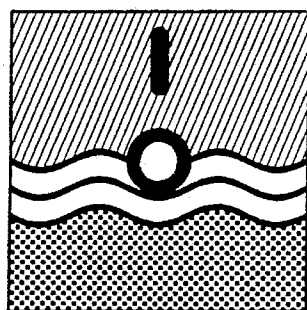


ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ STRIDE ΕΛΛΑΣ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΘΝΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ



HYDROSCOPE

STRIDE HELLAS PROGRAMME

DEVELOPMENT OF A NATIONAL
DATA BANK FOR HYDROLOGICAL
AND METEOROLOGICAL
INFORMATION

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
FACULTY OF TECHNOLOGY
DIVISION OF HYDRAULICS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

ΓΕΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Επιλογή των δευτερογενών παραμέτρων και
καθορισμός του τρόπου υπολογισμού
δευτερογενών δεδομένων

GENERAL PLANNING OF GROUNDWATER HYDROLOGY AND HYDROGEOLOGY

Selection of derivative parameters and
determination of methods for derivative data
generation.

*Π. Τολίκας, Ε. Σιδηρόπουλος,
Κ. Κατσιφάρακης, Ν. Θεοδοσίου*

*P. Tolkas, E. Sidiropoulos,
K. Katsifarakis, N. Theodossiou*

Αριθμός τεύχους 2/8
Report number

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1992
THESSALONIKI - OCTOBER 1992

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη Abstract	Σελίδα
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.	1
2. ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	3
2.1 Το μαθηματικό μοντέλο	3
2.2 Λογισμικό	6
3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	9
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	10
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	11

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το τεύχος αυτό αναφέρεται στο τρίτο στάδιο του προγράμματος ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ, δηλαδή στο Γενικό Σχεδιασμό της Υπόγειας Υδρολογίας-Υδρογεωλογίας. Αποτελεί την τελική έκθεση της τέταρτης εργασίας του σταδίου αυτού με τίτλο "Επιλογή των δευτερογενών παραμέτρων και καθορισμός του τρόπου υπολογισμού δευτερογενών δεδομένων".

ABSTRACT

This issue refers to the third stage of the project HYDROSCOPE, namely to the General Planning of Groundwater Hydrology and Hydrogeology. It constitutes the final report for the fourth task of the stage, i.e. "Selection of derivative parameters and determination of methods for derivative data generation".

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δύο έννοιες που σχετίζονται άμεσα με την παρούσα και την επόμενη εργασία του ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ, αυτές δηλαδή του δευτερογενούς δεδομένου και του επεξεργασμένου δεδομένου, έχουν ανάγκη άμεσης διευκρίνησης. Και ενώ για θέματα επιφανειακής υδρολογίας η διάκρισή τους είναι σχετικά εύκολη, για την περίπτωση της Υπόγειας Υδρολογίας υπάρχει διάσταση απόψεων.

Σύμφωνα με τον Finch για παράδειγμα (Finch J. et al, 1988) δευτερογενή δεδομένα δεν χρησιμοποιούνται σε θέματα Υπόγειας Υδρολογίας αλλά μάλλον υπάρχει η απαίτηση για την παραγωγή ή παρουσίαση με ποικίλους τρόπους των πρωτογενών δεδομένων. Είναι φανερό ότι η παρατήρηση αυτή υπαινίσσεται την απουσία των δευτερογενών δεδομένων και την ύπαρξη μόνο πρωτογενών και επεξεργασμένων δεδομένων. Η υιοθέτηση μιας τέτοιας άποψης, κατά την γνώμη μας, μάλλον περιπλέκει τα πράγματα παρά τα απλοποιεί, γιατί τότε ένας χάρτης ισοϋψών στάθμης θα έπρεπε να θεωρείται επεξεργασμένη πληροφορία. Αλλά, όπως είναι γνωστό, για την κατασκευή των ισοϋψών χρησιμοποιούνται και άλλα στοιχεία (στοιχεία που δημιουργούνται κατά την πύκνωση του δικτύου) πράγμα που συνηγορεί για την αδυναμία ένταξης του χάρτη στην κατηγορία της επεξεργασμένης πληροφορίας.

Αντίθετη με αυτή του Finch (Finch, 1988) είναι η άποψη που διατυπώνεται στο βιβλίο *Groundwater in Civil Engineering* (Rethati L., 1983). Σύμφωνα με το συγγραφέα, ο υπολογισμός της αναμενόμενης μελλοντικής maximum και minimum υπόγειας στάθμης και η συχνότητα εμφάνισής τους αποτελούν δύο δεδομένα που μπορούν να προσδιοριστούν με στοχαστική ανάλυση των υπαρχόντων πρωτογενών δεδομένων. Είναι φανερό ότι οι προαναφερθείσες ακραίες τιμές στάθμης αποτελούν δευτερογενή δεδομένα.

