



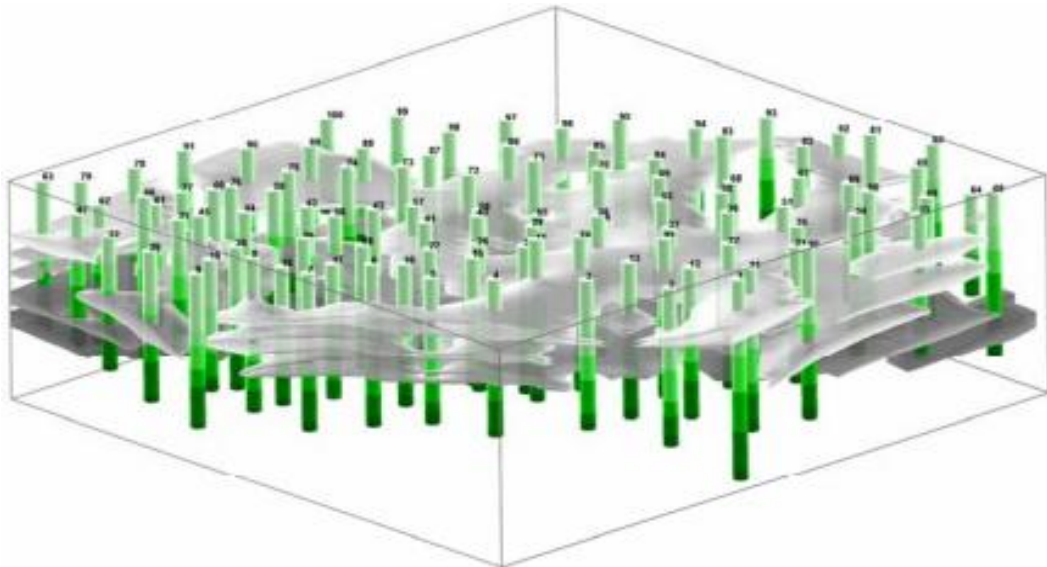
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ “ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ”

Μεταπτυχιακή Εργασία

Δημήτριος Γκίννης

ΘΕΜΑ:

*«Ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης αντικειμενο-σχεσιακής Βάσης γεωτρητικών Δεδομένων
για τη Μοντελοποίηση λιγνιτικών κοιτασμάτων»*



Τριμελής επιτροπή:

Νικόλαος Μήτρου (Επιβλέπων), καθηγητής

Γεώργιος Παναγιώτου, καθηγητής

Αικατερίνη Αδάμ, επίκουρος καθηγήτρια



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ”

Μεταπτυχιακή Εργασία

Δημήτριος Γκίννης, Μεταλλειολόγος Μηχανικός

Επιβλέπων: Νικόλαος Μήτρου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από τη τριμελή επιτροπή, της __/__/__

Νικόλαος Μήτρου, καθηγητής.....

Γεώργιος Παναγιώτου, καθηγητής.....

Αικατερίνη Αδάμ, επίκουρος καθηγήτρια.....

Copyright©, Δημήτριος Γκίννης

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας έγινε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των μεταπτυχιακών σπουδών στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Γεωπληροφορικής της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εκπόνηση της εργασίας έγινε υπό την επίβλεψη του καθηγητή Νικολάου Μήτρου μέλους του Τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π., τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την ανάθεση του θέματος που συνδυάζει τις δυο γεωεπιστήμες που σπούδασα καθώς και για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Γεώργιο Παναγιώτου και την επίκουρο καθηγήτρια Αικατερίνη Αδάμ αμφότεροι της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., που δέχτηκαν τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή για την αξιολόγηση της μεταπτυχιακής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κύριο Χρήστο Ρούμπο, διπλωματούχο Μηχανικό Μεταλλείων Μεταλλουργών και τομεάρχη του Τμήματος Σχεδιασμού και Μελετών Ορυχείων της Γενικής Διεύθυνσης Ορυχείων, για τις χρήσιμες πληροφορίες και συμβουλές που μου παρείχε σε όλα τα βήματα της εργασίας. Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τη ΔΕΗ Α.Ε. για την ευγενική παραχώρηση των γεωτρητικών δεδομένων και όλων των διαθέσιμων πληροφοριών που υπήρχαν για το προς διερεύνηση λιγνιτικό κοίτασμα.

