αυτό θα οδηγούσε στο να καθορίζουμε κάποια ή κάποιες κατηγορίες λεκανών με αρκετά διαφορετική υδρολογική συμπεριφορά.

Αντίθετα ο αριθμός των κατηγοριών θα μπορούσε να ήταν μεγαλύτερος αν παίρναμε υπόψη και άλλους παράγοντες, π.χ. κατάσταση υδρογραφικού δικτύου, ή αν υποδιαιρούσαμε περισσότε-

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. Κατηγορίες λεκανών απορροής του ελληνικού χώρου.

1.	$K_1P_1S_1T_1V_1$	25.	$K_2P_1S_1T_1V_1$
2.	$K_1P_1S_1T_1V_2$	26.	$K_2P_1S_1T_1V_2$
3.	$K_1P_1S_1T_2V_1$	27.	$K_2P_1S_1T_2V_1$
4.	$K_1P_1S_1T_2V_2$	28.	$K_2P_1S_1T_2V_2$
5.	$K_1P_1S_2T_1V_1$	29.	$K_2P_1S_2T_1V_1$
6.	$K_1P_1S_2T_1V_2$	30.	$K_2P_1S_2T_1V_2$
7.	$K_1P_1S_2T_2V_1$	31.	$K_2P_1S_2T_2V_1$
8.	$K_1P_1S_2T_2V_2$	32.	$K_2P_1S_2T_2V_2$
9.	$K_1P_2S_1T_1V_1$	33.	$K_2P_2S_1T_1V_1$
10.	$K_1P_2S_1T_1V_2$	34.	$K_2P_2S_1T_1V_2$
11.	$K_1P_2S_1T_2V_1$	35.	$K_2P_2S_1T_2V_1$
12.	$K_1P_2S_1T_2V_2$	36.	$K_2P_2S_1T_2V_2$
13.	$K_1P_2S_2T_1V_1$	37.	$K_2P_2S_2T_1V_1$
14.	$K_1P_2S_2T_1V_2$	38.	$K_2P_2S_2T_1V_2$
15.	$K_1P_2S_2T_2V_1$	39.	$K_2P_2S_2T_2V_1$
16.	$K_1P_2S_2T_2V_2$	40.	$K_2P_2S_2T_2V_2$
17.	$K_1P_3S_1T_1V_1$	41.	$K_2P_3S_1T_1V_1$
18.	$K_1P_3S_1T_1V_2$	42.	$K_2P_3S_1T_1V_2$
19.	$K_1P_3S_1T_2V_1$	43.	$K_2P_3S_1T_2V_1$
20.	$K_1P_3S_1T_2V_2$	44.	$K_2P_3S_1T_2V_2$
21.	$K_1P_3S_2T_1V_1$	45.	$K_2P_3S_2T_1V_1$
22.	$K_1P_3S_2T_1V_2$	46.	$K_2P_3S_2T_1V_2$
23.	$K_1P_3S_2T_2V_1$	47.	$K_2P_3S_2T_2V_1$
24.	$K_1P_3S_2T_2V_2$	48.	$K_2P_3S_2T_2V_2$

1. Γεωλογικά στοιχεία

ι. Η λεκάνη Σκλήθρου γεωλογικά ανήκει στην Πελαγονική ζώνη. Συγκροτείται κυρίως από πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα της ζώνης αυτής, ενώ το πεδινό τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από αλλουβιακές προσχώσεις (βλ. Γεωλογικό χάρτη, σχ. 1).

Αναλυτικότερα οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή είναι από τους βαθύτερους προς τους ανώτερους οριζόντες:

α. Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής, ηλικίας Κάτω Παλαιοζωϊκής ή και Προκάμβριας, το οποίο συνίσταται από δύο σειρές μεταμορφωμένων πετρωμάτων (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. 1983):

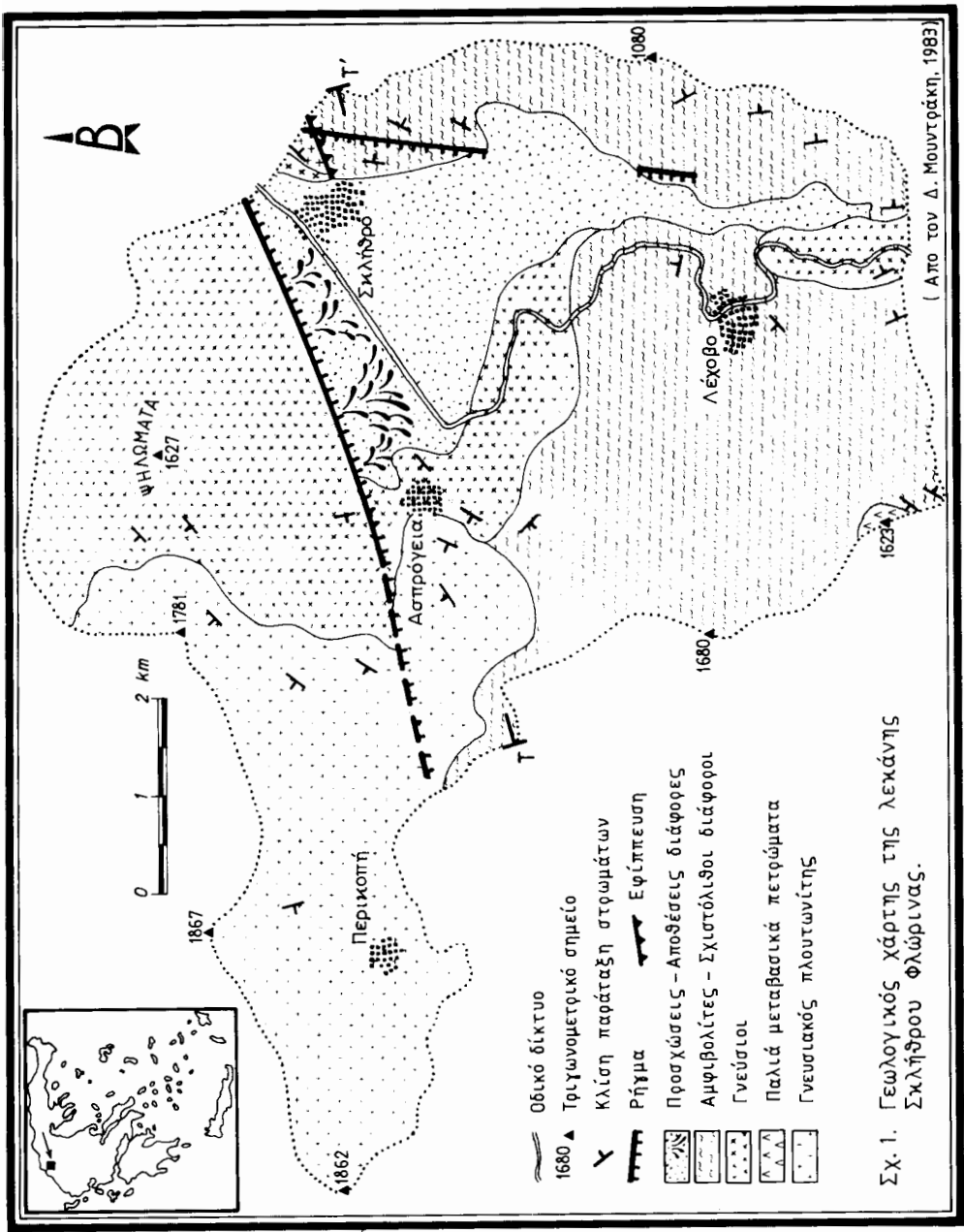
- Την κατώτερη σειρά Βίτσι-Νυμφαίου, η οποία χαρακτηρίζεται κυρίως από γνεύσιους ανοιχτόχρωμους ή τεφρούς. Οι γνεύσιμοι αυτοί βρίσκονται συμπτυχωμένοι με άλλα μεταμορφωμένα

ρο κάποιους από τους παράγοντες που αναφέραμε, π.χ. περατότητα σχηματισμών. Όμως αυτό θα οδηγούσε σε ατέρμονα κατάλογο κατηγοριών πολλές από τις οποίες ελάχιστα θα απαντούσαν στη φύση και επομένως η αντιπροσωπευτικότητα κάποιων κατηγοριών θα ήταν περιορισμένη, όπως άρα και η αξία του καταλόγου.

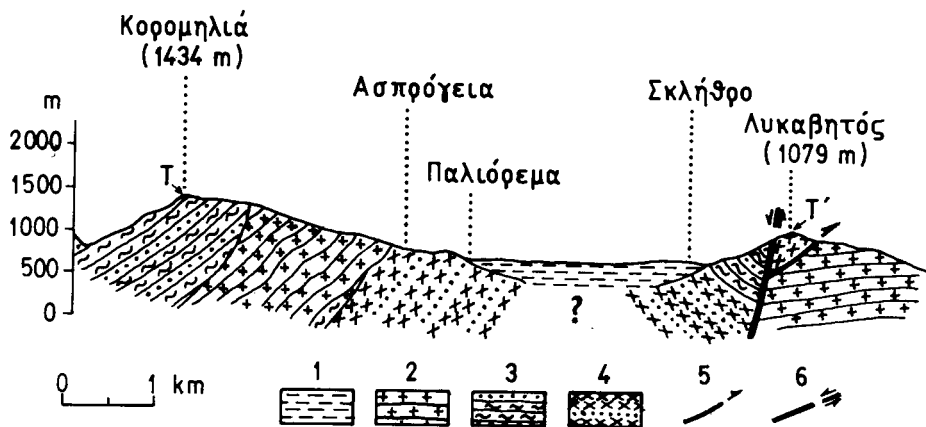
Η αξία της ταξινόμησης έγκειται προφανώς στο γεγονός ότι ερευνώντας εντατικά μόνο την αντιπροσωπευτική λεκάνη κάθε κατηγορίας μπορούμε να καταλήγουμε σε συμπεράσματα που ισχύουν για όλη την κατηγορία, δηλ. για μεγάλο πιθανώς τμήμα του ελληνικού εδάφους. Όλες οι 48 κατηγορίες που περιλαμβάνονται στον πίνακα Ι δεν απαντούν εξίσου στον ελληνικό χώρο. Ορισμένες από αυτές, όπως οι 4, 18, 32, 41 κ.ά. απαντούν ελάχιστα στον ελληνικό χώρο, ενώ αντίθετα άλλες, όπως οι 7, 14, 22, 32, 46 κ.ά. απαντούν ευρέως.

Όπως θα προκύψει από τα στοιχεία που θα δοθούν στη συνέχεια, η λεκάνη Σκλήθρου την οποία εξετάζουμε ανήκει στην κατηγορία 14 ($K_1P_2S_2T_1V_2$).

Β. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ-ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΚΛΗΘΡΟΥ



πετρώματα με τα οποία σχηματίζουν εναλλαγές, όμως στην όλη δομή της σειράς δεσπόζει η παρουσία των άσπρων γνεύσιων. Τα άλλα μέλη της σειράς με τα οποία συμπυκνώνονται οι γνεύσιμοι, είναι αμφιβολίτες και γρανατούχοι-διμαρμαρυγιακοί γνεύσιμοι. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των γνευσίων της σειράς αυτής είναι οι πολύ πυκνές ζώνες μυλονιτίωσης που παρουσιάζονται μέσα στη μάζα τους και οι οποίες σε μερικές θέσεις είναι πολύ χαρακτηριστικές της μετατροπής που υφίστανται τα γρανιτικά πετρώματα από έντονο τεκτονισμό.



Σχήμα 2. Γεωλογική τομή ΤΤ' (Ασπρόγεια-Σκλήθρο) στην περιοχή λεκάνης Σκλήθρου Φλώρινας. 1: Αλλουβιακές προσχώσεις, 2: Γνευσιωμένος γρανίτης ηλικίας Άνω Λιθανθρακοφόρου, 3: Σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες της σειράς Κλεισούρας του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου, 4: Γνεύσιοι και αμφιβολίτες της σειράς Βίτσι-Νυμφαίου του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου, 5: Εφίπτευση, 6: Κανονικό ρήγμα.

- Την ανώτερη σειρά Κλεισούρας, η οποία αποτελείται κυρίως από αμφιβολιτικά και σχιστολιθικά πετρώματα και συγκεκριμένα από αμφιβολίτες, επιδοιτιτικούς-αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους, διμαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, μαρμαρυγιακούς-γρονατούχους σχιστόλιθους κ.ά. Συνχές είναι επίσης οι διάφορες όξινες και βασικές μαγματικές διεισδύσεις μέσα στα πετρώματα της σειράς αυτής. Σε ορισμένες θέσεις παρατηρούνται επίσης συμπτυχωμένα σερπεντιτικά σώματα.