Θα μπορούσε κανείς να μακρηγορήσει πάνω στο θέμα αυτό με την παράθεση επιχειρημάτων και αντεπιχειρημάτων, παραδειγμάτων και αντιπαραδειγμάτων, χωρίς όμως να προσφέρει κατά την γνώμη μας τίποτε το ουσιαστικό. Αντ' αυτού προτιμήθηκε η παράθεση των δικών μας απόψεων να γίνει χωρίς μακρηγορίες επιβεβαίωσης της ορθότητάς τους, αλλά με γνώμονα η προτεινόμενη κατηγοριοποίηση δεδομένων να διευκολύνει τη δημιουργία και λειτουργία της τράπεζας.

Έτσι δευτερογενές δεδομένο θα ονομάζεται κάθε στοιχείο που προκύπτει δια μέσου ενός μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει ένα φυσικό υδρογεωλογικό πρόβλημα και στηρίζεται στα αντίστοιχα πρωτογενή στοιχεία, ενώ επεξεργασμένη πληροφορία θα ονομάζεται η ομαλοποιημένη, ομογενοποιημένη και εποπτική παρουσίαση πρωτογενών δεδομένων. Βέβαια ο ορισμός αυτός, όπως και κάθε ορισμός, έχει τις αδυναμίες του, πλην όμως αποτελεί έναν απλό κανόνα διαχωρισμού δευτερογενούς και επεξεργασμένης πληροφορίας.

Ενδεικτικά αναφέρονται τα ακόλουθα παραδείγματα επεξεργασμένης πληροφορίας. Υδρογράφημα που παριστά τη διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού για ορισμένη χρονική

περίοδο σε σύγκριση με τη maximum, minimum και μέση στάθμη που παρατηρήθηκε για όλη την περίοδο που υπάρχουν στοιχεία. Ποικίλοι τρόποι απεικόνισης της λιθολογικής τομής. Ιστόγραμμα που παρουσιάζει τις γεωτρήσεις μιας περιοχής ή μιας λεκάνης ανάλογα με την αντλούμενη παροχή. Ιστόγραμμα που παρουσιάζει γεωτρήσεις που ανήκουν στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό συναρτήσει της παροχής τους. Καμπύλη διακύμανσης περιεκτικότητας στοιχείου ή χημικής ένωσης σε σχέση με παρατηρηθείσες maximum ή minimum ή μέσες τιμές.

Ενδεικτικά παραδείγματα δευτερογενών δεδομένων είναι οι εκτιμήσεις του υδραυλικού φορτίου σε διάφορες θέσεις με γνωστές μεθόδους παρεμβολής και κατά συνέπεια η παρουσίαση χάρτου ισοϋψών στάθμης. Στοιχεία που προκύπτουν από μοντέλα μελέτης του υδροφορέα, όπως η εκτίμηση των θέσεων και του είδους των ορίων του. Εκτιμήσεις της maximum και minimum μελλοντικής στάθμης και της συχνότητας επανεμφάνισής της. Στοιχεία που προκύπτουν από τη μελέτη διάδοσης ρυπογόνων ουσιών και κατά συνέπεια γνώση των βεβαρυμένων ή μη περιοχών του υδροφορέα.

Η παράθεση παραδειγμάτων τόσο επεξεργασμένων δεδομένων όσο και δευτερογενών θα μπορούσε να συνεχιστεί επί μακρόν, μια και τόσο οι τρόποι παρουσίασης ή απεικόνισης όσο και η προσφυγή σε μοντέλα (αρχίζοντας από τα απλούστερα ως τα συνθετότερα) δεν έχουν σχεδόν κανένα περιορισμό.

Στο σχεδιασμό όμως και την υλοποίηση μιας βάσης υδρογεωλογικών δεδομένων είναι υποχρεωτικό να γίνουν συγκεκριμένες περιορισμένες επιλογές από το τεράστιο πλήθος των πιθανών δυνατοτήτων. Προκύπτει λοιπόν ένας ανάλογος προβληματισμός με αυτόν που αναπτύχθηκε σε προηγούμενη εργασία του ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ και αφορούσε τον καθορισμό του τρόπου καταχώρησης πρωτογενών δεδομένων (Ομάδα ΠΣΑΠΘ / ΤΥΤΠ, Έκθεση, 1992). Δηλαδή η αμφίδρομη σχέση που υπάρχει ανάμεσα σε μη αυστηρά προδιαγεγραμμένους στόχους και στην επιλογή των δεδομένων.

Στην παρούσα εργασία, που αντικείμενό της έχει τον καθορισμό των δευτερογενών υδρογεωλογικών δεδομένων και του τρόπου υπολογισμού των, το διέξοδο από τον προαναφερθέντα προβληματισμό ακολούθησε μια παρόμοια πορεία μ' αυτήν της επιλογής των πρωτογενών δεδομένων. Η διεθνής εμπειρία, η Ελληνική πραγματικότητα και οι απόψεις των φορέων χρηστών της τράπεζας απετέλεσαν τους βασικούς άξονες καθορισμού των επιλογών. Σ' αυτούς βέβαια προστέθηκε και η ιδιαιτερότητα της χρήσης μαθηματικών μοντέλων για τον υπολογισμό δευτερογενών δεδομένων, ιδιαιτερότητα που αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσης εργασίας.