Ακόμα, ολόψυχες ευχαριστίες στη κυρία Molly Mayfield, υπεύθυνη του τμήματος έρευνας και ανάπτυξης της αμερικανικής εταιρείας RockWare για τη δωρεάν προσφορά της επέκτασης της άδειας χρήσης του εμπορικού λογισμικού RockWorks και για την εξ' αποστάσεως πολύτιμη τεχνική υποστήριξη που μου παρείχε σε όλα τα τεχνικά προκύπτοντα προβλήματα καθώς επίσης και στον διδάκτορα Νικόλαο

Κωνσταντίνου της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π. για τα σχόλια και τις παρατηρήσεις του πάνω στην εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Με στήριξαν υλικά και ψυχικά σε όλες τις στιγμές της πορείας μου. Σας ευχαριστώ πιο πολύ από ότι εννοεί η ίδια η λέξη, είσαστε όλοι σας υπέροχοι.

Αθήνα, Μάρτιος 2016

Δημήτριος Μ. Γκίννης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα δεδομένα (data) στις μέρες μας καταγράφονται και χρησιμοποιούνται σε κάθε δραστηριότητα. Τα δεδομένα πρέπει να είναι οργανωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνεται η αναζήτηση και η ενημέρωσή τους. Ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους αναθέτουμε σε υπολογιστές να επιλύουν προβλήματα είναι η δυνατότητα τους να αποθηκεύουν και να επεξεργάζονται μεγάλο όγκο δεδομένων με ταχύτητα, ακρίβεια και ασφάλεια. Ο συνηθέστερος τρόπος αποθήκευσης δεδομένων είναι με τη μορφή αρχείων.

Για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε αυτό το ταχύτατα αναπτυσσόμενο πεδίο που αφορά στη διαχείριση των δεδομένων, υπήρχε η ανάγκη μια νέας προσέγγισης. Το νέο που προέκυψε σαν φυσική εξέλιξη της διαχείρισης δεδομένων υπο μορφή αρχείων, ήταν οι Βάσεις Δεδομένων και τα Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ) (Database Management Systems (DBMS)).

Η ραγδαία ανάπτυξη και εξάπλωση των Συστημάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων, οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι αποτελούν ουσιαστικά την πηγή πληροφοριών και τον τροφοδότη των περισσότερων λογισμικών και των εφαρμογών που χειρίζονται δεδομένα. Επιπλέον τα συστήματα αυτά παρέχουν την απαραίτητη ασφάλεια, αξιοπιστία, ταχύτητα και οργάνωση που είναι απαραίτητα στοιχεία όταν πρόκειται για μεγάλο όγκο δεδομένων. Παράλληλα ολοένα και περισσότερο αυξάνεται η χρήση λογισμικών που χειρίζονται χωρικά-γεωγραφικά δεδομένα. Ο όγκος των δεδομένων αυτών, που είναι ακόμη μεγαλύτερος σε σχέση με τα υπόλοιπα (τα «περιγραφικά» λεγόμενα) δεδομένα επιβάλλει την δυνατότητα επέκτασης των Συστημάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων ώστε να παρέχουν την δυνατότητα αποθήκευσης και αξιοποίησης των γεωχωρικών δεδομένων.

Η παρούσα εργασία αφορά στην ανάπτυξη ενός Συστήματος Διαχείρισης αντικειμενο-σχεσιακής Βάσης γεωτρητικών Δεδομένων για τη μοντελοποίηση λιγνιτικών κοιτασμάτων.

Ο προσδιορισμός των ποσοτικών σε συνάρτηση πάντα με τις ποιοτικές παραμέτρους κάθε κοιτάσματος αποτελεί το κύριο μέλημα των γεωλογικών και κοιτασματολογικών μελετών. Ανεξάρτητα από τη δομή του κοιτάσματος, τόσο τα γεωλογικά όσο και τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα θα πρέπει να προσδιορισθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόληψη του κοιτάσματος. Οι παραπάνω γενικές αρχές αποκτούν ιδιαίτερη σημασία σε κοιτάσματα, τα οποία εμφανίζουν έντονη ανομοιογένεια, όπως τα πολυστρωματικά λιγνιτικά κοιτάσματα.

Τα λιγνιτικά κοιτάσματα της λεκάνης της Φλώρινας στη Δυτική Μακεδονία παρουσιάζουν ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα μοντελοποίησης. Κάθε κοιτάσμα αποτελείται από πολλές λεπτές στρώσεις λιγνίτη που κυμαίνονται από λίγα εκατοστά έως μερικές δεκάδες εκατοστά σε πάχος και λεπτά ενδιάμεσα στείρα στρώματα από

μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, μάργες, αργίλους και άμμο. Αυτά τα στρώματα είναι πρακτικά πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθούν το καθένα ξεχωριστά. Λόγω της έλλειψης αξιόπιστης και λεπτομερούς στρωματογραφικής συσχέτισης, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή συγχώνευσης μεθόδων πριν από οποιαδήποτε παρεμβολή και μοντελοποίηση. Η πολυπλοκότητα του κοιτάσματος αυξάνεται περαιτέρω με την παρουσία τεκτονικών ρηγμάτων.