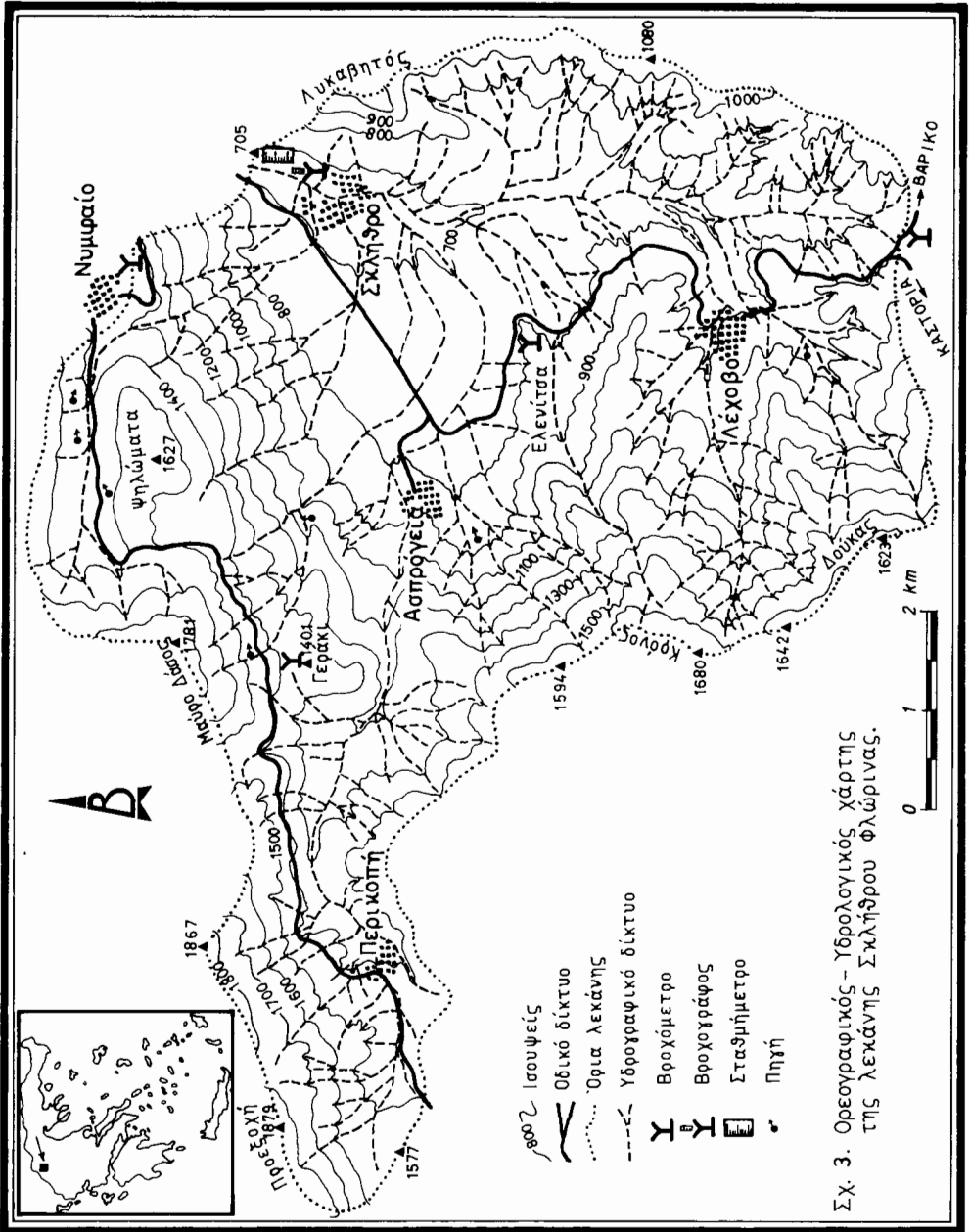
Οι δύο σειρές Βίτσι-Νυμφαίου και Κλεισούρας περιλαμβάνουν πολλά κοινά σχιστολιθικά μέλη. Διαφέρουν όμως στο ότι η πρώτη αποτελεί τους βαθύτερους μεταμορφωμένους οριζόντες με κανονική μετάβαση προς τους ανώτερους οριζόντες της δεύτερης σειράς. Και οι δύο όμως συγκροτούν το ενιαίο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής Προ-Άνω Λιθανθρακοφόρου ηλικίας.

β. Ο πλουτωνίτης της Καστοριάς. Πρόκειται για τις εμφανίσεις που παρατηρούνται ΒΑ του Σκλήθρου, καθώς και στις κορυφές του Βέρνου και οι οποίες αποτελούν τμήμα του ευρύτερου πλουτωνικού όγκου της Καστοριάς και έχουν γρανιτική σύσταση. Σε όλη την έκτασή του ο γρανιτικός όγκος έχει υποστεί μεταμόρφωση και αποτελεί σχιστοποιημένο γνευσιακό γρανίτη. Από ραδιοχρονολογήσεις φάνηκε ότι η διείδυση του πλουτωνίτη μέσα στα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους έγινε κατά τη διάρκεια του Άνω Λιθανθρακοφόρου (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. 1983), αλλά στη συνέχεια συμπτυχώθηκε με τα περιβάλλοντα πετρώματα κατά τη διάρκεια των αλπικών παραμορφώσεων κατά τις οποίες δημιουργήθηκαν εναλλαγές πετρωμάτων και αλληπάλληλες εφίπτευσες-επωθήσεις. Αποτέλεσμα αυτών είναι η εικόνα που παρατηρείται στην περιοχή Σκλήθρου, όπου σε μία θέση εμφανίζονται τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της σειράς Βίτσι-Νυμφαίου να εφίπτευσουν τον γνευσιακό γρανίτη, ενώ δυτικά από το χωριό Ασπρόγεια παρατηρείται η αντίθετη εικόνα.

ii. Οι πρόσφατες αλλουβιακές προσχώσεις είναι κυρίως αργιλικές και έχουν πάχος τουλάχιστον 120 m. Δεν γνωρίζουμε αν κάτω από αυτές υπάρχουν παλαιότερα (νεογενή) ιζήματα. Επίσης κατά μήκος του μεγάλου ρήγματος που παρατηρείται παράλληλα προς το δρόμο Σκλήθρου-Λέχουβου παρατηρούνται σημαντικά πλευρικά κορήματα πρόσφατης ηλικίας. Στο Σχήμα 2 βλέπουμε μία χαρακτηριστική γεωλογική τομή της λεκάνης.

2. Φυσικογεωγραφικά στοιχεία

i. Η λεκάνη Σκλήθρου που μελετήθηκε, Σχήμα 3, έχει έκταση 59,6 km², βρίσκεται στα όρια



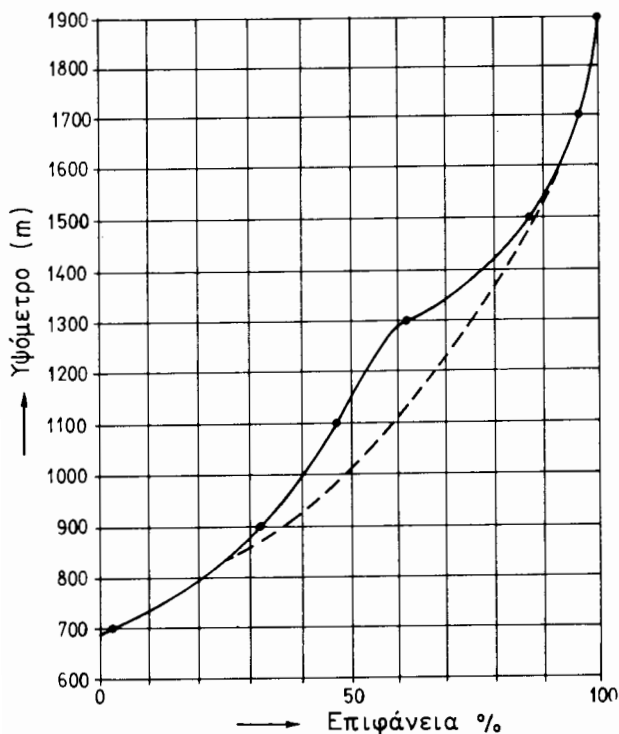
Σχ. 3. Ορειγραφικός - Υδρολογικός χάρτης της λεκάνης Σκαλίθρου Φλώρινας.

των νομών Φλώρινας, Κοζάνης και Καστοριάς και διοικητικά υπάγεται στο νομό Φλώρινας. Θα παραθέσουμε τα κυριότερα φυσικογεωγραφικά στοιχεία της λεκάνης (γεωμορφολογία, υδρογραφικό δίκτυο, φυτοκάλυψη κ.λπ.) γιατί αυτά μαζί με τα γεωλογικά (γεωολογικοί σχηματισμοί, περατότητα αυτών κ.λπ.) και με τα κλιματικά (κατακρημνίσματα, θερμοκρασία) καθορίζουν την υδρολογική συμπεριφορά της και την κατατάσσουν στην κατηγορία 14 του Πίνακα Ι (όπως θα το

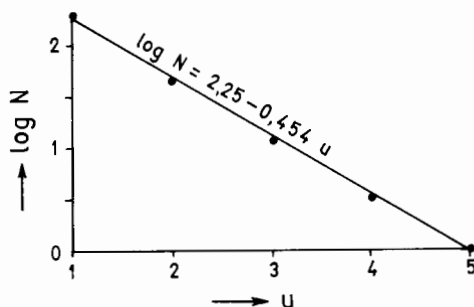
ΠΙΝΑΚΑΣ Π.

Γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης Σκλήθρου.

1. Μέση κλίση	29,98 %
2. Αντίστοιχη γωνία	16° 35'
3. Μέσο υψόμετρο	1146,4 m
4. Μέγιστο υψόμετρο	1867 m
5. Ελάχιστο υψόμετρο	670 m
6. Μέγιστο ανάγλυφο	1197 m
7. Δείκτης αναγλύφου	0,1535
8. Δείκτης κυκλικότητας	1,43



Σχήμα 4. Υψογραφική καμπύλη της λεκάνης Σκλήθρου (βλ. κείμενο).



Σχήμα 5. Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου.

δούμε και στη συνέχεια). Εξάλλου στη διεθνή βιβλιογραφία (HIRSH, F. 1965, ACCORDI, B. e.a. 1969 κ.ά) γίνεται προσπάθεια συσχέτισμού των φυσικογεωγραφικών στοιχείων μίας λεκάνης με την υδρολογική συμπεριφορά της. Ακόμα τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων της έρευνας σ' αυτή τη λεκάνη με αντίστοιχα από άλλες λεκάνες από την Ελλάδα ή άλλες χώρες.

ii. Τα γεωμορφολογικά στοιχεία λοιπόν της λεκάνης Σκλήθρου συνοψίζονται στον Πίνακα Π.

Φαίνεται από τον πίνακα αυτόν ότι πρόκειται για μία λεκάνη ορεινή με μεγάλη μέση κλίση εδάφους, γεωμορφολογικά "ανώριμη".

Στο σχήμα 4 δίνεται η υψογραφική καμπύλη της λεκάνης. Σ' αυτήν φαίνεται καθαρά πως εκτός από την επιφάνεια επιπέδωσης στα 700-750 m, που αντιστοιχεί στο σημερινό επίπεδο βάσης, έχουμε και μία άλλη στα 1300-1400 m που είναι σαφής στο ύπαιθρο. Στο σχήμα αυτό με διακοπτόμενη γραμμή φαίνεται η πορεία την οποία θα ακολουθούσε η υψογραφική καμπύλη αν στην περιοχή δεν υπήρχε δεύτερη επιφάνεια επιπέδωσης. Είναι σαφές και από την υψογραφική καμπύλη ότι η λεκάνη είναι γεωμορφολογικά ανώριμη.

iii. Το υδρογραφικό δίκτυο διακρίνεται σε γενικές γραμμές στο χάρτη του σχήματος 3. Στο σχήμα 5 δίνεται η ανάλυση κατά HORTON, R. (1945) και STRAHLER, A. (1952). Από αυτό προκύπτει ο συντελεστής διακλάδωσης. Στον πίνακα ΙΙΙ δίνονται τα κυριότερα στοιχεία του υδρογραφικού δικτύου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ. Στοιχεία υδρογραφικού δικτύου		
1.	Συντελεστής διακλάδωσης Rb	0,454
2.	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου D	1,756
3.	Συχνότητα υδρογραφικού δικτύου F	4,21
4.	Συντελεστής αποστράγγισης d	0,569

Μπορούμε να πούμε ότι πρόκειται για ένα όχι ιδιαίτερα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο.

iv. Η φυτοκάλυψη είναι σημαντική. Μεγάλο τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από πυκνή

δασώδη βλάστηση, ένα τμήμα καλύπτεται από αραιά θαμνώδη και δενδρώδη βλάστηση και ένα άλλο μόνο από ποώδη εποχιακή και καλλιέργειες. Συνολικά η φυτοκάλυψη είναι αρκετά πιο σημαντική από τη “μέση” του ελληνικού χώρου.

v. Η λιθολογική σύσταση της λεκάνης είναι: προσχώσεις διάφορες 13,6%, πυριγενή (γρανίτης) 20,7%, μεταμορφωμένα (γνεύσιοι, αμφιβολίτες, σχιστόλιθοι διάφοροι) 65,7%.

vi. Η πληθυσμιακή πυκνότητα της λεκάνης είναι μικρή. Υπάρχουν τρία χωριά με συνολικό πληθυσμό περίπου 2.000 κατοίκων, που ασχολούνται με γεωργία, υλοτομία και κτηνοτροφία. Η επέμβαση του ανθρώπου στις υδρολογικές συνθήκες είναι πολύ μικρή.