Τέλος στην εργασία αυτή αναπτύσσεται και το θέμα της επιλογής των δευτερογενών παραμέτρων, θέμα όμως που από τη φύση του είναι περιορισμένο σε σχέση με αυτό των δευτερογενών δεδομένων.

2. ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε στην εισαγωγή αυτής της εργασίας για την έννοια του δευτερογενούς δεδομένου, είναι φανερό ότι η έννοια αυτή είναι συνυφασμένη με αυτήν του μαθηματικού μοντέλου.

Το ακόλουθο παράδειγμα χαρακτηριστικό για την απλότητά του είναι διαφωτιστικό πολλών από τις πλευρές του προβλήματος. Ας θεωρήσουμε έναν ιδεατό υδροφορέα εκτεινόμενο στο άπειρο στο κέντρο του οποίου υπάρχει τέλειο πηγάδι (ο πυθμένας του βρίσκεται στο κάτω αδιαπέρατο στρώμα του υδροφορέα) και από το οποίο αντλείται μια σταθερή παροχή. Ας θεωρήσουμε επίσης μια χρονοσειρά για την πτώση στάθμης που μετρείται σε κάποια απόσταση από το πηγάδι και αντιπροσωπεύει για το συγκεκριμένο πρόβλημα τα πρωτογενή δεδομένα. Είναι γνωστό ότι η ροή του υπόγειου νερού προς το πηγάδι περιγράφεται από την εξίσωση του Theis (μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης του φυσικού φαινομένου). Είναι επίσης γνωστό ότι με μία από τις μεθόδους της βιβλιογραφίας (γραφικές ή ελαχίστων τετραγώνων) είναι δυνατός ο υπολογισμός των υδρογεωλογικών παραμέτρων T (μεταφορικότητα) και S (αποθηκευτικότητα ή συντελεστής αποθήκευσης) που αποτελούν δευτερογενείς παραμέτρους που προκύπτουν από την επίλυση του αντίστροφου προβλήματος. Τέλος μετά τον υπολογισμό των T και S είναι δυνατός ο υπολογισμός της ιδεατής στάθμης (ευθύ πρόβλημα) σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή θέση του ιδεατού υδροφορέα (δημιουργία δευτερογενών δεδομένων). Το παράδειγμα αυτό, έστω και μικρής πρακτικής σημασίας, εισάγει δύο έννοιες χαρακτηριστικές των μοντέλων του ευθέους και του αντιστρόφου προβλήματος. Οι τιμές των υδρογεωλογικών παραμέτρων T , S ενώ στην ουσία αποτελούν δευτερογενείς παραμέτρους (προκύπτουν από την αντίστροφη επίλυση του μοντέλου), στην πράξη (μια και καταχωρούνται στο έντυπο των πρωτογενών στοιχείων της γεώτρησης, μετά την εκτέλεση των δοκιμαστικών αντλήσεων) θεωρούνται σαν πρωτογενή στοιχεία που χαρακτηρίζουν ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου (χωρικά πρωτογενή στοιχεία). Τέλος οι πιθανοί υπολογισμοί τιμών στάθμης σε θέσεις του υδροφορέα (με βάση το προαναφερθέν παράδειγμα), ενώ στην ουσία αποτελούν δευτερογενή δεδομένα, στην πραγματικότητα δεν καταγράφονται πουθενά, τόσο γιατί ο υπολογισμός τους είναι απλούστερος της καταγραφής όσο και γιατί οι απλουστευτικές παραδοχές του μοντέλου μειώνουν στο ελάχιστο την όποια πρακτική τους αξία.

2.1 Το μαθηματικό μοντέλο

Για την κατασκευή ενός μαθηματικού μοντέλου που προσομοιώνει τα φυσικά φαινόμενα σ' ένα σύστημα υπόγειων νερών πρέπει αρχικά να καθοριστούν, όσο πιο σωστά γίνεται, οι γεωλογικές του ενότητες και οι υδρογεωλογικές παράμετροι του πεδίου που μελετάται. Κατόπιν πρέπει να προσδιορισθούν οι φυσικές διεργασίες, που σχετίζονται με τα υπ' όψη φαινόμενα, και οι φυσικοί νόμοι που τα διέπουν.

Οι φυσικοί αυτοί νόμοι μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: α) καταστατικοί νόμοι (σχέση του Darcy, νόμος του Fick), β) νόμοι διατήρησης της μάζας των ρευστών, των ρύπων και της θερμικής ενέργειας και γ) νόμοι ισορροπίας δυνάμεων. Οι παραπάνω νόμοι μπορούν να εκφραστούν μαθηματικά με τη μορφή εξισώσεων που συνήθως είναι διαφορικές εξισώσεις με μερικές παραγώγους.