Αυτή η εργασία παρουσιάζει τις διαδικασίες και τις μεθόδους μοντελοποίησης για την εκτίμηση του αποθέματος σε ένα λιγνιτικό κοιτάσμα το οποίο θεωρείται κομβικό για την ανάπτυξη και την παραγωγή λιγνίτη για τα επόμενα χρόνια καθώς θα υποστηρίξει τη λειτουργία ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην ευρύτερη περιοχή.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη δομή κι οργάνωση της βάσης γεωτρητικών δεδομένων, στη κατασκευή των μοντέλων της στρωματογραφικής συσχέτισης των λιγνιτικών στρωμάτων και λιθολογίας γεωλογικών σχηματισμών, για τον ασφαλή υπολογισμό του γεωλογικού αποθέματος. Η χρήση εξειδικευμένου λογισμικού (RockWorks) σε όλα τα στάδια της μοντελοποίησης και των υπολογισμών είναι απαραίτητη για την ολοκλήρωση της εργασίας και όλα τα βήματα εξηγούνται διεξοδικά, μέσω Παραρτημάτων.

Όλα αυτά προϋποθέτουν να έχει αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο μεταλλευτικό μοντέλο του κοιτάσματος, το οποίο θα εκτιμά με ακρίβεια τη μεταλλοφορία του σε κάθε θέση του χώρου.

Για να γίνει αυτό, δημιουργήθηκε ένα ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης αντικειμενο-σχεσιακών Βάσεων Δεδομένων. Αρχικά, έγινε ο σχεδιασμός της βάσης χωρικών δεδομένων (data modeling), ο οποίος χωρίζεται: α) στον εννοιολογικό σχεδιασμό ο οποίος περιλαμβάνει τον καθορισμό των οντοτήτων, των χαρακτηριστικών τους γνωρισμάτων, καθώς και των σχέσεων που υπάρχουν μεταξύ τους, με τη δημιουργία του διαγράμματος Οντοτήτων - Συσχετίσεων, β) στο λογικό σχεδιασμό, όπου περιγράφονται οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τη μετάβαση από το εννοιολογικό σχήμα στο λογικό και γ) στο φυσικό σχεδιασμό, με τη δημιουργία της βάσης και την εισαγωγή των χωρικών δεδομένων και των τρόπων ενοποίησής τους με τη χρήση του λογισμικού βάσεων δεδομένων PostgreSQL.

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής των πρωτογενών γεωτρητικών δεδομένων, ακολούθησε ο έλεγχος της εγκυρότητας της γεωμετρίας των δεδομένων, αφού πρώτα πραγματοποιήθηκε ο απαραίτητος μετασχηματισμός του συστήματος αναφοράς συντεταγμένων Hatt των γεωτρήσεων αλλά κι όλων των πρωτογενών δεδομένων (ρήγματα περιοχής μελέτης) που εξήχθησαν από τα δοθέντα αρχεία, στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς (WGS '84) που υποστηρίζει, μεταξύ των άλλων, το λογισμικό RockWorks για την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της χωρικής πληροφορίας.

Στη συνέχεια, έγινε η σύνδεση της PostgreSQL βάσης με το λογισμικό για την επεξεργασία, ανάλυση κι αξιοποίηση των χωρικών δεδομένων μέσω των

δυνατοτήτων των εργαλείων του λογισμικού. Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα της ανάλυσης των γεωτρητικών δεδομένων αφορούν τη χαρτοσύνθεση των θέσεων των λιγνιτικών γεωτρήσεων, τη δημιουργία 3-διαστάσεων στρωματογραφικών γεωτρητικών στηλών, τη δημιουργία ίχνους πολλαπλών λιθοστρωματογραφικών γεωτρητικών στηλών σε τομή 2-διαστάσεων, την ανάπτυξη του μοντέλου λιθολογίας των γεωλογικών σχηματισμών με τη μέθοδο πλευρικής εξώθησης και της παρεμβολής των σημείων των κόμβων με τη μέθοδο των Αντιστρόφων Αποστάσεων (Αντιστρόφων του τετραγώνου της απόστασης) των στρωμάτων λιθολογίας των γεωτρήσεων και τέλος, τη δημιουργία ενός χωρικού μοντέλου στρωματογραφικού συσχετισμού με τη βοήθεια του αλγορίθμου Kriging και παράλληλη δημιουργία «δυαδικής μορφής» μοντελοποιημένων επιφανειών, για τον τελικό υπολογισμό της μάζας και του όγκου του λιγνιτικού κοιτάσματος και την εκτίμηση του γεωλογικού αποθέματος του λιγνιτικού κοιτάσματος.

ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός της Διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία κι ανάπτυξη ενός συστήματος διαχείρισης αντικειμενο-σχεσιακής βάσης χωρικών δεδομένων για τη συλλογή, εισαγωγή, οργάνωση, αποθήκευση, επεξεργασία, ανάλυση κι αξιοποίηση πρωτογενών δεδομένων από λιγνιτικές γεωτρήσεις και τη σύνδεσή του με εξειδικευμένο λογισμικό επεξεργασίας και ανάλυσης γεωτρητικών δεδομένων με δυνατότητα υποστήριξης σύνδεσης με βάσεις χωρικών δεδομένων, έτσι ώστε να:

- γίνει η ανάλυση των γεωτρητικών δεδομένων, για τη χαρτοσύνθεση των γεωτρήσεων και τη δημιουργία 2-D τομών και 3-D γραφημάτων στρωματογραφίας γεωτρητικών στηλών,
- δημιουργηθεί ένα μοντέλο λιθολογίας των γεωλογικών σχηματισμών για τον υπολογισμό της μάζας του λιγνιτικού κοιτάσματος (γεωλογικό απόθεμα),
- δημιουργηθεί ένα χωρικό μοντέλο στρωματογραφικής αλληλοσυσχέτισης μέσω της παρεμβολής των στρωμάτων των λιθολογικών σχηματισμών ενός πολυλεπτοστρωματικού λιγνιτικού κοιτάσματος, όπου δια μέσω της δημιουργίας μια σειράς από «δυαδικής λογικής» (Boolean) στερεών μοντέλων να γίνει η ογκομέτρηση κι η εκτίμηση του γεωλογικού λιγνιτικού αποθέματος.

-ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ-

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΛΙΓΝΙΤΗ	1
1.2 ΤΡΟΠΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ	2
1.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	3
1.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	3
1.3.2 Ο ΛΙΓΝΙΤΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩΤΕΡΗΣ ΣΕΙΡΑΣ	4
1.3.3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ	5
1.3.4 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΛΙΓΝΙΤΩΡΥΧΕΙΟΥ	6
1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ	7
1.5 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	9
1.5.1 ΚΑΝΑΔΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ	10
1.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ - ΑΝΑΦΟΡΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	12
1.6.1 ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ	12
1.6.2 ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΛΙΓΝΙΤΩΡΥΧΕΙΟΥ ΠΡΟΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	14
1.7 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ	16
2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΑΣΕΩΝ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	20
2.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	21
2.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΕΣ ΣΔΒΔ	21
2.3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	22
2.4 POSTGRESQL	23
2.4.1 ΤΥΠΟΙ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ POSTGRESQL	24
2.5 POSTGIS	24
2.5.1 Ο ΤΥΠΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ Ο ΜΟΡΦΟΤΥΠΟΣ WELL KNOWN TEXT	24
2.5.2 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	25
2.6 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ROCKWORKS	26
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΑΣΗΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA MODELING)	28
3.1 ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ	28
3.1.1 ΓΛΩΣΣΑ UML	29
3.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ - ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ	30
3.2 ΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ	34
3.3 ΦΥΣΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ	35
4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ	36
4.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	36
4.1.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	36
4.1.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	36

4.1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ _____	37
4.1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ _____	38
4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ _____	39
4.2.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ _____	42
4.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ _____	49
4.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ _____	56
4.3.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ _____	57
4.3.2. ΧΩΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ _____	57
4.3.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ _____	58
4.3.4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΕ ΜΠΛΟΚ _____	58
4.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ _____	60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ _____	65
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ _____	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ _____	68

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ -I-

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ POSTGRESQL _____	71
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΟΝΣΟΛΑΣ COMMAND PROMPT _____	71
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΒΑΣΗ _____	73
ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ _____	81