Γ. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΚΛΗΘΡΟΥ

1. Γενικά

i. Η γνώση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας λεκάνης έχει πρωταρχική σημασία για τη βέλτιστη αξιοποίηση του υδάτινου δυναμικού της. Όμως ο υπολογισμός του υδρολογικού ισοζυγίου, με βάση άμεσες μετρήσεις και παρατηρήσεις, είναι χρονοβόρος και δαπανηρός. Γι αυτό, πάρα πολλές φορές, από έλλειψη επαρκών, συστηματικών και αξιόπιστων δεδομένων πεδίου, καταφεύγουμε στη χρήση διαφόρων, κυρίως εμπειρικών, μεθόδων υπολογισμού του υδρολογικού ισοζυγίου. Οι μέθοδοι αυτές υπολογίζουν κυρίως την πραγματική εξατμισοδιαπνοή και έμμεσα την ολική απορροή ή και μερικές φορές αντίστροφα. Οι πιο γνωστές, και ίσως οι πιο ενδιαφέρουσες από αυτές, είναι οι εξής: TURC, L. (1951), COUTAGNE, E. (1954), THORNTHWAITTE, C.-MATHER, J. (1955), PENMAN, H. (1956), PLANEY, H.-CRIDDLE, W. (1950), KESSLER, H. (1965), SERRA, L. (1954), CAPPUS, P. (1951), PAPADAKIS, J. (1961), JENSEN, M.-HAISE, N. (1963). Υπάρχουν επίσης και άλλες μέθοδοι με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και μαθηματικών ομοιωμάτων που δίνουν την απορροή με βάση τα καταρημνίσματα κ.λπ.: NASH, J.E. (1958), μαθηματικά ομοιώματα MERO, SIMERO, CREC, BEMER κ.ά. [βλ. βιβλιογραφία CHOW, V.T. (1964), DEGALIER, R. (1972), ROCHE, M. (1970), BEZES, C. (1976), BALEC, J. (1982), GIRARD, G. (1975), MARTINEC, J. (1982), ENDERLEIN, R.-GLUGLA, G.-EYRICH, A. (1982), DROGUE, C.-GUIBOT, A. (1982) κ.ά.]. Ακόμα υπάρχουν μέθοδοι που υπολογίζουν το υδρολογικό ισοζύγιο λεκανών με βάση τις περιεκτικότητες σε ιόντα Cl (SCHULZ, H.D. 1972). Πολλές από τις μεθόδους αυτές δεν βρίσκουν σημαντική απήχηση στη διεθνή βιβλιογραφία και έτσι δεν γνωρίζουμε κατά πόσο ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στην πραγματικότητα. Άλλες για την εφαρμογή τους χρειάζονται στοιχεία μη συνήθως διαθέσιμα. Γι αυτό θα εφαρμόσουμε και θα δοκιμάσουμε την ισχύ μόνο των τριών πρώτων αναφερομένων.

ii. Αξίζει να σημειώσουμε κάποιες σχετικά πρόσφατες έρευνες που αναφέρονται άμεσα ή έμμεσα στο υδρολογικό ισοζύγιο. Κατ' αρχήν κάποιες εκδόσεις της UNESCO που εκδόθηκαν με ευθύνη ή φροντίδα των TOEBES, C.-OURYVAEV, V. (1970), WRICHT, C.E. (1980), BODY, D.N. (1982). Από τις εκατοντάδες εργασίες που αφορούν το υδρολογικό ισοζύγιο σημειώνουμε μερικές στις οποίες δίνουμε ιδιαίτερη σημασία, όπως αυτές των: FOROUND, N.-BROUGHTON, R.S. (1981), SUTCLIFFE, J.U.-AGRAWAL, R.P. (1981), COSANDEY, C.H. (1983), JAUFFRET,

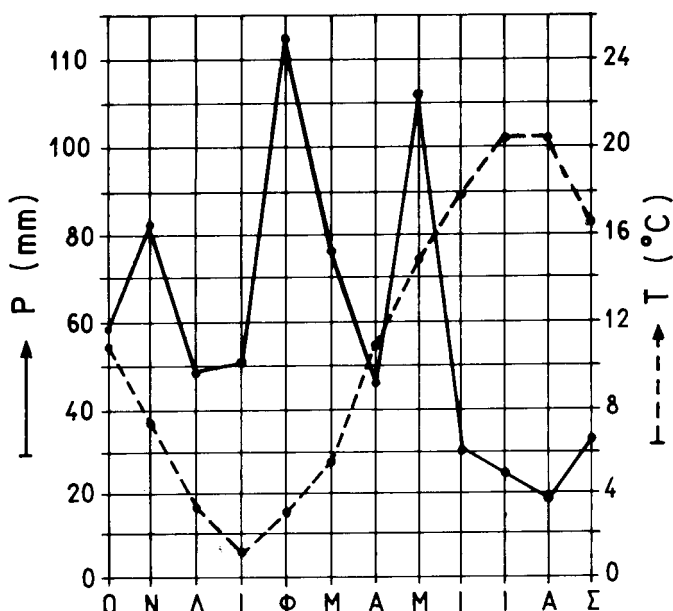
D. (1984), EICHER, T. (1982), DITTRICH, I.-GOLF, W.-HANLEL, H. (1982). Σημειώνουμε κάποιες εργασίες που αναφέρονται στην επίδραση που έχει η βλάστηση (αποφυλώσεις, καλλιέργειες) πάνω στο υδρολογικό ισοζύγιο GARCZINSKY, F. (1980), NOIRFALIS, E. (1962), SAMBASIVA RAO, A. (1987), RAMBAL, S. (1987), MUMKA, A. (1986) και επίσης την αντίστοιχη επίδραση από τη μεταβολή των κατακρημνισμάτων και της θερμοκρασίας: FLASCHKA, I-STOCKTOW, C.W.-BOGGER, W.R. (1987), SUTCLIFFE, J.U.-GREEN, C.S. (1986), KALLERGIS, G. (1981), WIN, R. (1960), κ.λπ. Σημειώνουμε μία εργασία, CALVO, J. (1986), που αναφέρεται στην εφαρμοσιμότητα διαφόρων μεθόδων και ειδικά της μεθόδου των THORNTHWAITTE, C.-MATHER, J. (1955).

2. Κλιματικά στοιχεία της λεκάνης Σκλήθρου

i. Για τη μέση θερμοκρασία αέρα της λεκάνης λήφθησαν υπόψη τα δεδομένα του σταθμού της Πτολεμαΐδας που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 20 km από την εξεταζόμενη λεκάνη, αλλά πάντως, μέσα στην ίδια ευρύτερη λεκάνη με την εξεταζόμενη. Το υψόμετρο του σταθμού της Πτολεμαΐδας είναι 630 m, ενώ το μέσο υψόμετρο της εξεταζόμενης λεκάνης είναι 1146 m. Έτσι χρειάστηκε μία διόρθωση των δεδομένων του σταθμού της Πτολεμαΐδας, ώστε να ανταποκρίνονται στη λεκάνη μας. Με βάση στοιχεία του ελληνικού χώρου, θεωρήσαμε μία θερμοβαθμίδα των 0,4° C ανά 100 m μεταβολής υψομέτρου. Έτσι ενώ η Πτολεμαΐδα έχει μία μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα 12,96° C (ΜΠΑΛΛΑΦΟΥΤΗΣ, Χ. 1977), η αντίστοιχη θερμοκρασία για την εξεταζόμενη λεκάνη θα είναι 11° C. Με βάση αυτά έγινε αναλογικά υπολογισμός των μέσων μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας αέρα

ΠΙΝΑΚΑΣ IV. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας αέρα (οC) για το σταθμό Πτολεμαΐδας και τη λεκάνη Σκλήθρου.

	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ετος
Πτολεμαΐδα	13,10	8,60	3,90	1,30	3,50	6,40	12,60	17,20	21,10	24,10	24,20	19,40	12,96
Λεκάνη Σκλήθρου	11,12	7,30	3,22	1,10	2,97	5,43	10,69	14,60	17,99	20,46	20,54	16,47	11,00



Σχήμα 6. Θερμοϋετογράμμο της λεκάνης Σκλήθρου.

για τη λεκάνη και συντάχθηκε ο πίνακας IV.

Σημειώνουμε ότι η θερμοκρασία των 12,96° C αναφέρεται σε μία μακρά σειρά ετών και όχι στη συγκεκριμένη διετία 1985-87. Όμως είναι γνωστό ότι οι αποκλίσεις αυτής της διετίας, ως προς το μέσο όρο, είναι μικρές και πάντως όποιες και αν είναι δεν θα έχουν παρά αμελητέα επίδραση στα αποτελέσματα των μεθόδων που θα εφαρμόσουμε. Στο σχήμα 6 δίνεται η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας (διακοπτόμενη γραμμή).

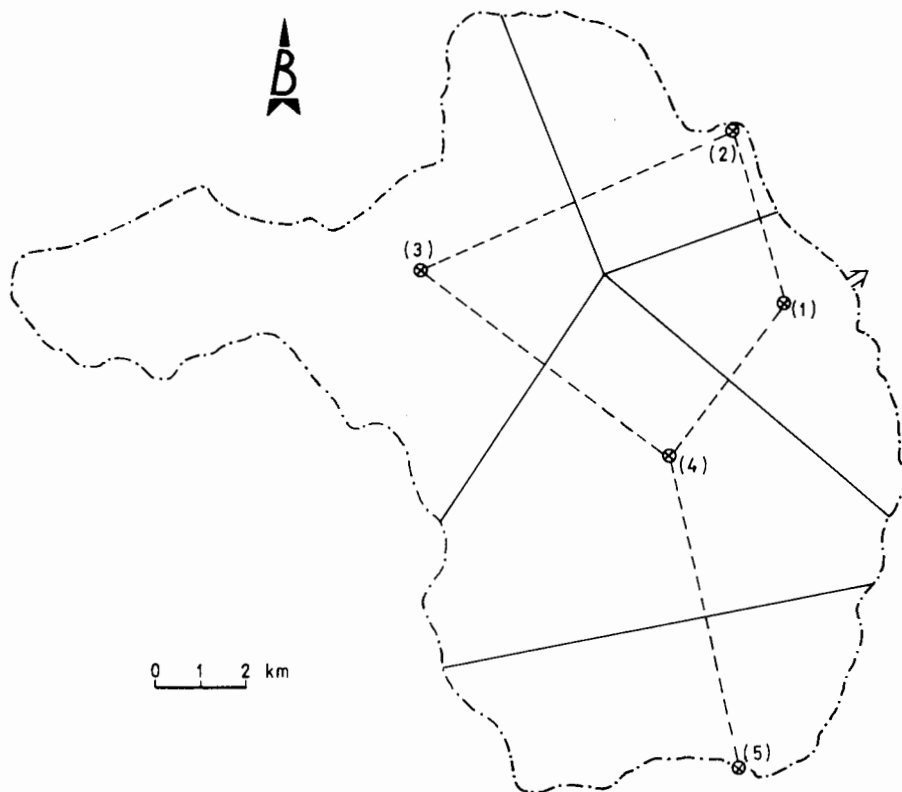
ii. Για τον υπολογισμό του μέσου ετήσιου ύψους κατακρημνισμάτων στην εξεταζόμενη λεκάνη χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα από τέσσερα αθροιστικά βροχόμετρα (που παρακολουθούσαμε σε

**ΠΙΝΑΚΑΣ V. Κατακρημνίσματα (σε mm) στη λεκάνη Σκλήθρου
(μέσος όρος διετίας 10/85 - 9/87).**

	(1) Σκλήθρο	(2) Νυμφαίο	(3) Περικοπή	(4) Λέγοβο	(5) Βαρυκό	(6) Πτολεμαίδα	Σύνολο λεκάνης
Οκτώβριος	34,55	60,45	78,85	46,45	56,90	26,20	58,90
Νοέμβριος	93,30	149,05	136,90	131,90	11,65	91,50	82,82
Δεκέμβριος	26,30	44,00	52,35	56,60	46,55	16,00	48,87
Ιανουάριος	40,30	65,45	57,85	51,45	40,70	38,50	51,98
Φεβρουάριος	80,40	121,65	142,00	130,20	114,90	48,50	125,12
Μάρτιος	75,05	103,35	100,40	93,70	77,80	59,50	66,34
Απρίλιος	45,10	42,10	58,70	38,70	38,30	22,90	46,27
Μάιος	84,15	138,85	107,90	117,60	111,60	81,55	111,85
Ιούνιος	16,70	38,25	36,30	26,35	29,80	27,70	30,31
Ιούλιος	13,10	25,40	33,45	23,00	29,05	13,65	25,50
Αύγουστος	19,60	15,10	20,85	19,60	15,20	9,25	18,83
Σεπτέμβριος	20,25	30,40	34,20	36,65	29,70	11,50	32,23
Έτος	548,80	828,95	866,90	772,20	712,65	454,65	774,89

μηνιαία βάση) και ενός βροχογράφου, τα οποία εγκαταστήσαμε σε διάφορες θέσεις της λεκάνης (βλ. Σχ. 3 και 7).