Το μαθηματικό μοντέλο του συστήματος καθορίζεται όταν περιγραφούν οι φυσικοί νόμοι που το διέπουν με τις κατάλληλες διαφορικές εξισώσεις παράλληλα με την περιγραφή της υδρογεωλογίας και τον καθορισμό των ορίων και των οριακών συνθηκών. Για την αριθμητική επίλυση των διαφορικών εξισώσεων το σύστημα (πεδίο) διακριτοποιείται και οι εξισώσεις προσεγγίζονται με αλγεβρικές εξισώσεις σ' ένα πεπερασμένο αριθμό σημείων του πεδίου. Η αριθμητική λοιπόν λύση του μαθηματικού προβλήματος αφορά την επίλυση των αλγεβρικών αυτών εξισώσεων, που για πρακτικά προβλήματα είναι συνήθως αρκετές χιλιάδες. Η όλη διαδικασία επίλυσης σχηματοποιείται μ' έναν αριθμητικό κώδικα ή, όπως πιο απλά λέγεται, ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, που συνήθως χαρακτηρίζεται -εσφαλμένα- σαν αριθμητικό μοντέλο. Το πραγματικό αριθμητικό μοντέλο είναι αυτό που ήδη περιγράφηκε, δηλαδή η αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος και των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα σ' αυτό με τις αριθμητικές (αλγεβρικές) σχέσεις που το προσεγγίζουν και που η αξιοπιστία του εξαρτάται κυρίως από τον αρχικό καθορισμό του μαθηματικού μοντέλου.

Πριν να εφαρμοσθεί οποιοδήποτε αριθμητικό μοντέλο σε κάποιο πρακτικό πρόβλημα πρέπει να αξιολογηθεί όσον αφορά τα αριθμητικά σφάλματα που εμφανίζει και που μπορεί να προέρχονται τόσο από την επίλυση του συστήματος των αλγεβρικών εξισώσεων όσο και από τα σφάλματα στον αριθμητικό κώδικα. Η διαδικασία αυτή συνήθως γίνεται συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του αριθμητικού μοντέλου με τα αντίστοιχα αποτελέσματα μιας αναλυτικής λύσης για απλές περιπτώσεις προβλημάτων. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του αριθμητικού μοντέλου είναι τόσο μεγαλύτερη όσο τα αριθμητικά σφάλματα που διαπιστώνονται τείνουν σε πολύ μικρούς αριθμούς ή, όπως λέγεται, ελαχιστοποιούνται.

Σε μια δεύτερη φάση, πριν από την εφαρμογή του, το αριθμητικό μοντέλο πρέπει να ελεγχθεί αν πράγματι προσομοιώνει τα φυσικά φαινόμενα τα οποία υποτίθεται ότι αναπαράγει. Αυτή η διαδικασία ελέγχου υλοποιείται συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου με αντίστοιχες μετρήσεις στο εργαστήριο ή στο πεδίο. Στη φάση αυτή δεν επιδιώκεται η απόλυτη συμφωνία στα αποτελέσματα, θα πρέπει όμως να αποδεικνύεται ότι οι φυσικές, χημικές και βιοχημικές διαδικασίες παριστάνονται ορθά από το μοντέλο. Επειδή αποκλίσεις μεταξύ μετρήσεων και αριθμητικών αποτελεσμάτων παρουσιάζονται σχεδόν πάντα εξαιτίας ελλειπών δεδομένων πεδίου ή σφαλμάτων μετρήσεων, η διαδικασία ολοκληρώνεται με τη λεγόμενη ρύθμιση του μοντέλου. Η σύγχρονη αντίληψη για τη ρύθμιση των αριθμητικών μοντέλων επικεντρώνεται στην αυτοματοποιημένη τροποποίηση και προσαρμογή των τιμών των φυσικών παραμέτρων με διάφορες μεθόδους που συνιστούν το λεγόμενο πρόβλημα ταυτοποίησης των παραμέτρων ή αντίστροφο πρόβλημα.

Η τελευταία φάση (ευθύ πρόβλημα) είναι η φάση εφαρμογής του μοντέλου όπου στόχος είναι η προσομοίωση των φαινομένων ενός πραγματικού συστήματος και ειδικότερα η διερεύνηση και πρόγνωση συνήθως των πιο δυσμενών καταστάσεών του, καθώς η συλλογή δευτερογενούς πληροφορίας καθοριζόμενης από τους στόχους του μοντέλου και τις απαιτήσεις του χρήστη.

Από την προηγηθείσα σκιαγράφηση της έννοιας του μαθηματικού μοντέλου, προκύπτει ότι η παραγωγή της δευτερογενούς πληροφορίας απορρέει σα συνέπεια της επίλυσης του ευθέως, του αντιστρόφου ή συνδυασμού των δύο προβλήματος.

