

See discussions, stats, and author profiles for this publication at:
<http://www.researchgate.net/publication/273001376>

Η χρήση ανομοιογενούς προέλευσης χωρικών δεδομένων στην κατασκευή τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων

CONFERENCE PAPER · OCTOBER 2012

READS

13

5 AUTHORS, INCLUDING:



[George Panagopoulos](#)

Technical University of Crete

19 PUBLICATIONS 6 CITATIONS

SEE PROFILE



[Emmanouil Manoutsoglou](#)

Technical University of Crete

94 PUBLICATIONS 171 CITATIONS

SEE PROFILE

Η χρήση ανομοιογενούς προέλευσης χωρικών δεδομένων στην κατασκευή τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων

*Γεώργιος Παναγόπουλος¹, Αικατερίνη Μπιζούρα², Ισμήνη Κυρκιμιτζή³,
Αικατερίνη Καραντζή⁴ και Εμμανουήλ Μανούτσογλου⁵*

- (1) Υποψ. Διδάκτορας Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Πολυτεχνειούπολη, Ακρωτήρι, 73100 Χανιά, 28210-37681, gpanagopoulos@isc.tuc.gr
- (2) Υποψ. Διδάκτορας Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Πολυτεχνειούπολη, Ακρωτήρι, 73100 Χανιά, 28210-37650, katbizou@gmail.com
- (3) Μεταπτ. Φοιτήτρια Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Πολυτεχνειούπολη, Ακρωτήρι, 73100 Χανιά, 28210-37650, ismini_3@yahoo.gr
- (4) Υποψ. Διδάκτορας Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Πολυτεχνειούπολη, Ακρωτήρι, 73100 Χανιά, 28210-37643, akarantzi@hotmail.com
- (5) Καθηγήτρια Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Πολυτεχνειούπολη, Ακρωτήρι, 73100 Χανιά, 28210-37650, emanout@mrred.tuc.gr

Περίληψη

Η τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση χρησιμοποιείται ευρέως σε θέματα προστασίας περιβάλλοντος, ανίχνευσης, εντοπισμού και εκμετάλλευσης ορυκτών πόρων. Η κατασκευή τους βασίζεται σε πλήθος διαφορετικών χωρικών δεδομένων, η ανομοιογένεια και η αξιοπιστία των οποίων αποτελούν το κύριο πρόβλημα. Η ανομοιογένεια οφείλεται στη διαφορετική φύση των δεδομένων, στη διαφορετική χρονική περίοδο που συλλέχθηκαν καθώς και σε θέματα υποκειμενικότητας που υπεισέρχονται κατά τη διαδικασία παραγωγής και ερμηνείας τους. Η ανάπτυξη μιας ενιαίας βάσης σε τοπική και ευρύτερη κλίμακα που φιλοξενεί το σύνολο των δεδομένων προς χρήση, κρίνεται αναγκαία προκειμένου να ξεπεραστούν τέτοιου είδους προβλήματα. Κάτι τέτοιο απαιτεί στις περισσότερες των περιπτώσεων τροποποίηση αρχικών δεδομένων, σύμφωνα με ένα ενιαίο πλαίσιο, ή/και γενικώς αποδεκτών κανόνων. Η χρήση εξειδικευμένων λογισμικών βοηθά σε αυτήν την κατεύθυνση. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων χρήσης λογισμικών πακέτων συγκαταλέγεται η δυνατότητα γρήγορης-αυτόματης απεικόνισης από κάθε προσανατολισμό όψης του γεωλογικού μοντέλου, υπολογισμών και εκτίμησης όγκων ή/και η δυνατότητα εμπλουτισμού και επικαιροποίησης των δεδομένων. Στα μειονεκτήματα μπορούν να προσμετρηθούν η προσβασιμότητα και η ευκολία χρήσης των λογισμικών καθώς και τα προβλήματα διαλειτουργικότητας στις περιπτώσεις που απαιτείται η χρήση περισσότερων του ενός λογισμικών αλλά και πέραν του ενός, εξειδικευμένου χρήστη.

Λέξεις κλειδιά: τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση, ενιαία ψηφιακή βάση χωρικών δεδομένων, εξειδικευμένα λογισμικά μοντελοποίησης.