Επίσης επικουρικά λάβαμε υπόψη τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Πτολεμαΐδας. Τα βροχόμετρα και ο βροχογράφος που εγκαταστήσαμε, τα τοποθετήσαμε έτσι ώστε να καλύπτουν



Σχήμα 7. Εφαρμογή της μεθόδου του THIESSEN, A.H. (1911) στη λεκάνη Σκλήθρου.

την εξεταζόμενη λεκάνη τόσο κατά έκταση, όσο και κατά υψόμετρο. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (REMENIERAS, G. 1965, WILSON, E. 1977) οι πέντε αυτοί σταθμοί είναι απόλυτα επαρκείς για να μας δώσουν με μεγάλη ακρίβεια το μέσο ύψος των κατακρημνισμάτων που δέχεται η εξεταζόμενη λεκάνη (έκταση 59,6 km²).

Για μερικούς σταθμούς και κυρίως γι αυτόν της Περικοπής, υπήρξαν ορισμένοι μήνες για τους οποίους δεν έγιναν μετρήσεις (παρατηρήσεις) των κατακρημνισμάτων. Για τις περιπτώσεις αυτές έγινε "επέκταση" των βροχομετρικών δεδομένων, αναλογικά με βάση το μέσο όρο τριών γειτονικών σταθμών (CHOW, V.T. 1964, ΚΩΤΟΥΛΑΣ, Δ. 1982). Έτσι συμπληρώθηκαν τα κενά και έγινε ο πίνακας V για τη διετία 1985-87.

Με βάση τα δεδομένα αυτά εφαρμόσαμε τη μέθοδο του THIESSEN, A.H. (1911), όπως φαίνεται στο σχήμα 7 και τον πίνακα VI και υπολογίσαμε χωριστά για κάθε μήνα το μέσο ύψος κατακρη-

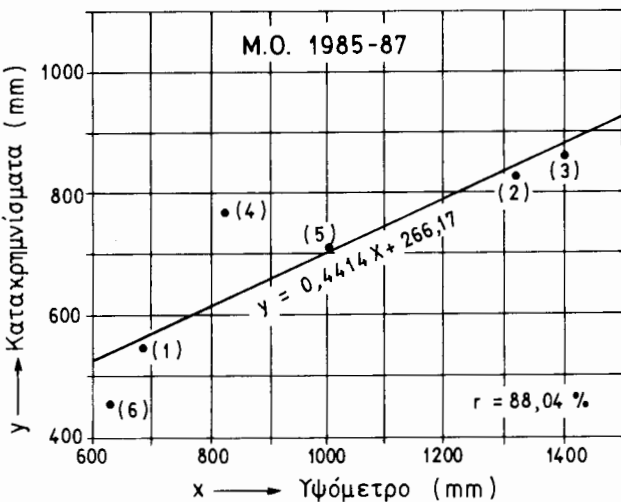
ΠΙΝΑΚΑΣ VI. Εφαρμογή της μεθόδου του THIESSEN, A.H. (1911).					
Σταθμός:	(1) Σκλήθρο	(2) Νυμφαίο	(3) Περικοπή	(4) Λέχοβο	(5) Βαρυκό
Εμβαδό (km ²)	6,7	6,1	19,6	17,5	9,7
Εμβαδό %	11,24	10,23	32,89	29,36	16,28

μνισμάτων που δέχεται η λεκάνη και έτσι συμπληρώθηκε η τελευταία στήλη του πίνακα V.

Επικουρικά υπολογίσαμε το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη με τη χάραξη των καμπυλών y (ύψος κατακρημνισμάτων σε mm) - x (υψόμετρο σε m), Σχήμα 8, για τη διετία 1985-87 (για τη μέθοδο βλ. REMENIERAS, G. 1965).

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 8, υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των x και y που άλλωστε είναι προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου. Για την εφαρμογή της χρησιμοποιήσαμε και τα δεδομένα του σταθμού της Πτολεμαΐδας, (αρ. 6) από τη στήλη 6 του πίνακα V. Με γνωστό λοιπό το μέσο υψόμετρο x της λεκάνης (1146 m) μπορούμε να υπολογίσουμε το μέσο ύψος y των κατακρημνισμάτων που αυτή δέχεται.

Τα αποτελέσματα που προκύπτan τόσο με τη μέθοδο του THIESSEN, A.H. (1911), όσο και με τη χάραξη της καμπύλης y - x , είναι πολύ παραπλήσια, σε βαθμό μάλιστα καταπληκτικό. Ίσως αυτο



Σχήμα 8. Καμπύλη y (ύψος ετήσιων κατακρημνισμάτων σε mm) - x (υψόμετροσε m) για τη διετία 1985-87.

οφείλεται στην καλή τοποθέτηση των 5 βροχομετρικών σταθμών. Με τη μέθοδο λοιπόν του THIESSEN, A.H. (1911) βρήκαμε ότι το μέσο ύψος κατακρημνισμάτων για τη διετία 1985-87 είναι 774,89 mm, ενώ με την άλλη μέθοδο η αντίστοιχη τιμή είναι 772,01 mm.

Όπως προκύπτει από συγκρίσεις σταθμών με μακρά διάρκεια λειτουργίας, το 1985-86 ήταν ένα σχετικά βροχερό έτος (όχι πάντως ιδιαίτερα), ενώ το 1986-87 ένα περίπου "μέσο" υδρολογικά έτος. Έτσι η μέση τιμή κατακρημνισμάτων της διετίας 1985-87 είναι ελαφρά υψηλότερη της κανονικής.

ΠΙΝΑΚΑΣ VII: Μετρήσεις παροχών και στάθμης στη λεκάνη Σκλήθρου.

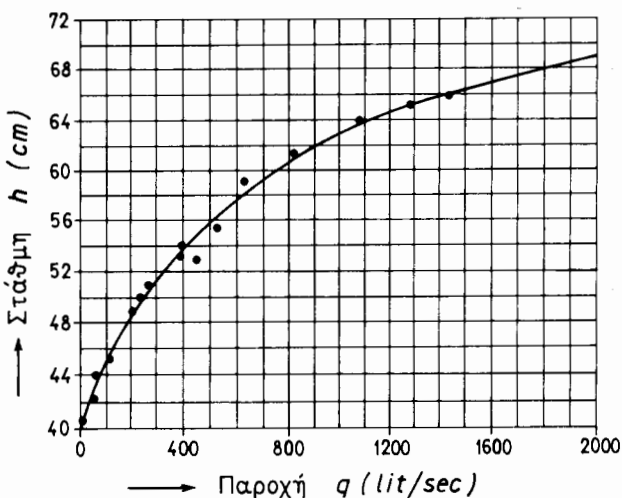
Ημερομηνία	Παροχή (lit/sec)	Στάθμη (cm)	Ημερομηνία	Παροχή (lit/sec)	Στάθμη (cm)
6-10-85	82,3	28,6	28-6-86*	152,2	45,5
1-11-85	223,0	33,7	2-8-86*	61,6	42,3
18-11-85	243,0	35,2	8-9-86	77,0	44,6
25-11-85	977,5	46,7	19-10-86	207,0	49,0
30-11-85	400,0	39,3	8-11-86	316,4	52,0
7-12-85	274,3	36,0	14-12-86	264,8	51,0
17-1-86	392,8	38,9	3-1-87	395,0	53,3
25-1-86	393,2	39,6	22-2-87	604,0	58,5
19-2-86	2296,1	59,0	21-3-87	18000	86,0
22-2-86	1443,5	66,1	4-4-87	5500	74,0
6-3-86	1283,4	65,3	17-5-87	632,4	59,5
30-3-86	1080,2	64,0	6-6-87	395,2	54
30-4-86	455,2	54,9	17-8-87*	86,2	45,1
18-5-86	821,8	61,3	3-10-87	228,7	50,5
29-5-86	530,4	55,5			

* Γινόταν άντληση για άρδευση, η οποία συνυπολογίστηκε στους πίνακες.

3. Απορροές της λεκάνης Σκλήθρου

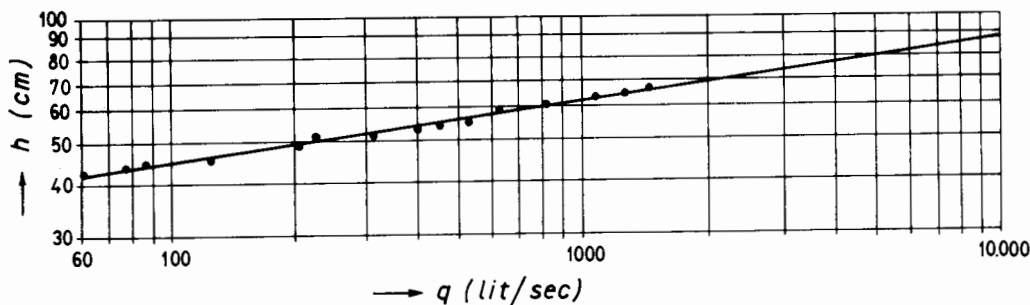
ι. Η ολική απορροή μετρήθηκε στην έξοδο της λεκάνης κοντά στο χωριό Σκλήθρο, όπου εγκαταστάθηκε σταθμήμετρο στο οποίο γινόταν καθημερινές παρατηρήσεις.

Οι μετρήσεις παροχής γινόταν στο ίδιο σημείο μία φορά περίπου το μήνα με τη μέθοδο του μιλίσκου. Στον πίνακα VII έχουμε τις μετρήσεις παροχών. Με βάση τις μετρήσεις αυτές της παροχής και τις αντίστοιχες ενδείξεις του σταθμήμετρου χαράξαμε την καμπύλη στάθμης (h)-παροχής (q). (Σχ. 9). Επίσης την ίδια καμπύλη τη χαράξαμε σε διλογαριθμικό χαρτί, (Σχ. 10), όπου όπως



Σχήμα 9. Καμπύλη στάθμης (h) - παροχής (q) (σε δεκαδική κλίμακα).

αναμένεται (REMENIERAS, G. 1965, CASTANY, G. 1967, CHOW, V.T. 1964) η καμπύλη αυτή είναι ευθεία και παρέχει τη δυνατότητα επέκτασης για πολύ υψηλές παροχές. Η καμπύλη αυτή χαράχθηκε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Σημειώνουμε ότι οι ταυτόσημες καμπύλες των σχημάτων 9 και 10 ισχύουν από την 22-2-86 μέχρι το τέλος των παρατηρήσεων. Για το προηγούμενο χρονικό διάστημα (1-10-85 μέχρι 21-2-86) είχαμε άλλες αντίστοιχες καμπύλες. Όμως μία μεγάλη πλημμύρα της 19-2-86 είχε σαν συνέπεια τη μετακίνηση του σταθμήμετρου, το οποίο επανεγκαταστήσαμε την επομένη, όχι ακριβώς στην ίδια θέση και έτσι δεν ισχύει πλέον η καμπύλη στάθμης-παροχής για το προηγούμενο χρονικό διάστημα (1/10-



Σχήμα 10. Καμπύλη στάθμης (h) - παροχής (q) (σε διλογαριθμικό χαρτί).