Τέλος, η θεωρητική αντιμετώπιση του αντιστρόφου προβλήματος, που είναι ταυτόσημη με την εκτίμηση ή αναγνώριση τιμών παραμέτρων του προβλήματος, αποτελεί σε παγκόσμια κλίμακα ερευνητικό αντικείμενο αιχμής των τελευταίων χρόνων. Ειδικά για θέματα υπόγειων ροών, η ανάγκη απόκτησης δευτερογενούς πληροφορίας δημιουργεί τις ακόλουθες κατηγορίες αντιστρόφων προβλημάτων που χαρακτηρίζονται από το είδος της υπό αναζήτηση πληροφορίας: α) Παράμετροι Υδροφορέα (T, S) β) Αρχικές συνθήκες ροής γ) Οριακές συνθήκες ροής δ) Δεδομένα εισόδου ε) Συνδυασμός των ανωτέρω.

Η σχετική με το υδρογεωλογικό μαθηματικό μοντέλο βιβλιογραφία, εκτεινόμενη από την αυστηρή μαθηματική θεμελίωση μέχρι την τεχνική αριθμητικής ανάλυσης και από επιμέρους συγκεκριμένα προβλήματα μέχρι τη συνολική θεώρηση υδραυλικής λειτουργίας του υδροφορέα, είναι τεράστια. Ενδεικτικά παρατίθενται οι εργασίες των (Emsellem Y. et al. , 1971), (Λατινόπουλος Π. , 1982), (Chiang C.Y. et al. , 1989), (Haimes Y.Y. et al. , 1991).

Ζητήματα που αναφέρονται σε πτυχές μόνο της προαναφερθείσης γενικής θεώρησης προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα δημιουργίας χρήσιμων δευτερογενών δεδομένων. Για παράδειγμα γίνεται αναφορά στο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο υδρογεωλόγος που θέλει να σχεδιάσει τις ισοϋψείς στάθμης σε έναν υδροφορέα ή τις καμπύλες κατανομής του συντελεστή μεταφορικότητας. Συνήθως οι πρωτογενείς πληροφορίες, που έχει στη διάθεσή του, αφορούν σημειακές τιμές του σχετικού μεγέθους σε τυχαίες θέσεις του πεδίου και ανομοιόμορφα κατανεμημένες. Δημιουργείται έτσι η ανάγκη υπολογισμού των τιμών της παραμέτρου ή του σχετικού μεγέθους με το μικρότερο δυνατό σφάλμα, στους κόμβους ενός κανάβου, ώστε στη συνέχεια να μπορέσει αυτός να σχεδιάσει τις ισοϋψείς καμπύλες ή τις καμπύλες κατανομής. Επειδή η συλλογή επιπλέον πρωτογενούς πληροφορίας είναι ουσιαστικά αδύνατη, προκύπτει η ανάγκη προσφυγής σε μια από τις γνωστές μεθόδους παρεμβολής, όπως τις κλασσικές μεθόδους, τις μεθόδους συναρτήσεων βάρους, τις μεθόδους των ελαχίστων τετραγώνων, ή τη μέθοδο Kriging (Dunlan, 1984), (Gambolati, 1979). Κατά συνέπεια η ανάγκη αντιμετώπισης ενός επιμέρους τέτοιου προβλήματος οδηγεί στη δημιουργία συναφούς δευτερογενούς πληροφορίας δια μέσου της χρήσεως μιας εκ των μεθόδων παρεμβολής.

Επίσης ζητήματα, που αναφέρονται σε εκτιμήσεις αναμενόμενης μελλοντικής max-min υπόγειας στάθμης και τις περιόδους επαναφοράς τους, απαιτούν προσφυγή σε στοχαστική ανάλυση (Rethati L. , 1983) της υπάρχουσας πρωτογενούς πληροφορίας και κατά συνέπεια τη δημιουργία των σχετικών δευτερογενών δεδομένων.

Είναι φανερό από όσα εκτέθηκαν προηγουμένως σχετικά με το μαθηματικό μοντέλο στη θεώρηση υδρογεωλογικών προβλημάτων, τόσο με την ευρύτερη έννοια του όρου όσο και με την περιορισμένη σε ειδικά θέματα, ότι υπάρχει εν δυνάμει τουλάχιστο η ικανότητα δημιουργίας τεράστιας μάζας δευτερογενούς πληροφορίας. Η εν δυνάμει βέβαια αυτή πληροφορία στην πράξη περιορίζεται από σειρά ρυθμιστικών όρων, όπως η ποιότητα της πρωτογενούς πληροφορίας, η αξιοπιστία του μοντέλου, η ικανότητα του χρήστη για ορθολογική χρήση του μοντέλου, οι γνώσεις του χρήστη και ο οικονομικός παράγοντας.