Abstract

3D Geological modeling is a very useful tool in aspects regarding environmental protection, exploration and exploitation of mineral resources. The construction of 3D geo-

logical models is based on a variety of spatial data, homogeneity and reliability of which are constantly matters of question. The inhomogeneity of the data is due to different type and capturing-time of data, as well as, in the objectiveness of the interpreter. The development of a single database in local or regional scale, which hosts all the available data, is a crucial step that has to be done in order to overcome this kind of problems. Such an action demands in most of the cases the transformation of the original dataset under a specific technical framework and widely accepted rules. The use of specialized software helps towards this direction. The benefits using specialized software are the capability of visualization in any view-direction of the geological model, calculations and volume estimations, new data entry and database update procedure in a quick and automatic manner. Some drawbacks could be the low accessibility and the need of training in the usage of such specialized software, as well as, problems regarding the interoperability between different software, in cases of using more than one software or more than one being the software users.



1. Εισαγωγή

Η τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση (3D geological modelling) με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή άρχισε να εφαρμόζεται και να εξελίσσεται από και για τις ανάγκες του μεταλλευτικού κλάδου στις αρχές της δεκαετίας του 1960 (Houlding 1994). Η ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών έδωσε ώθηση στην εφαρμογή σχεδιαστικών μεθόδων με την βοήθεια υπολογιστή (Goebel 1992). Η μεθοδολογία αυτή θεωρείται πλέον απαραίτητη σε περιπτώσεις εξερεύνησης, εντοπισμού, εκτίμησης αποθεμάτων και σχεδιασμού εκμετάλλευσης ορυκτών πόρων, στη διαχείριση και παρακολούθηση περιστατικών περιβαλλοντικής μόλυνσης και στη συμβολή διαχείρισης φυσικών πόρων και διατήρησης φυσικού περιβάλλοντος.

Η γεωλογική μοντελοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση εξειδικευμένων πακέτων λογισμικού (π.χ. SURPAC VISION, lynx, DATA MINE, GOCAD κ.α.). Τα πακέτα αυτά έχουν έναν πυρήνα CAD εμπλουτισμένο με ειδικά εργαλεία και συναρτήσεις γεωμετρικής και χαρτογραφικής επεξεργασίας (τεκτονική ανάλυση, μοντελοποίηση ρηγμάτων, χαρτογραφικά συστήματα συντεταγμένων). Εκτός από το σχεδιαστικό πυρήνα, τα πακέτα αυτά συμπληρώνονται από τμήματα στατιστικής επεξεργασίας και γεωστατιστικής μοντελοποίησης για την εκτίμηση των ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών (γεωχημική σύσταση, μηχανικές ιδιότητες, περατότητα κ.ά.), από εξειδικευμένη βάση δεδομένων για γεωτρήσεις (τυποποιημένο format σε όλα τα συστήματα), από χαρτογραφικό τμήμα, από ειδικό λογισμικό παρουσίασης (visualization). Επίσης στα περισσότερα πακέτα παρέχεται και η δυνατότητα επέκτασης του συστήματος για απόλυτα εξειδικευμένες εφαρμογές με τη χρήση της γλώσσας macro-προγραμματισμού του λογισμικού (Spyridonos et al., 1999).

Στην πράξη, για την κατασκευή τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων συνήθως χρησιμοποιούνται συνδυαστικά ένα πακέτο ΓΠΣ και ένα πακέτο γεω-μοντελοποιητή. Παρόλο που με τα πακέτα ΓΠΣ μπορούν να σχεδιαστούν και να διαχειριστούν απλές τρισδιάστατες επιφάνειες, δεν είναι εφικτή η αντίστοιχη σχεδίαση και διαχείριση των πολύπλοκων επιφανειών και όγκων που εμφανίζουν συνήθως οι γεωλογικές δομές που έχουν υποστεί πτύχωση και ρηγμάτωση (Kaufmann & Martin, 2009). Η συνδυασμένη χρήση

ΓΠΣ και γεω-μοντελοποιητή συμβάλει στην κατασκευή ρεαλιστικών γεωλογικών τρισδιάστατων μοντέλων, χωρίς όμως να εκλείπουν τα προβλήματα και οι επιπλοκές στη λειτουργικότητα αυτών.