85-21/2/86).

ii. Με βάση λοιπόν τις καμπύλες των σχημάτων 9 και 10 (και τις αντίστοιχες για το προηγούμενο της 22-2-86 διάστημα) και τις καθημερινές τιμές της στάθμης του νερού από παρατηρήσεις στο εγκαταστημένο σταθμήμετρο βρήκαμε τις καθημερινές τιμές της παροχής της ολικής απορροής Q, οι οποίες καταχωρήθηκαν στους πίνακες XIII και IX. Από τους πίνακες αυτούς προκύπτει ότι κατά τα έτη 1985-86 και 1986-87 είχαμε τις εξής τιμές για τη μέση ετήσια παροχή q και την ολική ετήσια απορροή Q:

$$1985-86: q = 587,87 \text{ l/s}, Q = 18.539.068 \text{ m}^3$$

$$1986-87: q = 642,60 \text{ l/s}, Q = 20.265.033 \text{ m}^3$$

Δηλαδή κατά τη διετία 1985-87 είχαμε κατά μέσο όρο $q = 615,23 \text{ l/s}$ και $Q = 19.402.050 \text{ m}^3$.

iii. Με τις τιμές των πινάκων VIII και IX έγιναν για τα δύο έτη τα αντίστοιχα υδρογράμματα, σχήματα 11 και 12, δηλ. χαράχθηκαν τα υδρογράμματα της ολικής απορροής (συνεχής γραμμή). Με βάση τις γνωστές από τη βιβλιογραφία μεθόδους (WRICHT, C.E. 1980, NATERMANN, E. 1951, REMENIERAS, G. 1965, ROCHE, M. 1963, WILSON, E. 1977, CHOW, V.T. 1964, DAVIS, S.-DE WIEST, R. 1967) κάναμε την ανάλυση του υδρογράμματος σε υπόγεια απορροή I_R (διακοπτόμενη γραμμή) και επιφανειακή απορροή R και έτσι προέκυψαν οι πίνακες X και XI με τις καθημερινές τιμές της υπόγειας I_R και της επιφανειακής R απορροής. Από αυτούς τους πίνακες υπολογίσθηκαν οι μέσες τιμές παροχών των I_R και R και οι αντίστοιχοι ετήσιοι όγκοι που για τα δύο εξεταζόμενα έτη είναι:

$$1985-86: I_R = 253,79 \text{ l/s} (8.003.522 \text{ m}^3), R = 334,08 \text{ l/s} (10.535.546 \text{ m}^3),$$

$$1986-87: I_R = 289,9 \text{ l/s} (9.142.286 \text{ m}^3), R = 352,7 \text{ l/s} (11.122.747 \text{ m}^3).$$

Δηλαδή κατά τη διετία 1985-87 είχαμε κατά μέσο όρο $I_R = 271,845 \text{ l/s} (8.572.904 \text{ m}^3)$ και $R = 343,39 \text{ l/s} (10.829.146 \text{ m}^3)$.

4. Υδρολογικό ισοζύγιο της Λεκάνης Σκλήθρου

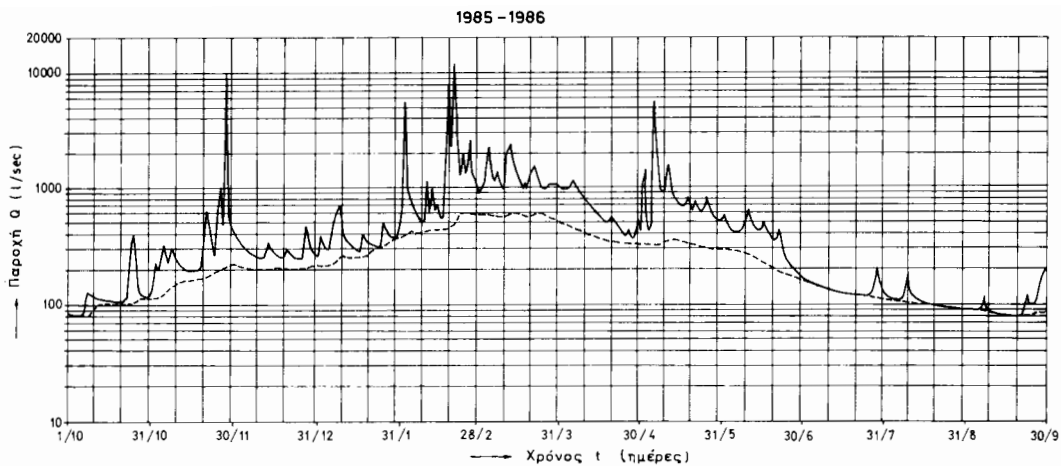
i. Θα εκφράσουμε το υδρολογικό ισοζύγιο με την κλασική του εξίσωση (CASTANY, G. 1967, 1968, TOEBES, C.-OURYVAEV, V. 1970):

$$P = R + I + E \pm dW \pm dq(1)$$

όπου P=τα κατακρημνίσματα, R=η επιφανειακή απορροή, I=η κατείδσυση, dW=η μεταβολή των υπόγειων αποθεμάτων, dq=το αποτέλεσμα της επέμβασης του ανθρώπου.

Στη λεκάνη μας προφανώς δεν έχουμε μεταβολή dG των αποθεμάτων νερού σε στερεά κατάσταση (χιόνι, πάγος) ούτε μεταβολή ds, μη αμελητέα, της υγρασίας του εδάφους.

Στη λεκάνη Σκλήθρου υπάρχουν τρία χωριά με συνολικό πληθυσμό περίπου 2.000 κατοίκους.

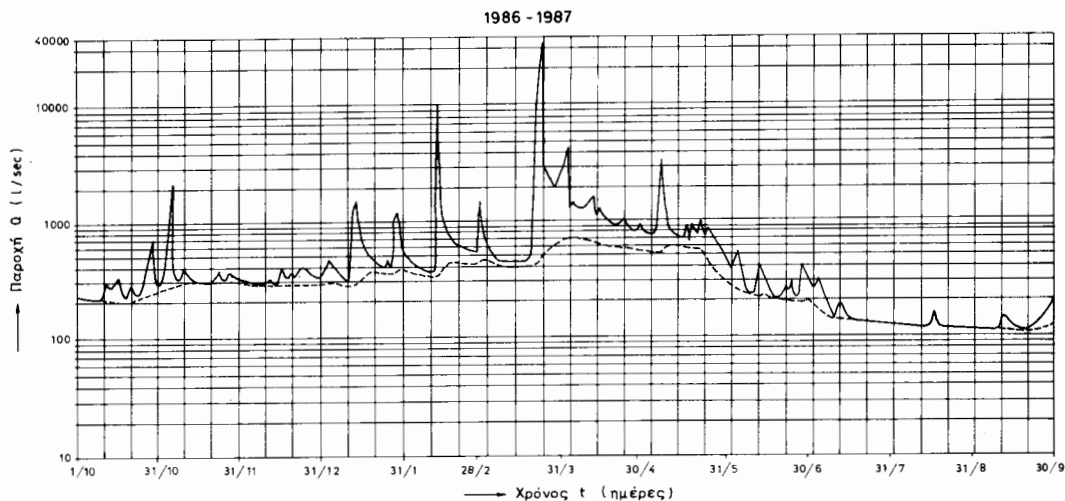


Σχήμα 11. Υδρογράμμα της λεκάνης Σκλήθρου για το έτος 1985 - 86 (βλ. κείμενο).

Οι κάτοικοι αυτοί για τις καθημερινές οικιακές ανάγκες, αλλά και για κάποιες θερινές αρδευόμενες καλλιέργειες καταναλώνουν ορισμένη ποσότητα νερού. Σημειώνουμε ότι οι μετρήσεις και παρατηρήσεις απορροών γινόταν σε ώρες που δεν αντιλούνταν νερό από την κοίτη του ποταμού, ή όταν συνέβαινε κάτι τέτοιο τότε το προσμετρούσαμε. Έτσι εκτιμάμε ότι η επέμβαση του ανθρώπου στη λεκάνη προκαλούσε μία μεταβολή του νερού $dq=600.000 \text{ m}^3$, ποσότητα που σε τελευταία ανάλυση προέρχεται από την υπόγεια απορροή, δηλ. από την κατείδυση I, στην οποία και πρέπει να προστεθεί.

Επίσης παίρνοντας υπόψη την τιμή της απορροής κατά το τέλος των ξηρών περιόδων, που ήταν αντίστοιχα 86 l/s, 74 l/s, 105 l/s για το τέλος της ξηρής περιόδου των υδρολογικών ετών 1984-85, 1985-86 και 1986-87 και που αντικατοπτρίζει ουσιαστικά τα αντίστοιχα εκκενώσιμα αποθέματα και έχοντας ακόμη υπόψη από την ανάλυση των υδρογραμμάτων την τιμή του συντελεστή στειρέυσης α , φαίνεται ότι:

- Κατά το 1985-86 είχαμε μεταβολή των αποθεμάτων του υπόγειου νερού κατά $dW = -500.000 \text{ m}^3$.



Σχήμα 12. Υδρογράμμα της λεκάνης Σκλήθρου για το έτος 1986 - 87 (βλ. κείμενο).

ΠΙΝΑΚΑΣ VIII.

Ημερήσιες τιμές της παροχής της ολικής απορροής Q (l/s) για το έτος 1985-86

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	84	215	380	390	710	890	990	1090	560	170	125	95
2	84	200	350	335	5550	980	980	1470	470	168	120	94
3	83	230	330	310	950	1090	995	470	430	160	118	93
4	83	300	305	300	840	2000	1100	470	415	158	117	92
5	82	280	290	420	710	2000	1160	5500	410	155	116	91
6	82	230	275	540	640	1250	1050	3500	410	150	115	90
7	112	310	265	620	550	1220	945	1400	420	150	114	120
8	122	260	260	710	520	1400	860	1000	450	140	125	90
9	115	240	255	500	530	1090	800	980	490	140	190	89
10	112	220	250	390	1150	980	750	1410	560	135	130	88
11	112	210	255	355	590	2000	710	1410	565	135	120	87
12	110	205	260	335	950	2250	680	950	470	130	115	86
13	110	200	350	320	640	2200	635	820	440	130	113	86
14	110	195	300	305	710	1660	605	770	428	130	110	85
15	108	190	285	300	560	1400	570	730	428	130	110	84
16	109	195	265	290	560	1200	540	695	470	130	109	83
17	108	195	255	410	2350	995	515	680	428	128	108	82
18	108	230	250	355	7500	1120	515	820	390	128	105	81
19	108	420	255	340	2720	980	560	730	380	127	104	80
20	106	640	300	335	12000	1250	515	620	370	126	103	80
21	106	465	265	330	3000	1440	470	740	380	125	102	80
22	110	320	260	325	1405	1600	440	640	405	124	101	80
23	190	360	255	330	2000	1220	400	610	310	122	100	85
24	395	640	250	340	1290	1040	380	620	270	120	100	110
25	280	980	250	520	1600	980	410	820	240	120	99	115
26	145	370	260	410	2660	980	410	680	220	125	98	100
27	125	10000	400	395	1290	1090	270	620	205	130	98	105
28	120	640	315	385	1090	1090	360	560	195	185	97	110
29	118	460	295	380		1090	560	540	185	175	97	125
30	118	410	280	390		1090	440	530	180	140	96	180
31	130		260	520		1000		525		130	96	
M.O	125	660	284	393	1966	1309	657	1045	386	139	111	95

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΧ.