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ -II-

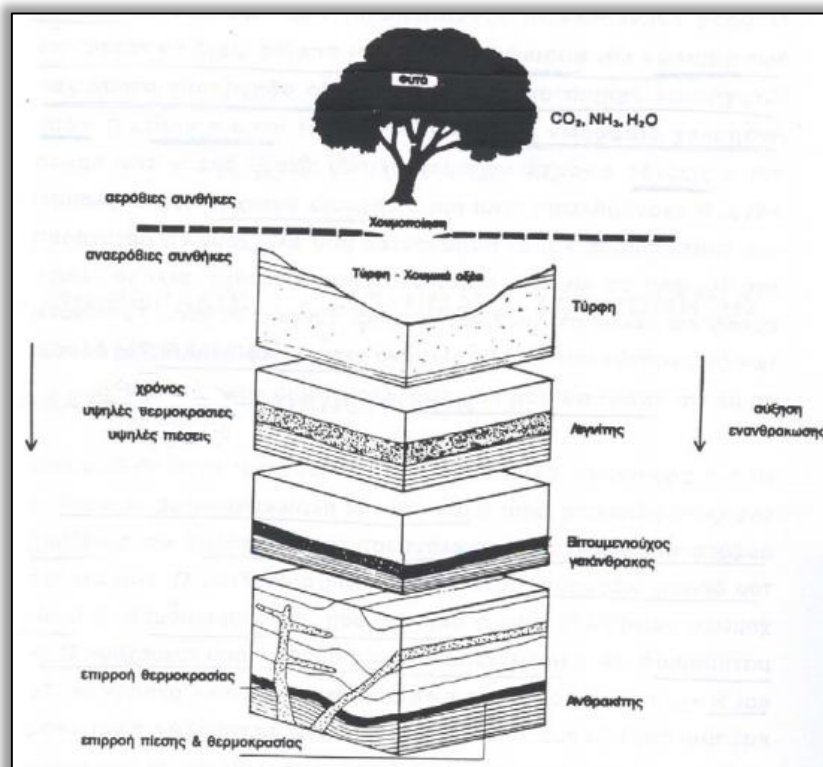
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ _____	84
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΝΕΟΥ ΕΡΓΟΥ ΠΡΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ _____	84
ΣΥΝΔΕΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ POSTGRESQL ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ _____	85
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ _____	88
ΧΑΡΤΟΣΥΝΘΕΣΗ ΘΕΣΕΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ – ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ GOOGLE EARTH _____	90
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΤΙΒΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ _____	94
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 3-D ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΩΝ ΣΤΗΛΩΝ _____	95
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΧΝΟΥΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΩΝ ΣΤΗΛΩΝ ΣΕ 2-D ΤΟΜΗ _____	98
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 3-D ΧΩΡΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΛΙΘΟΛΟΓΙΑΣ _____	101

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά περί λιγνίτη

Ο λιγνίτης είναι ένα ορυκτό στερεό καύσιμο το οποίο δημιουργήθηκε στα έγκατα της γης ύστερα από μακροχρόνιες διαδικασίες που έδρασαν σε υπολείμματα φυτών (αυτές οι μακροχρόνιες διαδικασίες ονομάστηκαν διεργασίες ενανθράκωσης επειδή έχουν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα). Οι λιγνιτικές λεκάνες αποτελούσαν αβαθείς λίμνες και έλη όπου αναπτύσσονταν πλούσια βλάστηση. Με την πάροδο του χρόνου μεγάλες ποσότητες φυτικού υλικού, κάτω από την πίεση γαιωδών υλικών και με την επίδραση μικροοργανισμών, μετατράπηκαν σταδιακά σε λιγνίτη^[1].

Μέσω των διεργασιών ενανθράκωσης σχηματίζονται οι ορυκτές καύσιμες ύλες που ονομάζονται γαιάνθρακες. Όσο πιο μεγάλος είναι ο βαθμός ενανθράκωσης του γαιάνθρακα τόσο πιο πλούσιος είναι αυτός σε άνθρακα, συνεπώς τόσο πιο μεγάλη είναι η θερμαντική του ικανότητα και έτσι τόσο πιο καλό καύσιμο αποτελεί. Το αρχικό στάδιο της ενανθράκωσης έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή των φυτών σε τύρφη, που είναι ο πιο φτωχός σε άνθρακα γαιάνθρακας. Με την πάροδο του χρόνου, την επίδραση της θερμοκρασίας και της πίεσης η τύρφη μετατρέπεται σε λιγνίτη. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, για τον σχηματισμό 1m³ λιγνίτη έχει υπολογιστεί ότι απαιτείται ένα χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από 1000 έως 4000 χρόνια.



Εικόνα 1: Η διαδικασία της τυρφοποίησης και ενανθράκωσης του νεκρού φυτικού υλικού.