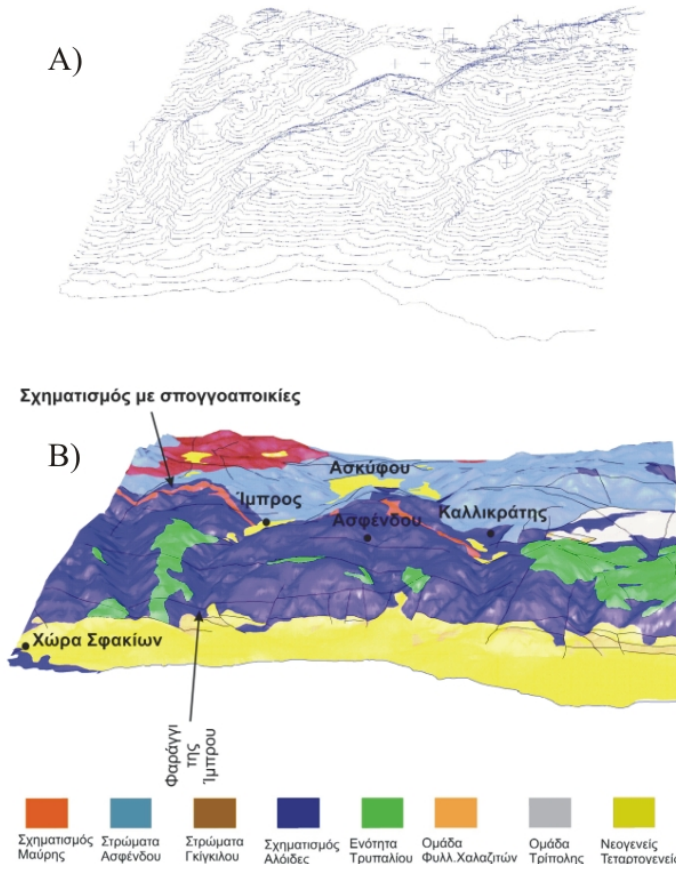
2. Τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση

Η μοντελοποίηση αποτελεί τη διαδικασία απεικόνισης της χωρικής διακύμανσης μιας ή περισσότερων παραμέτρων, οι τιμές των οποίων εκτιμώνται με βάση πραγματικά αριθμητικά χωρικά δεδομένα. Μια τέτοια παράμετρος μπορεί να είναι το υψόμετρο του εδάφους, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, τα όρια ενός κοιτάσματος, η ανώτερη ή κατώτερη επιφάνεια ενός στρωματογραφικού ορίζοντα, η εξάπλωση της μόλυνσης σε εδάφη ή υδροφόρους, κ.τ.λ. Κατά τη διαδικασία γεωλογικής μοντελοποίησης μιας παραμέτρου χρησιμοποιούνται τα γνωστές τιμές αυτής της παραμέτρου που βρίσκονται σε συγκεκριμένα σημεία στο χώρο (control points) προκειμένου να πραγματοποιηθεί πρόβλεψη της τιμής της συγκεκριμένης παραμέτρου σε σημεία του χώρου για τα οποία δεν υπάρχουν δεδομένα. Η πρόβλεψη γίνεται με βάση μεθόδους γεωστατιστικής και μαθηματικής παρεμβολής των τιμών μεταξύ των σημείων ελέγχου (control points). Τα χωρικά γεωλογικά πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή γεωλογικών μοντέλων μπορεί να είναι:

- Μονοδιάστατα (1D): π.χ. μέτρηση στάθμης υδροφόρου ορίζοντα σε γεώτρηση ανά συγκεκριμένη χρονική στιγμή,
- Δισδιάστατα (2D): π.χ. μέτρηση υψομέτρου ανά θέση με συγκεκριμένες τιμές συντεταγμένων (DEM),
- Τρισδιάστατα (3D): π.χ. μέτρηση περιεκτικότητας ενός κοιτάσματος σε Al_2O_3 ανά θέση με συγκεκριμένες τιμές συντεταγμένων και συγκεκριμένες τιμή υψομέτρου, ή και
- Τετραδιάστατα (4D): π.χ. μέτρηση περιεκτικότητας ενός ρυπαντή υδροφόρου ορίζοντα ανά θέση με συγκεκριμένες τιμές συντεταγμένων, σε συγκεκριμένη τιμή υψομέτρου και σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