Ημερήσιες τιμές της παροχής της ολικής απορροής Q (l/s) για το έτος 1986-87

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	230	289	294	307	520	503	3250	740	360	270	120	112
2	219	315	291	352	470	900	2660	730	380	255	119	111
3	218	480	289	429	494	1400	1220	720	440	245	119	110
4	217	220	285	402	423	660	1400	728	510	290	118	110
5	216	741	281	387	405	590	1280	850	420	260	117	110
6	215	429	279	364	389	530	1210	3220	310	230	117	109
7	214	319	278	345	378	485	1180	1600	240	205	116	109
8	213	330	275	329	367	450	1190	1225	225	180	116	108
9	210	348	273	310	355	425	1270	920	220	160	116	108
10	212	360	272	285	346	419	1400	770	220	135	115	119
11	250	332	271	272	343	417	1600	730	300	140	115	142
12	280	311	276	471	348	415	1600	710	360	180	115	142
13	279	298	304	950	360	413	1090	700	360	185	114	132
14	268	295	268	1405	1800	411	1220	680	315	170	114	122
15	288	291	269	870	9800	410	1060	740	260	145	118	117
16	325	290	304	680	1090	408	980	890	230	130	158	114
17	230	288	383	589	860	406	910	640	210	128	138	112
18	228	288	330	525	790	404	890	890	205	127	122	111
19	212	289	304	490	704	430	880	810	200	126	119	110
20	265	290	354	465	650	480	875	740	205	126	118	110
21	244	293	338	435	610	6200	815	980	235	125	118	112
22	227	298	310	410	580	12000	900	750	270	125	117	118
23	222	343	343	395	560	31500	980	740	235	124	116	122
24	228	311	360	380	540	3300	890	810	270	123	115	128
25	244	304	370	390	535	2570	800	750	230	122	114	136
26	300	304	359	440	520	2310	760	690	205	122	114	145
27	429	343	345	383	510	2090	740	620	235	121	114	135
28	562	330	330	429	506	1900	810	580	390	121	113	170
29	471	311	313	978		2050	880	520	340	120	113	190
30	280	304	308	1120		2400	780	460	310	120	113	200
31	269		304	978		2800		420		120	112	
M.O	267	397	308	534	902	2570	1186	850	290	162	118	126

		ΠΙΝΑΚΑΣ X. Ημερήσιες τιμές της παροχής της επιφανειακής απορροής R και της υπόγειας απορροής I _k (l/s) για το έτος 1985-86.																							
		X		XI		XII		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX	
		I _k	R	I _k	R	I _k	R	I _k	R	I _k	R	I _k	R	I _k	R	I _k	R	I _k	R	I _k	R	I _k	R	I _k	R
1	83	1	113	102	158	218	172	371	339	582	308	495	495	327	763	290	270	161	9	114	11	93	2		
2	83	1	115	85	220	130	218	117	385	5165	580	400	485	495	326	1144	286	184	157	9	113	7	92	2	
3	82	1	118	112	220	90	405	545	578	512	477	518	325	145	283	147	154	6	113	5	92	1			
4	82	1	120	180	215	90	220	80	430	410	576	1424	468	632	325	145	281	134	151	7	112	5	91	1	
5	82	0	125	155	210	80	220	200	425	285	572	1428	459	701	325	5175	280	130	148	7	110	6	91	0	
6	81	1	130	100	209	66	225	315	423	217	570	680	448	602	324	3176	279	131	145	5	110	5	90	0	
7	81	31	137	173	206	59	235	385	422	133	565	655	437	508	328	1072	280	140	142	8	109	5	90	30	
8	82	40	143	117	205	55	252	458	422	98	562	838	425	435	338	662	281	169	139	1	108	7	90	0	
9	85	30	155	85	204	51	267	233	425	105	561	529	417	383	346	634	282	207	137	3	108	82	89	0	
10	91	21	160	60	202	48	265	125	430	720	560	420	410	340	350	1060	275	285	135	0	107	23	88	0	
11	103	9	160	50	200	55	262	93	431	159	560	1440	400	310	355	1055	265	300	135	0	107	13	87	0	
12	102	8	161	44	200	60	260	75	433	517	580	1670	390	290	360	590	255	215	130	0	106	9	86	0	
13	102	8	162	38	201	149	260	60	435	205	600	1600	385	250	361	459	245	195	130	0	105	8	86	0	
14	102	8	162	33	202	98	261	44	438	272	615	1045	378	227	360	410	238	190	130	0	104	6	85	0	
15	102	6	162	28	210	75	261	39	440	120	603	797	371	199	353	377	230	198	130	0	103	7	84	0	
16	102	7	166	29	213	52	261	29	440	120	595	605	366	174	350	345	224	246	130	0	103	6	83	0	
17	101	7	167	28	210	45	261	149	440	1910	585	410	360	155	347	333	219	209	128	0	102	6	82	0	
18	101	7	168	62	210	40	261	94	440	7060	578	542	355	160	342	478	214	176	128	0	101	4	81	0	
19	101	7	170	250	210	45	275	65	445	2275	567	413	348	212	337	393	210	170	127	0	101	3	80	0	
20	101	5	172	468	210	90	295	40	480	11520	560	690	345	170	332	288	205	165	126	0	100	3	80	0	
21	101	5	176	289	209	56	296	34	525	2475	570	870	344	126	327	413	199	181	125	0	100	2	80	0	
22	100	10	182	138	208	52	300	25	590	815	590	1010	341	99	323	317	195	210	124	0	100	1	80	0	
23	99	91	188	72	208	47	306	24	600	1400	602	618	340	60	319	291	190	120	122	0	99	1	80	5	
24	99	296	191	449	205	45	310	30	596	694	591	449	340	40	315	305	187	83	120	0	98	2	80	30	
25	108	172	195	785	208	42	319	201	594	1006	580	400	340	70	310	510	183	57	120	0	97	2	85	30	
26	110	35	200	270	209	51	345	65	592	2068	564	416	340	70	307	373	178	42	119	6	97	1	85	15	
27	110	15	209	791	216	184	355	40	590	700	552	538	337	33	303	317	175	30	118	12	96	2	84	21	
28	111	9	225	415	221	94	360	25	588	502	540	550	334	26	300	260	171	24	117	68	95	2	84	26	
29	112	6	228	232	221	74	365	15	530	560	330	220	297	243	169	16	116	59	95	2	83	42			
30	111	7	227	183	220	60	362	28	520	570	328	112	295	235	165	15	115	25	94	2	82	98			
31	111	19	219	41	368	152	368	152	507	493	507	493	292	223	292	223	231	155	131	8	103	8	85	10	
ΜΟ	97	28	166	494	210	74	280	113	473	1493	571	738	386	271	329	716	231	155	131	8	103	8	85	10	

ΙΙΝΑΚΑΣ ΧΙ. Ημερήσιες τιμές της παροχής της επιφανειακής απορροής R και της υπόγειας απορροής Ιε (Us) για το έτος 1986-87.																								
Χ	XI		XII		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX			
	Ιε	R	Ιε	R	Ιε	R	Ιε	R	Ιε	R	Ιε	R	Ιε	R	Ιε	R	Ιε	R	Ιε	R	Ιε	R		
1	15	243	46	271	23	262	45	352	168	398	105	638	2612	515	225	268	92	185	85	120	0	112	0	
2	214	5	249	66	270	21	263	89	347	123	420	480	640	2020	510	220	260	120	180	75	119	0	111	0
3	213	5	253	227	270	19	270	159	341	153	440	960	638	582	508	212	248	192	172	73	119	0	110	0
4	213	4	259	1941	269	16	278	124	338	85	430	230	637	728	505	223	241	269	166	124	118	0	110	0
5	212	4	261	480	268	13	277	110	332	73	418	172	635	645	500	350	234	186	160	100	117	0	109	0
6	212	3	265	164	265	14	270	94	330	59	402	128	630	580	498	1722	228	82	134	77	117	0	109	0
7	212	2	270	49	263	15	268	77	327	51	395	90	630	550	520	1080	220	20	147	58	116	0	109	0
8	211	2	274	56	262	12	263	66	322	45	392	58	632	558	560	665	216	9	142	38	116	0	108	0
9	209	1	279	69	261	12	261	49	318	37	385	40	629	641	580	340	214	6	135	25	116	0	108	0
10	208	4	280	80	261	11	260	25	314	32	381	38	625	775	575	195	212	8	133	2	115	0	108	11
11	207	43	282	50	260	11	259	13	310	33	380	37	621	979	571	159	212	88	132	8	115	0	108	34
12	204	76	284	27	261	15	259	212	306	42	378	37	612	988	570	140	210	150	131	49	115	0	109	33
13	201	78	286	12	262	42	259	691	304	56	375	38	605	485	565	135	220	140	130	55	114	0	109	23
14	198	70	286	9	260	8	261	1144	302	1498	372	39	600	620	558	122	211	104	130	40	114	0	109	13
15	195	93	280	10	261	8	274	596	334	9466	370	40	595	465	550	190	208	52	129	16	118	0	109	8
16	193	132	280	10	262	42	291	389	360	730	371	37	590	390	542	348	205	25	129	1	114	44	109	5
17	193	37	280	8	264	119	315	274	390	470	370	36	585	325	535	105	200	10	128	0	115	23	109	3
18	192	36	280	8	263	67	330	195	408	382	371	33	580	310	530	360	198	7	127	0	116	6	110	1
19	193	19	280	9	263	42	338	152	410	294	373	57	575	305	540	270	195	5	126	0	118	1	110	0
20	195	70	279	11	264	90	332	133	410	240	374	106	570	295	550	190	192	13	126	0	117	1	109	1
21	199	45	279	14	263	75	331	104	405	205	379	5821	565	310	555	425	190	45	125	0	117	1	109	4
22	204	23	279	19	262	48	330	80	403	177	390	11610	560	340	520	230	190	80	125	0	117	0	109	9
23	208	14	279	64	263	63	328	67	402	158	420	31080	550	430	470	270	189	46	124	0	116	0	109	13
24	210	18	278	33	263	97	325	55	400	140	450	2850	545	345	430	380	188	82	123	0	115	0	109	19
25	213	31	278	26	264	106	329	61	400	135	485	2085	540	260	385	365	184	46	122	0	114	0	110	26
26	219	81	277	27	263	82	328	111	398	118	510	1800	535	225	356	334	182	23	122	0	114	0	110	35
27	222	307	276	67	263	82	328	55	392	118	518	1552	528	208	337	283	180	55	121	0	114	0	112	25
28	228	334	275	55	262	68	327	102	390	116	560	1340	528	282	318	262	178	212	121	0	113	0	115	53
29	231	240	274	37	261	52	328	650	590	1460	525	355	304	216	185	155	120	0	113	0	113	0	117	73
30	236	44	272	32	261	47	350	670	600	1800	520	260	293	167	189	121	120	0	113	0	112	0	119	81
31	240	29	274	123	263	45	299	236	359	543	431	2140	589	597	485	365	208	81	136	27	116	2	110	16
MO	210	57	274	123	263	45	299	236	359	543	431	2140	589	597	485	365	208	81	136	27	116	2	110	16

- Κατά το 1986-87 η μεταβολή αυτή ήταν $dW = +1.300.000 \text{ m}^3$.

Δηλαδή ουσιαστικά κατά τη διετία 1985-87 είχαμε μία συνολική μεταβολή των αποθεμάτων του υπόγειου νερού κατά $dW = +800.000 \text{ m}^3$ (δηλ. κατά μέσο όρο $dW = 400.000 \text{ m}^3$ ανά έτος) ποσότητα που τελικά προέρχεται από το νερό της κατείδυσης I στην οποία πρέπει να προστεθεί.

ii. Έτσι με όλα όσα υπολογίσθηκαν πιο πάνω η εξίσωση (1) του υδρολογικού ισοζυγίου γίνεται με τη διετία 1985-87:

$$P = I + R + E + dW + dq$$

$$46.184.040 \text{ m}^3 = 8.572.904 \text{ m}^3 + 10.829.146 \text{ m}^3 + 25.781.990 \text{ m}^3 + 400.000 \text{ m}^3 + 600.000 \text{ m}^3$$

$$774,9 \text{ mm} = 143,84 \text{ mm} + 181,70 \text{ mm} + 432,58 \text{ mm} + 6,71 \text{ mm} + 10,07 \text{ mm}$$

Επειδή, όπως σημειώσαμε, ουσιαστικά οι ποσότητες dW και dq είναι ποσότητες που προέρχονται από την κατείδυση I, το πιο πάνω ισοζύγιο γίνεται:

$$P = I + R + E$$

$$46.184.040 \text{ m}^3 = 9.572.904 \text{ m}^3 + 10.829.146 \text{ m}^3 + 25.781.990 \text{ m}^3$$

$$774,9 \text{ mm} = 160,62 \text{ mm} + 181,70 \text{ mm} + 432,58 \text{ mm}$$

$$100\% = 20,73\% + 23,45\% + 55,82\%$$

Με άλλα λόγια στρωγγυλοποιώντας τις πιο πάνω τιμές έχουμε εξατμισοδιαπνοή 56%, επιφανειακή απορροή 23,5% και κατείδυση 20,5%.

5. Παρατηρήσεις πάνω στο υδρολογικό ισοζύγιο

Η ολική απορροή $Q (=I+R)$ είναι 44%. Για τα δεδομένα του ελληνικού χώρου η τιμή αυτή είναι αρκετά υψηλή. Οφείλεται προφανώς στα σχετικά υψηλά κατακρημνίσματα, στη χαμηλή θερμοκρασία και τη μεγάλη μέση κλίση του εδάφους. Η ολική ετήσια απορροή ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου είναι περίπου 342.000 m^3 δηλ. αρκετά μεγάλη. Παραπλήσια αποτελέσματα ίσως θα περιμέναμε από μία αντίστοιχη καρστική περιοχή.

Η ειδική απόδοση (ή αλλιώς ειδική παροχή) που είναι η μέση ετήσια παροχή ανά μονάδα επιφάνειας (1 km^2) είναι $10,85 \text{ l/s.km}^2$ που είναι μία αρκετά μεγάλη τιμή για τα δεδομένα του ελληνικού χώρου.