2.2 Λογισμικό (Software)

Η υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου οδηγεί αναγκαστικά στη σύνταξη προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή (software). Κατά συνέπεια το ερώτημα το σχετικό με τα δευτερογενή δεδομένα και παραμέτρους συνδέεται άμεσα και με την επιλογή των αντιστοίχων προγραμμάτων (software), που θα πλαισιώσουν την υπό δημιουργία τράπεζα δεδομένων. Τα προγράμματα είναι δυνατό να συνταχθούν από τους ίδιους τους κατασκευαστές της βάσης είτε, πράγμα και συνηθέστερο, να αναζητηθούν από τα προσφερόμενα σήμερα στην αγορά.

Υπάρχει πληθώρα βιβλιογραφικής παρουσίασης των προσφερομένων σήμερα προγραμμάτων. Οι ταξινομήσεις ακολουθούν είτε την τεχνική αριθμητικής επίλυσης είτε τη γλώσσα προγραμματισμού είτε το φυσικό φαινόμενο είτε τη χώρα ή το ίδρυμα προέλευσης. Από την τεράστια βιβλιογραφία ενδεικτικά γίνεται παραπομπή στον πρόσφατο κατάλογο της International groundwater modeling center (I.G.W.M.C. ,1992).

Γενικά κριτήρια για την επιλογή των προγραμμάτων, πέρα από το αντικείμενο εφαρμογής τους, είναι η προηγούμενη πείρα από πιθανή χρήση του προγράμματος, η ευκολία χρήσης του, η δυνατότητα σύνδεσής του με άλλα προγράμματα, ο απαιτούμενος χρόνος εκπαίδευσης για την εκμάθησή του, η βιβλιογραφική τεκμηρίωση επιτυχημένων εφαρμογών του και ο οικονομικός παράγοντας.

Μερικά από τα διαθέσιμα στο εμπόριο και σχετικά με την Υπόγεια Υδρογεωλογία προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή, που η ομάδα ΠΣΑΠΘ / ΤΥΤΠ έχει στην διάθεσή της και έχει αξιολογήσει, είναι και τα ακόλουθα:

Το πρόγραμμα MOC

Πρόκειται για το πιο γνωστό και περισσότερο χρησιμοποιημένο μέχρι σήμερα διδιάστατο μοντέλο μεταφοράς ρύπων σε υπόγειο νερό. Εφαρμόζεται τόσο σε μόνιμα όσο και σε μη μόνιμα προβλήματα μεταφοράς και υπολογίζει τις μεταβολές της συγκέντρωσης που προκαλούνται στη διάρκεια του χρόνου εξαιτίας διεργασιών όπως η συναγωγική μεταφορά, η υδροδυναμική διασπορά και η ανάμιξη ή η διάλυση από πηγές νερού. Το αρχικό μοντέλο υποθέτει ότι ο ρύπος θα πρέπει να είναι συντηρητικός, όμως μια σχετικά πρόσφατη έκδοσή του περιλαμβάνει σειρά τροποποιήσεων οι οποίες επιτρέπουν την προσομοίωση πολλών τύπων χημικών αντιδράσεων.

Το πρόγραμμα MODFLOW

Το MODFLOW είναι πρόγραμμα πεπερασμένων διαφορών για την εξομίωση διδιάστατης ή τρισδιάστατης μη μόνιμης ροής σε ανισότροπους, ετερογενείς, στρωματοποιημένους υδροφορείς. Το πρόγραμμα επιτρέπει τη μελέτη της επίδρασης εξωτερικών παραγόντων, όπως λειτουργία πηγαδιών, τεχνητής επαναφόρτισης, στράγγισης, εξατμισοδιαπνοής, υδάτινων ρευμάτων.

Το πρόγραμμα AQMAN

Πρόκειται για ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή που παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης μεταξύ μιας τροποποιημένης έκδοσης του μοντέλου αριθμητικής επίλυσης της διδιάστατης υπόγειας ροής του Trescott και οποιουδήποτε αριθμητικού μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού, του οποίου τα δεδομένα εισόδου είναι μιας συγκεκριμένης τυπικής μορφής.

Το πρόγραμμα FLONET

Το μοντέλο αυτό, που αναπτύχθηκε από τους E. Frind και J. Molson στο Πανεπιστήμιο του Waterloo του Καναδά, είναι ένα διδιάστατο μοντέλο κατακόρυφης τομής, που υπολογίζει τα δίκτυα γραμμών ροής και δυναμικού. Τα προβλήματα που επιλύονται μ' αυτό είναι μόνιμα και αφορούν τη διδιάστατη ροή στην κατακόρυφη τομή ενός γενικά ετερογενούς και ανισότροπου υδροφορέα χωρίς σημειακές πηγές. Το άνω όριο του πεδίου ροής αποτελεί ο φρεάτιος ορίζοντας, ενώ το κάτω όριό του είναι συνήθως ένας αδιαπέρατος ή ημιπερατός πυθμένας.