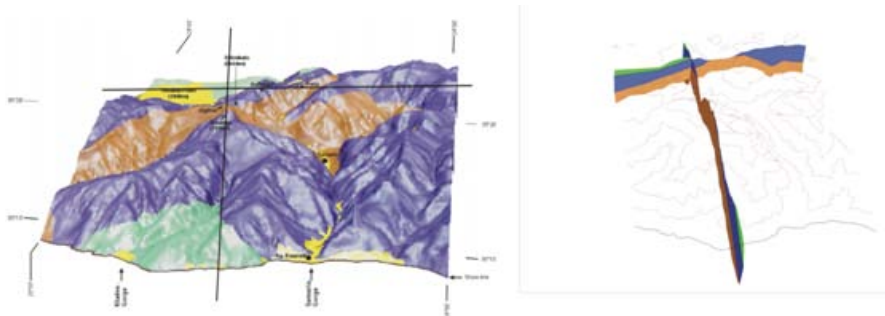
Ανάλογα των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν προκύπτει και ο χωρικός χαρακτηρισμός (1D, 2D, 3D ή 4D) του τελικού μοντέλου. Συνήθως προκαλείται σύγχυση στο χαρακτηρισμό του μοντέλου καθώς δε χρησιμοποιείται ο τύπος των αρχικών δεδομένων, αλλά ο τρόπος απεικόνισης της μοντελοποίησης. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της σύγχυσης αποτελούν τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM/DTM). Συνηθέστερα, ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους απεικονίζεται προοπτικά (perspective view) δίνοντας την εντύπωση ότι πρόκειται για το αποτέλεσμα μιας τρισδιάστατης μοντελοποίησης (εικόνα 1). Παρόλα αυτά, όπως ορίστηκε προηγουμένως, πρόκειται για το αποτέλεσμα μια δισδιάστατης μοντελοποίησης που απεικονίζεται σε τρισδιάστατο γραφικό περιβάλλον. Για να χαρακτηριστεί τρισδιάστατο μοντέλο πρέπει η πληροφορία που παρέχει το μοντέλο να εκτείνεται σε επιφάνεια αλλά και σε βάθος (εικόνα 2). Συνεπώς, θα πρέπει να είναι σαφώς διαχωρισμένα ο τύπος των αρχικών δεδομένων, πάνω στα οποία βασίστηκε το μοντέλο από τον τρόπο απεικόνισης του μοντέλου.

Πιο αναλυτικά, η γεωλογική μοντελοποίηση χαρακτηρίζεται ως 1D, 2D, 3D, 4D ανάλογως του αριθμού των ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Στην δισδιάστατη μοντελοποίηση οι συντεταγμένες (X, Y) αποτελούν τις ανεξάρτητες μεταβλητές και η υπό εξέταση παράμετρος την εξαρτημένη μεταβλητή. Επομένως για κάθε ζεύγος τιμών συντεταγμένων (X, Y) αντιστοιχεί μια τιμή της παραμέτρου. Για παράδειγμα, αν η

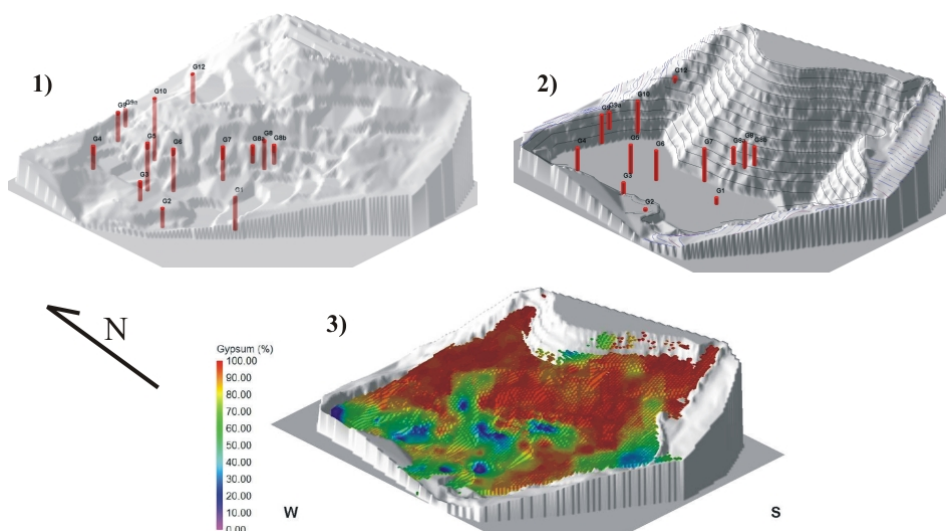


Εικόνα 1. Υπέρθυση γεωλογικών σχηματισμών και τεκτονικών στοιχείων (B) στο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (A) της ευρύτερης περιοχής του φαράγγιού της Ίμπρου, νομού Χανίων. Η απεικόνιση αυτή προέκυψε από 2.5D μοντελοποίηση η οποία παρουσιάζεται σε 3D γραφικό περιβάλλον. (Μανούσσογλου Ε. & Σπυρίδωνος Ε., 2006)