Η κατείδυση και ως απόλυτη τιμή ($160,6 \text{ mm}$) και ως συντελεστής ($20,5\%$) είναι υψηλή. Αυτό σημαίνει ότι τα μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα που κυρίως εμφανίζονται στη λεκάνη, λόγω εντόνου τεκτονισμού τους, παρουσιάζουν στα επιφανειακά τους τμήματα μεγάλη διηθητικότητα, δηλ. σχετικά μεγάλο συντελεστή περατότητας, κάτι που ως τώρα δεν ήταν γενικά δεκτό.

Αν επιχειρήσουμε να υπολογίσουμε το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης χωριστά για κάθε έτος, τότε θα διαπιστώσουμε ότι στο βροχερότερο έτος αντιστοιχεί μικρότερη ολική απορροή και αντίστροφα, κάτι που δε συμβιβάζεται με τα γνωστά. Αυτό θα πρέπει να αποδοθεί στην κατανομή των κατακρημνισμάτων μέσα σε κάθε ένα από τα δύο αυτά έτη. Αυτό βέβαια δείχνει πόσο μεγάλες αποκλίσεις μπορούν να έχουν οι συντελεστές από έτος σε έτος.

Δ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

1. Εφαρμογή των μεθόδων

Όπως σημειώσαμε, από τις πάρα πολλές εμπειρικές μεθόδους που αναφέρονται στη βιβλιογραφία θα εφαρμόσουμε τις μεθόδους των: TURC, L. (1951), COUTAGNE, E. (1954) και THORNTHWAITE, C.-MATHER, J. (1955) που είναι οι πιο αξιόπιστες και δοκιμασμένες διεθνώς και που για την εφαρμογή τους απαιτούνται στοιχεία διαθέσιμα.

i. Εφαρμογή της μεθόδου του TURC, L. (1951). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται τόσο με την πραγματική μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα T , όσο και με τη διορθωμένη T_{Δ} που παίρνει υπόψη της την ετήσια πορεία της θερμοκρασίας σε σχέση με την κατανομή των κατακρημνισμάτων και

δίνεται από τον τύπο:

$$T_{\Delta} = \frac{T_2 P_1 + T_2 P_2 + \dots + T_{12} P_{12}}{P}$$

όπου T_1, T_2, \dots, T_{12} = οι μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας αέρα, και,

P_1, P_2, \dots, P_{12} = τα αντίστοιχα ύψη μηνιαίων κατακρημνισμάτων.

Η διορθωμένη θερμοκρασία T_{Δ} υπολογίστηκε (με βάση τους πίνακες V, VI και VII) ότι είναι $8,6^{\circ} \text{C}$ για το 1985-86, $8,9^{\circ} \text{C}$ για το 1986-87 και $8,77^{\circ} \text{C}$ για τη διετία 1985-87. Οι αντίστοιχες τιμές ύψους P των ετήσιων κατακρημνισμάτων είναι 857,66 mm, 692,12 mm και 774,89 mm. Με βάση λοιπόν τις τιμές αυτές των P, T και T_{Δ} έγινε υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής E για τη διετία 1985-87 και τα αποτελέσματα (σε παρένθεση ο λόγος της υπολογιζόμενης τιμής της εξατμισοδιαπνοής προς την τιμή που πρόκυψε από μετρήσεις πεδίου, που είναι 432,58 mm):

- Με την πραγματική θερμοκρασία T , πραγματική εξατμισοδιαπνοή $E=504,5$ mm (116,6%).
- Με τη διορθωμένη θερμοκρασία T_{Δ} , πραγματική εξατμισοδιαπνοή $E=457,9$ mm (105,8%).

ii. Εφαρμογή της μεθόδου του COUTAGNE, E. (1954). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται επίσης τόσο με την πραγματική θερμοκρασία T , όσο και με τη διορθωμένη T_{Δ} . Έτσι για τη διετία 1985-87 βρήκαμε τα εξής αποτελέσματα:

- Με την πραγματική θερμοκρασία T , πραγματική εξατμισοδιαπνοή $E=518,3$ mm (119,8%).
- Με τη διορθωμένη θερμοκρασία T_{Δ} , πραγματική εξατμισοδιαπνοή $E=478,8$ mm (110,7%).

iii. Εφαρμογή της μεθόδου των THORNTHWAITTE, C.-MATHER, J. (1955). Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε με βάση τις τιμές μηνιαίων υψών κατακρημνισμάτων και μέσων αντιστοίχων μηνιαίων θερμοκρασιών αέρα που δίνονται στους πίνακες IV και V. Υπάρχει πάντοτε ένα λεπτό πρόβλημα στην εφαρμογή της μεθόδου αυτής: πόση είναι για την εξεταζόμενη περιοχή η Αποθηκευτική Ικανότητα Εδάφους (A.I.E.) σε υγρασία. Είναι προφανές ότι όλα τα εδάφη δεν έχουν την ίδια A.I.E. Και επιπλέον εδώ εμπλέκεται έμμεσα και η διακράτηση νερού βροχής από τη βλάστηση. Οι ίδιοι οι ερευνητές που πρότειναν τη μέθοδο έδωσαν αργότερα πίνακες τιμών για την A.I.E. (THORNTHWAITTE, C.-MATHER, J. (1957)). Όμως το πρόβλημα υπάρχει. Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορες τιμές για την A.I.E. (CASTANY, G. 1967). Επίσης κατά τον CASTANY, G. (1967) έχουν προταθεί για την περιοχή της Λυών (Γαλλίας) τιμές από 84,7 mm έως 125,9 mm. Ο Fischer προτείνει για τη λεκάνη του Weser (Γερμανία) μία τιμή 121 mm, ενώ ο Montmarin προτείνει γενικά τιμές από 235 mm έως 285 mm (CASTANY, G. 1967). Για τις ελληνικές καρστικές περιοχές (SOULIOS, G. 1985) βρέθηκε ότι το ύψος της A.I.E. είναι από 10 mm έως 60 mm, ανάλογα με τη βλάστηση. Βλέπουμε δηλ. ότι ουσιαστικά έχουν προταθεί τιμές από σχεδόν 0 mm μέχρι σχεδόν 300 mm. Εντούτοις είναι προφανές ότι για μία "μέση κατάσταση" από λιθολογία, βλάστηση, θέση υδροφόρου οριζοντα κ.λπ. τιμές της A.I.E. από 80 mm έως 140 mm είναι οι πιο ορθολογικές. Όμως και η απόσταση από 80 mm έως 140 mm είναι σημαντική και εξάλλου η "μέση κατάσταση" δεν είναι ο κανόνας.

Εφαρμόσαμε τη μέθοδο των THORNTHWAITTE, C.-MATHER, J. (1955) για τιμές της A.I.E. από 80 mm έως 160 mm και τα αποτελέσματα που βρέθηκαν είναι τα εξής:

- | | |
|--|-------------------------|
| - Για A.I.E. 80 mm, πραγματική εξατμισοδιαπνοή | $E = 393,4$ mm (90,9%) |
| - " " 100 mm, " " | $E = 413,4$ mm (95,6%) |
| - " " 120 mm, " " | $E = 433,4$ mm (100,2%) |
| - " " 140 mm, " " | $E = 453,4$ mm (104,8%) |
| - " " 160 mm, " " | $E = 473,4$ mm (109,4%) |

2. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των εμπειρικών μεθόδων

i. Η μέθοδος του TURC, L. (1951) έδειξε ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματικότητα-

τα. Ιδιαίτερα μάλιστα όταν εφαρμόζεται με τη διορθωμένη θερμοκρασία T_{Δ} , η προσέγγιση προς την πραγματικότητα είναι αξιοπαρατήρητη. Η εφαρμογή με την πραγματική θερμοκρασία T υπερτιμά την εξατμισοδιαπνοή κάτι που έχει διαπιστωθεί και σε άλλες περιπτώσεις στον ελληνικό χώρο (SOULIOS, G. 1982), ειδικά μάλιστα σε λεκάνες με λίγα κατακρημνίσματα. Αντίθετα σε λεκάνες με υψηλά κατακρημνίσματα ($P > 800$ mm) φαίνεται ότι δεν υπάρχει αυτή η υπερτίμηση (πλην φυσικά καρστικών περιοχών).

ii. Η μέθοδος του COUTAGNE, E. (1954) προσεγγίζει και αυτή ικανοποιητικά την πραγματικότητα όταν εφαρμόζεται με τη διορθωμένη θερμοκρασία T_{Δ} . Πάντως φαίνεται ότι και η μέθοδος αυτή υπερτιμά την πραγματική εξατμισοδιαπνοή όταν εφαρμόζεται με την πραγματική θερμοκρασία T .

iii. Η μέθοδος του THORNTHWAITE, C.-MATHER, J. (1955) προσεγγίζει με αξιοσημείωτο τρόπο την πραγματικότητα, όταν εφαρμόζεται με Α.Ι.Ε. 120 mm για λεκάνες με σημαντική φυτοκάλυψη, όπως η εξεταζόμενη. Φαίνεται ότι σε λεκάνες με μεγάλες μέσες κλίσεις εδάφους και στις οποίες η θέση του υδροφόρου ορίζοντα είναι βαθειά η Α.Ι.Ε. πρέπει να βρίσκεται σε κάποια συνάρτηση με τη φυτοκάλυψη: όσο πιο σημαντική η φυτοκάλυψη, τόσο πιο μεγάλη η τιμή της (ενδεχόμενα μέχρι 140-150 mm) και αντίστροφα. Βέβαια για λεκάνες πεδινές (με μικρή κλίση εδάφους) και με υδροφόρο ορίζοντα κοντά στην επιφάνεια, η τιμή της Α.Ι.Ε. πρέπει να καθορίζεται με διαφορετικά κριτήρια, όπως επίσης και σε λεκάνες καρστικές, όπου η τιμή της είναι γενικά χαμηλή (SOULIOS, G 1985).

Ε. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

i. Γίνεται πρόταση κατάταξης των λεκανών του ελληνικού χώρου σε 48 κατηγορίες με βάση τη γεωλογική σύσταση και ειδικά το συντελεστή περατότητας (K), το μέσο ύψος των ετησίων κατακρημνισμάτων (P), τη μέση κλίση του εδάφους (S), τη μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας αέρα (T) και το βαθμό φυτοκάλυψης (V). Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρατέθηκαν η λεκάνη του Σκλήθρου Φλώρινας ανήκει στην κατηγορία $K_1P_2S_2T_1V_2$ και εξετάζεται ως αντιπροσωπευτική αυτής της κατηγορίας.

ii. Με βάση τους βροχομετρικούς σταθμούς που εγκαταστάθηκαν κατά τη διετία 1985-87 η λεκάνη δέχθηκε μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων 774,89 mm ($46,18 \cdot 10^6$ m³).

*Από μετρήσεις παροχής και τις καθημερινές παρατηρήσεις στάθμης έγινε το υδρογράμμα της λεκάνης, το οποίο αναλύθηκε σε υδρογράμμα υπόγειας και επιφανειακής απορροής. Παίρνοντας υπόψη και τη μεταβολή των αποθεμάτων και την επέμβαση του ανθρώπου δώσαμε την εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου, σύμφωνα με την οποία έχουμε:

- Εξατμισοδιαπνοή $E = 432,58$ mm ($25,8 \cdot 10^6$ m³) δηλ. 55,8%
- Επιφανειακή απορροή $R = 181,7$ mm ($108 \cdot 10^6$ m³) δηλ. 23,5% και
- Κατείδουση $I = 160,62$ mm ($9,6 \cdot 10^6$ m³) δηλ. 20,7%.

Προκύπτει έτσι ότι ο συντελεστής ολικής απορροής Q είναι 44% και η ειδική παροχή (ειδική απόδοση) της λεκάνης 10,85 l/s.km². Η κατείδουση (στην οποία βέβαια συμπεριλαμβάνεται και η διήθηση από τις κοίτες των ρευμάτων νερού) είναι το 88,4% της επιφανειακής απορροής. Οι πιο πάνω τιμές της κατείδουσης, της ολικής είναι υψηλότερες από αυτές που θα περιέμενε κάποιος για λεκάνες αυτής της κατηγορίας.

iii. Γίνεται εφαρμογή των εμπειρικών μεθόδων του TURC, του COUTAGNE και των THORNTHWAITE-MATHER. Φαίνεται ότι οι δύο πρώτες μέθοδοι υπερτιμούν την εξατμισοδιαπνοή (μέχρι 20% περίπου) όταν εφαρμόζονται με την πραγματική τιμή T της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αέρα. Όταν όμως εφαρμόζονται με τη διορθωμένη T_{Δ} που παίρνει υπόψη της την

κατανομή των κατακρημνισμάτων μέσα στο έτος (βροχομετρικό σύστημα) σε σχέση με την ετήσια πορεία της θερμοκρασίας αέρα, τότε τα αποτελέσματα που προκύπτουν προσεγγίζουν εκπληκτικά αυτά που πρόκυψαν από μετρήσεις πεδίου. Όσον αφορά την τρίτη μέθοδο (των THORNTHWAITE-MATHER) αυτή εφαρμοζόμενη σε λεκάνες ίδιας κατηγορίας με την εξεταζόμενη, δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν χρησιμοποιείται τιμή αποθηκευτικής ικανότητας εδάφους ίση με 120 mm (Σημειώνουμε πάντως ότι με την εφαρμογή των μεθόδων αυτών για κάθε ένα έτος χωριστά πρόκυψαν σημαντικές αποκλίσεις ως προς τα αποτελέσματα των μετρήσεων πεδίου).