Το πρόγραμμα SUTRA

Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα τυπικό πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που μπορεί να εφαρμοσθεί τόσο σε συστήματα οριζόντιων υδροφορέων όσο και σε κατακόρυφες τομές τους. Ειδικά στις κατακόρυφες τομές υπάρχει δυνατότητα μελέτης και της ακόρεστης ζώνης. Εκτός από τα κλασσικά προβλήματα μεταφοράς ρύπων, το SUTRA μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για τη μελέτη της διαστάλαξης υγρών αποβλήτων μεταβλητής πυκνότητας αλλά και για προβλήματα διείσδυσης θαλασσινού νερού. Η αριθμητική επίλυση των διαφορικών εξισώσεων ροής και συναγωγής - διασποράς γίνεται με μια υβριδική τεχνική πεπερασμένων στοιχείων και ολοκληρωμένων πεπερασμένων διαφορών.

Τα προγράμματα FEWA, FEMA/LEMA...

Πρόκειται για μια σειρά έξι προγραμμάτων (FEWA, FEMA/LEMA, FEMWATER, FEMWASTE/LEWASTE, 3DFEMWATER, 3DFEMWASTE/3DLEWASTE) τα οποία χρησιμοποιούν διάφορες εξελιγμένες τεχνικές της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων για να προσομοιάσουν διδιάστατα και τρισδιάστατα φαινόμενα ροής και μεταφοράς ρύπων σε υδροφορείς. Τα προγράμματα αυτά προσομοιώνουν σχεδόν όλα τα πιθανά πρακτικά προβλήματα των παραπάνω φαινομένων για πολύπλοκα πεδία και οριακές συνθήκες αλλά και για πολλές κατηγορίες χημικών ρύπων.

Το πρόγραμμα GEOPAQ

Το πρόγραμμα αφορά εφαρμογή της μεθόδου kriging και έχει χρησιμοποιηθεί από την ομάδα ΠΣΑΠΘ/ΤΥΤΠ στην εκπόνηση αριθμού ερευνητικών εργασιών. Έχει δυνατότητα να

δημιουργήσει μεταβλητογράμματα, συσχετογράμματα και να υπολογίσει μέσα τετραγωνικά σφάλματα. Περιέχει επίσης σχεδιαστικές ρουτίνες για γραφικές απεικονίσεις διαφόρων μεγεθών.

Τέλος, πέρα από τα ενδεικτικώς παρατεθέντα προγράμματα, η ομάδα ΠΣΑΠΘ/ΤΥΤΠ έχει στη διάθεσή της και έχει κάνει χρήση αριθμού στατιστικών προγραμμάτων, ενώ παράλληλα έχει συντάξει και η ίδια σειρά προγραμμάτων σχετικών με ζητήματα Υπόγειας Υδρολογίας.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Η προηγηθείσα ανάλυση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μια τράπεζα Υδρογεωλογικών δεδομένων περιέχει εν δυνάμει τεράστια ποσότητα δευτερογενούς πληροφορίας, που υπό όρους μπορεί να αποκτηθεί με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού (software). Παράλληλα όμως θα πρέπει να τονιστεί ο τεράστιος κίνδυνος δημιουργίας παράλογων αποτελεσμάτων που ελλοχεύει από την μηχανιστική υλοποίηση της εν δυνάμει πληροφορίας.

Είναι φανερό ότι το σύστημα βάση δεδομένων - πλαισίωση με λογισμικό - δημιουργία πληροφορίας υπόκειται σε αυστηρούς ελέγχους και περιορισμούς. Οι έλεγχοι αφορούν: Το πλήθος, την ποιότητα και την επάρκεια της πρωτογενούς πληροφορίας πριν αυτή εισαχθεί στο πρόγραμμα του μαθηματικού μοντέλου. Επίσης το ίδιο το πρόγραμμα (μοντέλο), τους περιορισμούς του, την αξιοπιστία του, την εμπειρία από προηγούμενη εφαρμογή του, τον πειραματισμό με γνωστές περιπτώσεις προβλημάτων. Ακόμη το χρήστη, τις γνώσεις του, την εμπειρία του σε παρόμοια θέματα, τη σχετική του εκπαίδευση, τη δυνατότητα του ελέγχου της παραγόμενης πληροφορίας. Και είναι επίσης φανερό ότι οι περιορισμοί αυτοί δεν μπορούν να δοθούν με τυποποιημένους κανόνες. Έτσι η ελκυστική ιδέα, μια τράπεζα υδρογεωλογικών δεδομένων να πλαισιωθεί με όσο το δυνατό μεγαλύτερο αριθμό software, όχι μόνο είναι ανεδαφική και άχρηστη αλλά σε πολλές περιπτώσεις και επικίνδυνη.