υπό μοντελοποίηση παράμετρος είναι το υψόμετρο τότε δημιουργείται ένας δισδιάστατος κανάβος που περιέχει μια σημειακή υψομετρική τιμή στο κέντρο κάθε στοιχειώδους μονάδας (cell) του κανάβου. Ο κανάβος αυτός αποτελεί ένα ψευδοτριδιάστατο (ή αλλιώς 2,5-διάστατο) μοντέλο και χρησιμεύει στην απεικόνιση της τοπογραφικής επιφάνειας είτε σε τρισδιάστατο γραφικό περιβάλλον (perspective view) είτε δισδιάστατα (υπό μορφή χαρτών με ισοϋψείς). Αντιστοίχως, στα 3D μοντέλα οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι τρεις (X, Y, Z) που δημιουργούν ένα τρισδιάστατο κανάβο. Στο κέντρο κάθε στοιχειώδους μονάδας (block ή voxel) αντιστοιχεί μια τιμή της εξαρτημένη μεταβλητής. Με τον τρόπο αυτόν μπορεί να κατασκευαστεί ένα 3D μοντέλο που απεικονίζει τη διακύμανση μιας παραμέτρου και στις τρεις διαστάσεις, όπως για παράδειγμα η περιεκτικότητα σε $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ σε έναν λατομικό χώρο (εικόνα 3). Και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις τα μοντέλα που προκύπτουν είναι στατικά, καθώς η απεικόνιση που δίνουν αφορά είτε ένα φαινόμενο ή μια γεωλογική δομή που δε μεταβάλλεται πρακτικώς με το χρόνο είτε ένα φαινόμενο αναφερόμενο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.



Εικόνα 2. Κατασκευή του 3D γεωλογικού μοντέλου της ευρύτερης περιοχής της Σαμαριάς από το οποίο προέκυψαν οι δύο γεωλογικές τομές διεύθυνσης Β-Ν και Δ-Α. (Maniotsoglou et al., 1999)



Εικόνα 3. Η κατασκευή τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου που απεικονίζει τη χωρική κατανομή της περιεκτικότητας σε $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ σε ένα λατομικό χώρο, με βάση χωρικά γεωλογικά στοιχεία (γεωτρήσεις). 1) DEM της πρόσφατης μορφολογίας του λατομείου όπου απεικονίζονται οι γεωτρήσεις που έχουν ορυχθεί και εκτείνονται κάτω από το DEM. 2) DEM της μορφολογίας του λατομικού χώρου κατά το στάδιο της εξόφλησης. 3) Κατανομή της περιεκτικότητας σε $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ για τον όγκο που είναι προγραμματισμένο να εκμεταλλευθεί μέχρι την εξόφληση του λατομείου. (Maniotsoglou et al., 2010)

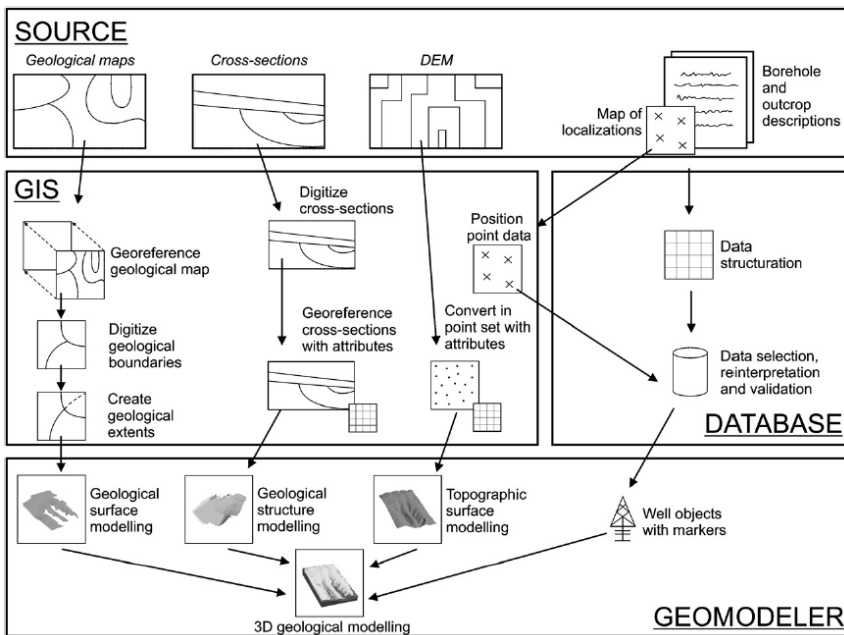
3. Πλεονεκτήματα και δυσκολίες κατασκευής 3D γεωλογικού μοντέλου