Οι λιγνίτες περιέχουν ποικίλο ποσοστό στοιχειακού άνθρακα (C) εξαρτώμενο από το είδος της φυτικής ύλης, από την οποία προέρχονται, αλλά και από το βαθμό ενανθράκωσης και τις συνθήκες με τις οποίες έγινε η διεργασία αυτή. Εκτός του άνθρακα, που αποτελεί το κύριο συστατικό τους, περιέχουν υδρογόνο, οξυγόνο, θείο, μικρή ποσότητα αζώτου και ανόργανων προσμείξεων. Τέλος, περιέχουν και ποσοστό υγρασίας, το οποίο ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την ποιότητά τους και τις κοιτασματολογικές τους συνθήκες. Η θερμαντική ικανότητα (θερμογόνος δύναμη) των λιγνιτών είναι 3 έως και 7 φορές μικρότερη από αυτήν του λιθάνθρακα και 5 έως 10 φορές μικρότερη από αυτήν του πετρελαίου. Το ειδικό βάρος του λιγνίτη κυμαίνεται από 1,09 gr/cm³ έως 1,40 gr/cm³.

1.2 Τρόπος δημιουργίας των Ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων

Τα σημαντικότερα λιγνιτικά κοιτάσματα σχηματίστηκαν σε αβαθείς λίμνες και έλη κλειστών ενδοηπειρωτικών λεκανών (κατά την νεοτριτογενή και τεταρτογενή γεωλογική περίοδο) με κύριο χαρακτηριστικό τους τον έντονο τεκτονισμό.

Κατά τη διάρκεια του Νεογενούς, αλλά και του Τεταρτογενούς γενικότερα, ο ελλαδικός χώρος χαρακτηριζόταν από έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα, η οποία είχε ως αποτέλεσμα να αναπτυχθεί ένα μεγάλος αριθμός κύριων και δευτερευόντων ρηγμάτων, οδηγώντας στο σχηματισμό απομονωμένων ενδοηπειρωτικών ή παράκτιων λεκανών. Απ' αυτές οι ηπειρωτικές αποτελούν το 70% περίπου των νεογενών λιγνιτοφόρων λεκανών, ενώ οι παράκτιες αποτελούν αντίστοιχα το υπόλοιπο 30%.

Ωστόσο, τα σημαντικότερα ελληνικά κοιτάσματα σχηματίστηκαν σε ηπειρωτικές λεκάνες οι οποίες δεν είχαν καμιά επικοινωνία με τη θάλασσα. Στις λεκάνες αυτές, που βρίσκονται στο εσωτερικό της χέρσου, σχηματίστηκαν τα μεγαλύτερα κοιτάσματα της χώρας, όπως είναι αυτά της Πτολεμαΐδας, Φλώρινας, Μεγαλόπολης κ.ά., χωρίς να έχουν ακόμη εξαντληθεί οι έρευνες τόσο σ' αυτές όσο και σε άλλες ηπειρωτικές λεκάνες, όπως π.χ. της Δράμας, όπου ανακαλύφθηκαν πρόσφατα τεράστια αποθέματα λιγνίτη.

Γεωχρονολογικά, οι κύριες φάσεις σχηματισμού ορυκτών ανθράκων (ενδοηπειρωτικών λεκανών) συμπίπτουν με το Νεογενές (Μειόκαινο-Πλειόκαινο), στο οποίο ανήκουν το 77% των γνωστών λιγνιτικών κοιτασμάτων (με σημαντικότερα αυτά της Πτολεμαΐδας, Κοζάνης, Αλιβερίου κ.ά.) και κατά δεύτερο λόγο (14%) με το Τεταρτογενές (τα σημαντικότερα αυτών είναι τα τυρφοειδούς τύπου λιγνίτη κοιτάσματα της Μεγαλόπολης και της Δράμας, η τύρφη των Φιλίππων και της Έδεσσας). Αυτές οι λιγνιτικές αποθέσεις είναι πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας, καθώς παρέχουν τον κύριο όγκο πρώτης ύλης για ηλεκτροπαραγωγή. Στους Παλαιογενείς σχηματισμούς (Ηώκαινο-Ολιγόκαινο) ανήκουν κατά κανόνα κοιτάσματα παράκτιων λεκανών, π.χ. της Αλεξανδρούπολης, του Πενταλόφου (Ν. Κοζάνης), των Γρεβενών, των Ζαγοριών (Ν. Ιωαννίνων) κ.ά. Μέσα σε θαλάσσια ιζήματα παρεμβάλλονται λιμναίες και τελματικές αποθέσεις, από τις οποίες προέκυψαν φακοειδή στρώματα λιγνίτη καλής ποιότητας. Λόγω των γενικά περιορισμένων διαστάσεών τους τα κοιτάσματα αυτά δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο μεταλλευτικό ενδιαφέρον

¹ Στην Ελλάδα ο λιγνίτης δημιουργήθηκε από τις αρχές του Καινοζωϊκού αιώνα μέχρι τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους.