Ο γενικότερος τρόπος καθορισμού επιλογών για την υπό δημιουργία Υδρογεωλογική Τράπεζα έχει εκταθεί τόσο στην εισαγωγή της εργασίας αυτής όσο και σε προηγούμενες εργασίες της ομάδας ΠΣΑΠΘ/ΤΥΤΠ. Για το συγκεκριμένο όμως θέμα, δηλαδή των δευτερογενών δεδομένων και παραμέτρων, στο σχηματισμό άποψης έπαιξε ρόλο η καθαρά τεχνοκρατική θεώρηση της αδυναμίας των υπαρχόντων πρωτογενών δεδομένων. Δηλαδή η αποσπασματικότητα των δεδομένων και η περιορισμένη πληροφορία ποιότητας, (έλλειψη εθνικού δικτύου, έλλειψη μακροχρόνιων συνεχών μετρήσεων), σε συνδυασμό με τους περιοριστικούς όρους χρήσης μοντέλων, οδήγησαν στην άποψη ότι η παραγωγή δευτερογενών δεδομένων θα πρέπει επί του παρόντος να περιοριστεί στον υπολογισμό ισοϋψών στάθμης και υδραυλικού φορτίου.

Παρότι υπάρχουν και γι αυτό ακόμη αμφιβολίες, προτείνεται η πλαισίωση της βάσης με πρόγραμμα εφαρμογής μεθόδου kriging, ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή των ισοϋψών καμπυλών. Ειδικά για ορισμένες περιοχές της χώρας, όπου τα πρωτογενή δεδομένα είναι καλύτερης ποιότητας, ο υπολογισμός και σχεδίαση των ισοϋψών στάθμης και υδραυλικού φορτίου θα δίδει τη δυνατότητα για εποπτικό έλεγχο του υπόγειου υδατικού δυναμικού της περιοχής.

Τέλος, σε ό,τι αφορά τις δευτερογενείς παραμέτρους, αυτές περιορίζονται αναγκαστικά στις υδρογεωλογικές παραμέτρους K, S, T. Για λόγους όμως που προαναφέρθηκαν θα καταχωρηθούν στη βάση ως πρωτογενής χωρική πληροφορία.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εισαγωγή της εργασίας αυτής έγινε ο καθορισμός της έννοιας του δευτερογενούς υδρογεωλογικού δεδομένου. Έτσι κάθε στοιχείο που προκύπτει δια μέσου ενός μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει ένα φυσικό γεωλογικό πρόβλημα και στηρίζεται σε αντίστοιχα πρωτογενή δεδομένα ορίστηκε σα δευτερογενές δεδομένο. Στη συνέχεια η ανάπτυξη των εννοιών μαθηματικό μοντέλο - πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή και παράθεση των περιορισμών χρήσης τους, σε συνδυασμό με εκτίμηση των υπάρχοντων πρωτογενών στοιχείων, οδήγησε στην άποψη ότι επί του παρόντος η δημιουργία δευτερογενών δεδομένων θα περιοριστεί μόνο στη χάραξη ισοϋψών στάθμης και υδραυλικού φορτίου.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Chiang, C.Y., M.F. Wheeler, and P.B. Bedient, 1989, A modified method of characteristics technique and mixed finite elements method for simulation of groundwater solute transport, *Water Resour. Res.* , 25(7), 1541-1549.

Dunlap, L.E. , Spinazola, J.M., 1984, Interpolating Water Table Altitudes in West Central Kansas Using Kriging Techniques, United States Geological Survey, Water Supply Paper 2238.

Emsellem Y. , De Marsily G. , 1971, An automatic solution for the inverse problem, *Water Resour. Res.* 7, 1264-1283.

Finch J. , Green C. , 1988, Similarities and Differences in the nature of Ground and Surface Water Data and the Implications for Designing Computer Data Systems, *Computer Methods and Water Resources*, 1st International Conference, D. Quazar, E. Brebbia, ed. Springer - Verlag, 341-351.

Gambolati, G., Volpi, G., 1979, A Conceptual Deterministic Analysis of the Kriging Technique in Hydrology, *Water Resources research*, Vol. 15, No. 3, p. 625-629.

Haimes, Y.Y., K. Tarrainen, T. Shima, and J. Thadathil, 1990, *Hierarchical Multiobjective Analysis of Large-Scale Systems*, Hemisphere Publishing Corp., New York.

I.G.W.M.C., 1992, Software Catalog

Λατινόπουλος Π., 1982, Επίδραση της Μεταβλητότητας των Φυσικών Παραμέτρων στην Εκμετάλλευση του Υπόγειου Υδατικού Δυναμικού, Διατριβή για υφηγεσία, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Ομάδα ΠΣΑΠΘ/ΤΥΤΠ, Έκθεση, 1992, "Καθορισμός του τρόπου και της χρονικής κλίμακας καταχώρησης των πρωτογενών δεδομένων, ανάλογα με την μετρούμενη παράμετρο και το χρησιμοποιούμενο όργανο".

Rethatti Laszlo, 1983. *Groundwater in Civil Engineering*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam - Oxford - New York. p.p. 332-361