Η κατασκευή τέτοιων μοντέλων ξεκίνησε αρχικά στη βιομηχανία πετρελαίου και αργότερα εξαπλώθηκε και σε άλλους τομείς. Ως παραδείγματα χρήσης αυτής της μεθόδου αναφέρονται στις περιπτώσεις εξερεύνησης πρώτων υλών η σημαντική συμβολή στον καθορισμό των ελπιδοφόρων περιοχών, ενώ σε περιβαλλοντικές έρευνες στον εντοπισμό της μόλυνσης.

Η κατασκευή ενός 3D γεωλογικού μοντέλου περιλαμβάνει το συνδυασμό μεγάλου α-

ριθμού χωρικών γεωλογικών δεδομένων. Σε κάθε περίπτωση, ακολουθείται μια συγκεκριμένη ροή εργασιών (εικόνα 4) κατά την οποία αρχικά συλλέγονται όλα τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούν επιφανειακά δεδομένα (υψομετρικά, γεωλογικά όρια, εμφάνιση ρηγμάτων), δεδομένα βάθους (γεωφυσικές διασκοπήσεις), σημειακά δεδομένα (γεωχημικές αναλύσεις δειγμάτων από γεωτρήσεις) και επεξεργάζονται με τη χρήση λογισμικών πακέτων ΓΠΣ και γεωλογικού μοντελοποιητή. Τα επιφανειακά δεδομένα εισάγονται και επεξεργάζονται σε περιβάλλον ΓΠΣ από τα οποία θα προκύψει το ψηφιακό μοντέλο εδάφους/επιφάνειας (DEM, DTM) πάνω στο οποίο θα συμπληρωθεί όλη η επιπρόσθετη χωρική πληροφορία (Houlding 1994). Τα δεδομένα βάθους εισάγονται και ερμηνεύονται στο γεω-μοντελοποιητή.

Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι η ομοιογενής χρήση του συνόλου των δεδομένων και η διασταύρωση των γεωλογικών ερμηνειών με βάση πραγματικά αριθμητικά δεδομένα. Η συνδυασμένη χρήση των δεδομένων σε περιβάλλον ΓΠΣ πραγματοποιείται σε 2 διαστάσεις και χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή της βάσης δεδομένων και την αρχική εκτίμηση της πληρότητας των διαθέσιμων δεδομένων με βάση την επιφανειακή κάλυψη όλης της περιοχής μελέτης. Με τον τρόπο αυτόν γίνεται εύκολα αντιληπτή αν η επιφανειακή κάλυψη των δεδομένων είναι ικανοποιητική. Παρόλα αυτά, η τρισδιάστατη ανάλυση χωρικών δεδομένων με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών πακέτων μοντελοποιητών (geomodelers) δίνει τη δυνατότητα της ταυτόχρονης επεξεργασίας διαφορετικών τύπων δεδομένων στο χώρο. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν πιο ρεαλιστικά μοντέλα. Το κυριότερο πλεονέκτημα όμως, αποτελεί η δυνατότητα εύκολης επικαιροποίησης και αλλαγής οποιαδήποτε στιγμή με την προσθήκη νέων στοιχείων ή την αλλαγή της ερμηνείας των ήδη χρησιμοποιηθέντων δεδομένων. Επιπλέον, όπως ακρι-



Εικόνα 4. Ροή εργασιών για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου (Kaufmann O., Martin T., 2009)

βώς συμβαίνει σε κάθε βάση δεδομένων και στα πακέτα ΓΠΣ, δίνεται η δυνατότητα στο διαχειριστή να υποβάλει ερωτήματα, να παραγάγει τις επιθυμητές απεικονίσεις και να πραγματοποιήσει υπολογισμούς σε πραγματικό τρισδιάστατο περιβάλλον με σχεδόν αυτόματο τρόπο.