1.3 Γενικά στοιχεία περιοχής έρευνας

1.3.1 Γεωλογικά στοιχεία περιοχής

Τα μεγαλύτερα λιγνιτικά αποθέματα της χώρας βρίσκονται στην τεκτονική τάφρο της Δυτικής Μακεδονίας. Η λιγνιτοφόρα λεκάνη Φλώρινας-Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης-Σερβίων-Ελασσόνας αποτελεί τμήμα της μεγάλης τεκτονικής τάφρου μήκους > 120 km, που εκτείνεται από το Μοναστήρι (πρώην Γιουγκοσλαβική Δημ. Μακεδονίας) μέχρι την Ελασσόνα, νότια του Αλιάκμονα ποταμού.

Ο άξονας της τάφρου έχει ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, παράλληλη με τον άξονα των Ελληνίδων. Γεωτεκτονικά η περιοχή ανήκει στην Πελαγονική ζώνη. Η τάφρος δημιουργήθηκε από τη ρηξιγενή τεκτονική του Νεογενούς. Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο επεκράτησαν εφελκυστικές τάσεις με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, που δημιούργησαν το κύριο βύθισμα με ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης. Κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο και το Τεταρτογενές εφελκυστικές τάσεις ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης χώρισαν το αρχικό βύθισμα σε επιμέρους λεκάνες, που οριοθετούνται από ΒΑ-ΝΔ ρήγματα. Σχηματίστηκαν έτσι οι λεκάνες Φλώρινας, Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας, Κοζάνης-Σερβίων και Ελασσόνας.

Οι Νεογενείς αποθέσεις των παραπάνω λεκανών διακρίνονται σε τρεις σειρές:

- την κατώτερη σειρά (σχηματισμός λιγνίτη προς διερεύνηση),
- τη μεσαία σειρά, και
- την ανώτερη σειρά.

Η κατώτερη σειρά αποτελείται στη βάση της από ένα γνευσιακό κροκαλοπαγές, το οποίο μεταβαίνει προς τα πάνω σε μάργες, αμμώδεις μάργες, άμμους, ιλύες, αργίλους και λιγνίτες. Το περιβάλλον απόθεσης ήταν ποτάμιο, ποταμολιμναίο και τοπικά τελματικό. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Ανω Μειοκαινική μέχρι Κάτω Πλειοκαινική, όπως διαπιστώθηκε από μακροπαλαιοβοτανικούς και παλυνολογικούς προσδιορισμούς.

Ο μεσαίος σχηματισμός χαρακτηρίζεται από μεγάλου πάχους στρώματα λιγνιτών, που εναλλάσσονται με στρώματα αργίλων, ιλύων, αμμωδών αργίλων και μαργών. Το περιβάλλον απόθεσης ήταν κύρια λιμναίο και λιμνοτελματικό. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Πλειοκαινική σύμφωνα με παλυνολογικές μελέτες.

Ο ανώτερος σχηματισμός αποτελείται από τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Το πάχος τους δεν είναι σταθερό, αλλά κυμαίνεται από λίγα μέτρα μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Τα ιζήματα κάθονται ασύμφωνα πάνω στα Πλειοκαινικά στρώματα. Η αιτία της ασυμφωνίας είναι ο τεκτονισμός του Ανώτερου Πλειοκαινού-Κατώτερου Πλειστοκαίνου. Τα ιζήματα είναι κύρια ποτάμια (άμμοι και κροκάλες), ενώ τοπικά απαντώνται άργιλοι και μάργες, μικρού πάχους λιγνιτικά στρώματα και τύρφη.