Η χρήση αυτών των μεθόδων με αυτόν τον τρόπο εφαρμογής, όπως και οι απόλυτες τιμές και οι συντελεστές των υδρολογικών παραμέτρων που υπολογίστηκαν δίνουν ένα ισχυρό όπλο για την εκτίμηση και τη διαχείριση του υδάτινου δυναμικού λεκανών της ίδιας κατηγορίας ($K_1 P_2 S_2 T_1 V_2$) που καλύπτουν σημαντικά τμήματα του ελληνικού χώρου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ACCORDI, B.-e.a. (1969). "Idrogeologia dell' alto bacina del Liri (Appennino centrale)". - *Geologica Romana*, Vol. VIII, pp. 177-559.
- BALEC, J. (1982). "Case study on the extension of the data from the representative catchments in the basins of the Lakes Victoria, Kyoga and Mobutu Sese Seko". - UNESCO, *Studies and reports in Hydrology*, no 32, p. 253-271.
- BAEZES, C. (1976). "Contribution a la modelisation des systemes aquiferes karstiques". - *Memoires du C.E.R.G.H. t. X, fasc. I-II*, p. 1-135, Montpellier.
- BLANEY, H., CRIDDLE, W. (1950). "Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data". - U.S.D.A. soil Conservation Service, Tech. Paper 96.
- BODY, N. (1982). "Introduction to L' Application to Development and Management". - *Studies and reports in Hydrology*, no 32, p. 405-407.
- GARCZINSKY, F. (1980). "Influence des taux de boisement sur le regime hydrologique dans trois regions des U.S.A. (correlation multiple)". - C.R. Intern. Symp. on the influence of Man on the hydrological regime. UNESCO and I.A.H.S., Helsinki, 14 p.
- GIRARD, G. (1975). "Modeles mathematiques pour l' evaluation des lames ecoulees en zone sahelienne et leurs contraintes". - *Cahiers ORSTOM, serie Hydrologie*, Vol. XII, no 3, Paris.
- GREEN, A.M. (1982). "Computation of river runoff from small watersheds using data from experimental studies of the water balance of the related ecological systems". - UNESCO, *studies and reports*, no 32, p. 307-317.
- DAVIS, S., DE WIEST, R. (1967). "Hydrogeology". - John Wiley & Sons, Inc. N. York, 463 p.
- DEGALIER, R. (1972). "Un modele de simulation des ecoulements superficiels et souterrains: le modele SIMERO". - *Bull. du B.R.G.M., ser. III*, no 3, p. 23-42 (Orlean, France).
- DITTRICH, I., GOLF, W., HANSEL, H. (1982). "Detailed water balance investigations in a experimental basin and possibilities of generalization". - UNESCO, *Studies and reports in Hydrology*, no 32, p. 105-118.
- DROGE, C., GUIBOT, A. (1982). "Results of studies carried out o the reference basin of Saugras". - UNESCO, *Studies and reports in Hydrology*, no 32, p. 205-223.
- DUB, O. (1965). "Experimental and representative basins in Czechoslovakia". - I.A.S.H. Vol. 1, pp. 131-135 (Publ. no 66).
- EICHERT, B. (1982). "Methods of hydrological computations for water projects". - UNESCO, Paris, p. 1-122.
- ENDERLEIN, R., GLUGLA, G., EYRICH, A. (1982). "Grid method for calculation groundwater recharge from geographical and climatological characteristics". - UNESCO, *Studies and reports in Hydrology*, no 32, p. 163-176.
- JAUFFRET, D. (1984). "Geologie des bassins versants et regime de tarissement et d' etiage des cours

- d' eau de Basse-Normandie; application a une evaluation des ressources en eau souterraine (massif armoricain et bassin parisien)". - These de doctorat de specialite, Univer. d' Orleans, 280 p.
- JENSEN, M., HAISE, H. (1963). "Estimating evapotranspiration from solar radiation". - Amer. Soc. Civ. Eng. V. 89, (IR 4), p. 15-41, New York.
- HORTON, R. (1945). "Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology". - Geol. Soc. Amer. Bull. Vol. 56, pp. 275-370.
- HIRSCH, F. (1965). "Application de la morphometrie a l' Hydrologie". - Revue Geomorph. Dynam. T. 15, no 11, pp. 172-175.
- KALLERGIS, G. (1981). "Contribution a l' evaluation experimentale de l' infiltration efficace. Station lysimetrique de Paleomonasteron (Thessalie, Grece centrale)". - Hydrog. et Geol. Ing. 2eme serie, section III, no 3, p. 253-256.
- CALVO, J. (1986). "An evaluation of Thornthwaite's water balance technique in prediction stream runoff in Costa Rica". - Journal of Hydrological Sciences, Vol. 31, no 1, p. 51-60.
- CAPPUS, P. (1951). "Etudes des pertes d' eau par evapotranspiration a l' echelle mensuelle". - La Houille blanche, 3 journees de l' hydraulique de la Soc. Hydrot. de France, pp. 133-135.
- CASTANY, G. (1967). "Traite pratique des eaux souterraines". - Dunond, Paris, pp. 1-645.
- KESSLER, H. (1965). "Water balance investigation in the karstic region of Hungary". - Proceeding of the Dubrovnik symposium, A.I.H.S., "Hydrology of fractured rocks", t. I. P. 91-105.
- CHOW, V.T. (1964). "Handbook of Applied Hydrology". - McGRAW-HILL BOOK COMPANY, N. York, 1000 p.
- COSANDEY, C.H. (1983). "Recherches sur les bilans de l' eau dans l' ouest du massif armoricain". - These de doctorat d' etat, Universite de Paris-Sorbonne, 515 p.
- COUTAGNE, A. (1954). "Etude de quelques correlations hydrometeorologiques regionales et leur interpretation algebrique". - La Houille blanche, 3 journees de l' hydraulique de la Societe hydrotechnique de France, Paris, pp. 220-226.
- ΚΩΤΟΥΛΑΣ, Δ. (1982). "Μαθήματα Γενικής Υδρολογίας". - Παν/μιο Θεσσαλονίκης, σελ. 1-318.
- ΜΠΑΛΛΑΦΟΥΤΗΣ, Χ. (1977). "Συμβολή εις την μελέτην του κλίματος της Μακεδονίας και Δυτικής Θράκης". - Διατριβή, Παν/μιο Θεσσαλονίκης, σελ. 1-121.
- MARTINEC, J. (1982).: "A snoumelt-runoff model for computing the daily discharge from temperature data". - UNESCO, Studies and reports in Hydrology, no 32, p. 81-102.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1983). "Η γεωλογική δομή της βόρειας πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των εσωτερικών ελληνίδων". - Πραγματεία για υφηγεσία, Παν/μιο Θεσσαλονίκης, 289 σελ.
- MUMEKA, A. (1986). "Effect of deforestation and subsistence agriculture on the runoff of the Kafue River, headwaters Zambia". - Journal of hydrological Sciences, Vol. 31, no 4, p. 543-554.
- NASH, J.E. (1958). "Determining runoff from rainfall". - Proc. Inst. Civ. Eng., Vol. 10, pp. 163-184.
- NATERMAN, E. (1951). "Die Linie des landfristigen Grundwassere (Auz) und die Trockenwetterabflusslinie (TWL)". - Die Wasserwirtschaft, (Sonder H.).
- NOIRFALISE, A. (1962). "Influence de quelques types de forets sur le bilan des eaux d' infiltration". - La Technique de l' eau et l' assainissement, tome 186, p. 17-20.
- PAPADAKIS, J. (1961). "Climatic tables for the world". - Buenos Aires (edited by the author), 160 p.
- PENMAN, H. (1956). "Estimating evaporation". - Trans. Am. Geoph. Union, t. 39, no 1, pp. 19-56.
- RAMBAL, S. (1987). "Evolution de l' occupation des terres et ressources en eau en region mediterraneenne karstique". - Journal of Hydrology, vol. 93, no 3-4, p. 339-357.
- IER, J.A. (1982): "Estimation of ten year flood for basins smaller than 200 km² in west and central Africa". - UNESCO, Studies and report in Hydrology, no 32, p. 131-150.
- RODIER, J.A. (1982). "Estimation of the runoff of small basins of Sahelian and Subano-Sahelian areas of Africa". - UNESCO, Studies and reports in Hydrology, no 322, p. 57-79.
- ROCHE, M. (1963). "Hydrologie de surface". - Gauthier-Villars, Paris, 357 p.

- ROCHE, M. (1970). "Le divers types des modeles deterministes". - Cahiers ORSTOM, Serie Hydrologie, Vol. VII, no 4, p. 39-66, Paris.
- SAMBASIVA RAO, A. (1987). "Interception losses of rainfall from cashew trees". - Journal of Hydrology, Vol. 90, no 3-4, p. 293-301.
- SCHULZ, H.D. (1972). "Grundwasserneubildung berechnet aus der Chlorida-Bilanz". - Geol. Mitt. 12, s. 53-60 Aachen.
- SERRA, L. (1954). "Le controle hydrologique d' un bassin versant". - Ass. Int. Hydr. Sc. Assemblee Gen., Rome, Pub. T. 38, pp. 249-357.
- SOULIOS, G. (1982). "Contribution a l' etude hydrogeologique des bassins versants d' apres l' exemple du bassin de Xynias (Grece meridionale)". - Geologie Mediteranneenne, Tome IX, no 2, pp. 139-145.
- SOULIOS, G. (1985). "Infiltration efficace dans le karst hellenique". - Journal of Hydrology, vol. 75, pp. 343-356.
- STRAHLER, A. (1968): "Physical Geography". - Columbia University, pp. 465-500.
- SUTCLIFFE, J.V., AGRAWAL, R.P., TUCKER, J.M. (1981): "The water balance of the Betwa basin, India". - Hydrol. Sci. Bull., Vol. 26, no 2, p. 149-158.
- SUTCLIFFE, J.V., GREEN, C.S. (1986). "Water balance investigation of recherche in Madhya Pradesh, India". - Journal of Hydrological Sciences, Vol. 31, no 3, pp. 383-394.
- SZESZTAY, K. (1965). "On principles of establishing hydrological representative an experimental area". - I.A.S.H., Vol. 1, pp. 64-74 (pub. No 66).
- THIESSEN, A.H. (1911). "Precipitation for large areas". - Monthly Weather Rev., Vol. 39, no 1, p. 1-37.
- THORNTHWAITE, C., MATHER, J. (1955). "The water balance" .- Climatology, Vol. VIII, no 1, p. 1-37.
- THORNTHWAITE, C., MATHER, J. (1957). "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance". - Publication in Climatology, Vol. 10, no 3, New Jersey.
- TOEBES, C., OURYVAEV, V. (1970). "Les bassins representatifs et experimentaux". - Etudes et rapports d' Hydrologie, no 4, editions UNESCO, Paris, 380 p.
- TURC, L. (1951). "Nouvelle formule pour le bilan de l' eau en fonction des valeurs moyennes annuelles des precipitations et de la temperature". - C.R. Ac. Sc. Paris, Vol. 233, pp. 633-635.
- FLASCHKA, I., STOCKTON, C.W., BOGGESS, W.R. (1987). "Climatic variation and surface water resources in the Great Basin Region". - Water Resources Bulletin, Vol. 23, no 1, p. 47-58.
- FOROUD, N., BROUGHTON, R.S. (1981). "Water loss equations and coefficients to estimate runoff from rainfall". - Water resource bulletin, Vol. 17, no 3, p. 387-393.
- WILSON, E. (1977). "Υδρολογία (Μετάφραση Η. Βασιλόπουλος)". - Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα, σελ. 1-269.
- WRIGHT, C.E. (1980). "Surface water and groundwater interaction". - UNESCO, Studies and report in Hydrology, no 29, p. 1-123.