Η κατασκευή ενός αξιόπιστου τρισδιάστατου μοντέλου απαιτεί τη χρήση επαρκών, υψηλής ποιότητας και διαφορετικού τύπου δεδομένων τα οποία θα καλύπτουν, κατά το δυνατόν, ομοιογενώς τη περιοχή μελέτης. Δυστυχώς όμως, αυτές οι συνθήκες σπανίως ικανοποιούνται (Fallara et al. 2006). Μια από τις κυριότερες δυσκολίες στη χρήση τέτοιων στοιχείων στη κατασκευή 3D μοντέλων είναι η ετερογένεια στις περιγραφές και τις ερμηνείες που συνοδεύουν αυτά τα δεδομένα. Συνήθως, από το σύνολο των διαθέσιμων καινούριων ή παλαιότερων δεδομένων μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτών είναι ευκόλως προσβάσιμα, ικανοποιητικής ακρίβειας και αντιπροσωπευτικά της κλίμακας μοντελοποίησης. Κάποιες από τις συνηθισμένες δυσκολίες της ελληνικής πραγματικότητας στη χρήση πρωτογενών δεδομένων είναι το γεγονός ότι βρίσκονται σε αναλογική μορφή, κυρίως τα παλιότερα δεδομένα, κάτι το οποίο απαιτεί την επιπρόσθετη εργασία ψηφιοποίησής τους. Επιπλέον, τα δεδομένα ενδεχομένως να μην έχουν γεωγραφικές συντεταγμένες ή η γεωαναφορά τους να βασίζεται σε παλιά γεωγραφικά συστήματα αναλόγως του έτους καταγραφής τους. Οι γεωλογικές παρατηρήσεις και ερμηνείες εξαρτώνται από την υποκειμενική κρίση του παρατηρητή-γεωλόγου με βάση τις κρατούσες επιστημονικές απόψεις της εκάστοτε περιόδου. Επομένως, είναι πολύ πιθανό να χρειάζεται μια καινούρια ερμηνεία των δεδομένων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν (Kaufmann & Martin, 2009).

4. Συζήτηση

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι η κατασκευή γεωλογικών μοντέλων προϋποθέτει την ύπαρξη μιας αξιόπιστης ψηφιακής βάσης δεδομένων. Βέβαια, η ελληνική πραγματικότητα απέχει αρκετά από αυτήν την προϋπόθεση. Με δεδομένο ότι το πλήθος των πρωτογενών στοιχείων βρίσκονται διάσπαρτα στο σύνολο των Διευθύνσεων της Δημοσίας Διοίκησης και των Κρατικών Οργανισμών, είναι εμφανής η ανάγκη για το σχεδιασμό ενός ψηφιακού συστήματος αποθήκευσης παλαιών και καταχώρισης νέων δεδομένων.

Τα παραπάνω θα πρέπει να αφορούν την οργάνωση ψηφιακών βάσεων γεωλογικών χωρικών δεδομένων σε επίπεδο δήμου, νομαρχιακής αυτοδιοίκησης ή περιφέρειας. Κάτι τέτοιο θα περιλαμβάνει τη συλλογή όλων των δεδομένων σε μια ενιαία ψηφιακή βάση, η οποία θα περιλαμβάνει και τα ψηφιοποιημένα, παλαιότερων ετών, αναλογικά δεδομένα. Οι προδιαγραφές εισαγωγής των στοιχείων στη βάση θα πρέπει, κατά το δυνατόν, να είναι ίδιες σε εθνικό επίπεδο, οι οποίες να καθοριστούν από μια επιστημονική επιτροπή που θα συσταθεί για αυτόν τον σκοπό.

Το ανθρώπινο δυναμικό αποτελεί και σε αυτήν την περίπτωση σημαντικό παράγοντα στη διασφάλιση της επιτυχίας ενός τέτοιου εγχειρήματος. Το σημαντικότερο σημείο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι το αρχικό στάδιο της καταχώρισης των δεδομένων, καθώς οποιοδήποτε λάθος που αφορά τον τρόπο καταχώρισης και της ποιότητας/αξιοπιστίας των καταχωρημένων δεδομένων θα οδηγούσε, μετά την επεξεργασία τους, σε αναξιόπιστα αποτελέσματα τα οποία δύσκολα θα γίνονταν αντιληπτά και ακόμα δυσκολότερα θα μπορούσε να εντοπιστεί ποια ομάδα δεδομένων αποτελούσε το πρόβλημα. Επομένως, εξειδικευμένο προσωπικό θα πρέπει να είναι επιφορτισμένο με την τήρηση των προκαθορισμένων προδιαγραφών καταχώρισης δεδομένων, με την εκτίμηση της αξιοπιστίας των

δεδομένων και με την χρήση των απαραίτητων λογισμικών πακέτων επεξεργασίας των δεδομένων.

5. Συμπεράσματα

Η τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στην καθημερινότητα των γεωεπιστημών, με πολλές θεωρητικές και πρακτικές εφαρμογές συμβάλλοντας στην επίλυση πρακτικών θεμάτων και προβλημάτων στους χώρους της επιστήμης, της βιομηχανίας και της κοινωνίας. Η κατασκευή τέτοιων μοντέλων βασίζεται στην ύπαρξη μιας αξιόπιστης ψηφιακής βάσης χωρικών γεωλογικών δεδομένων, που θα τη διαχειρίζεται και θα την εμπλουτίζει εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό. Παρόλα αυτά, η διαδικασία συλλογής, καταγραφής και κατασκευής μιας ενιαίας ψηφιακής βάσης δεδομένων αποτελεί για την ελληνική πραγματικότητα ένα εγχείρημα με αρκετές δυσκολίες αλλά απολύτως αναγκαίο, καθώς θα διευκολύνει την καταχώρηση, αναζήτηση και χρησιμοποίηση στοιχείων από το σύνολο των γεωεπιστημόνων. Η ύπαρξη ψηφιακής βάσης χωρικών δεδομένων που θα απαρτίζεται από αξιόπιστα δεδομένα και θα τηρείται τουλάχιστον σε επίπεδο Δήμων αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για την κατασκευή τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων που θα συμβάλλουν στην εκτίμηση της γεωλογικής δομής της εκάστοτε περιοχής και στην αξιοποίηση των πόρων της. Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να καθοριστούν σε εθνικό επίπεδο οι προδιαγραφές καταχώρισης δεδομένων που θα ακολουθούνται από όλες τις αντίστοιχες υπηρεσίες της Δημόσιας Διοίκησης και των ΟΤΑ, καθώς επίσης να εξασφαλιστεί και η αντίστοιχη εκπαίδευση εξειδικευμένων υπαλλήλων. Με τον τρόπο αυτόν θα εξαλειφθούν προβλήματα ετερογένειας των δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές.

Βιβλιογραφία

- Fallara F., Legault M., Rabeau O., 2006. "3D Integrated Geological Modeling in the Abitibi Sub-province (Québec, Canada): Techniques and Applications". *Exploration and Mining Geology*, Vol. 15, Nos. 1-2, pp. 27-41.
- Goebel R.W., 1992. "Computer Aided Design", Reihe Informatik, Vol. 76, B.I.-Wissenschaftsverlag, Mannheim - Wien - Zürich.
- Houlding S.W., 1994. "3D Geoscience Modeling, Computer Techniques for Geological Characterization", Springer, Berlin.
- Kaufmann O., Martin T., 2009. "3D geological modelling from boreholes, cross-sections and geological maps, application over former natural gas storages in coal mines". *Computers & Geosciences*, 35, 70-82.
- Manoutsoglou E., Panagopoulos G., Spyridonos E. & Georgiou A., 2010. "Methodology for optimal determination of new drilling program in an active open pit: Example from an active sulfate open pit in Altsi, Lasithi Prefecture, Eastern Crete". Paper, Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 12th International Congress, XLIII, 5, 2492 – 2500, Patras.
- Μανούτσογλου Ε. & Σπυρίδωνος Ε., 2006. "Τρισδιάστατη μοντελοποίηση της ρηγματογόνου τεκτονικής και χαρτογραφική απεικόνιση των σπογγοαοικιών του φαραγγιού της Ίμπρου, ΝΔ. Κρήτη". Πρακτικά 8ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, 24 – 26 Νοεμβρίου 2004, 477 – 489, Θεσσαλονίκη.
- Manutsoglu E., Jacobshagen V., Spyridonos E. & Skala W., 1999. "Geologische 3D-Modellierung der Plattenkalk-Gruppe West-Kretas". *Mathem. Geol.*, vol. 4, 73-79.
- Spyridonos E., Dornsiepen U., Manutsoglu E. & Prissang R. (1999): *Geologische 3D-Modellierung der Vulkaninsel Santorini (Thera)*. – *Mathem. Geol.*, vol. 4, 81-85.