1.3.2 Ο λιγνίτης της κατώτερης σειράς

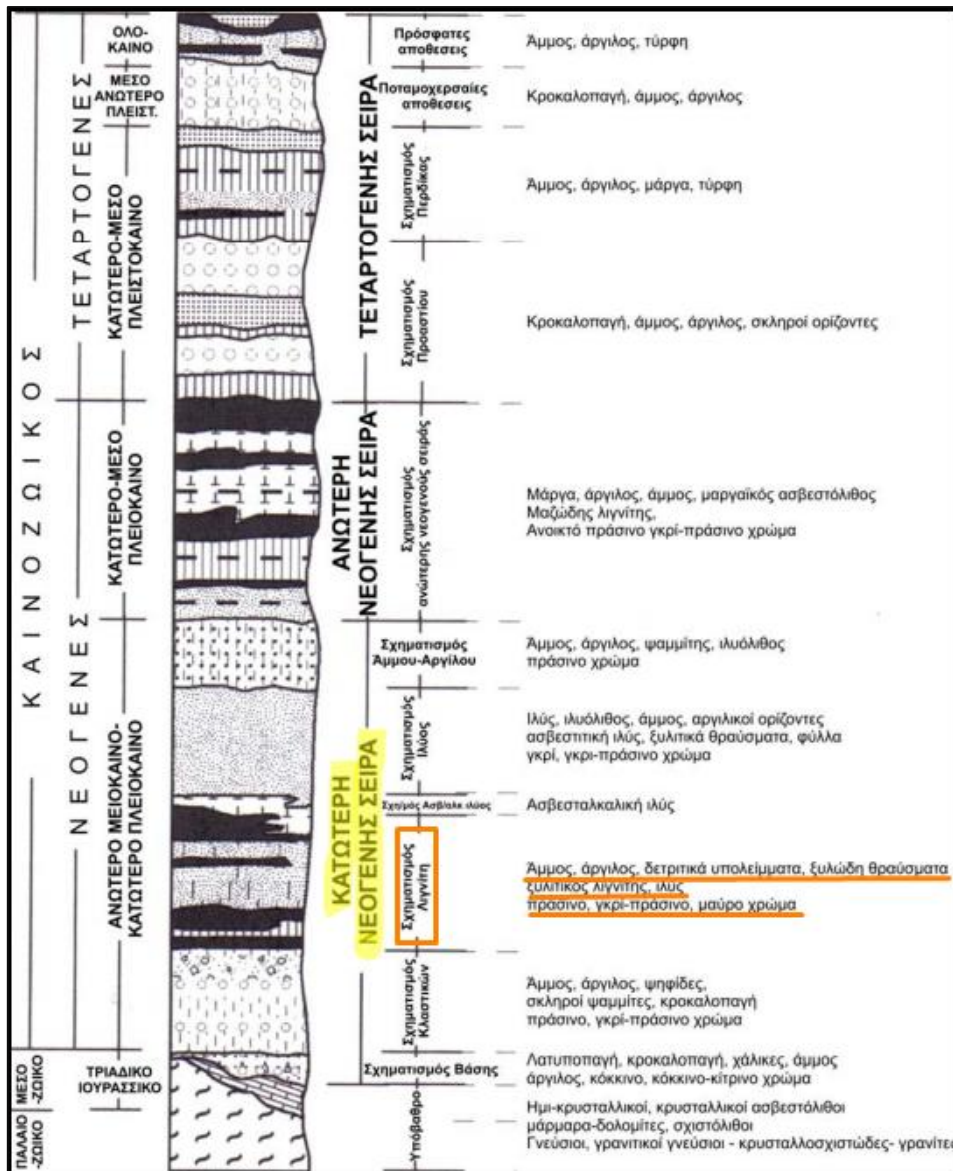
Η κατώτερη νεογενή σειρά αποτελείται από ιζήματα του κατώτερου νεογενούς, δηλαδή χερσαίες, ποτάμιες, χειμάρρειες, λιμναίες και ελώδεις αποθέσεις, που αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειοκαίνου - Κατώτερου Πλειοκαίνου. Ο λιγνίτης του κατώτερου σχηματισμού -ο οποίος εμφανίζεται στη λιθοστρωματογραφία των γεωτρητικών δεδομένων που θα επεξεργαστούν - είναι σκληρός, καστανόχρωμος, και εμφανίζει έντονα τη δομή και υφή του ξύλου, πρόκειται δηλαδή για ξυλιτικό λιθότυπο. Τα ιζήματα στα οποία φιλοξενείται είναι κυρίως ιλύες, μέσα στις οποίες υπάρχουν κατά θέσεις φακοί άμμου, αργίλου και μάργας.

Απαντάται στα ανατολικά περιθώρια των λεκανών Φλώρινας-Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας και περιλαμβάνει τα κοιτάσματα Αχλάδας, Βεύης και Κλειδιού στη λεκάνη της Φλώρινας, τα κοιτάσματα Βεγόρας και Κομνηνών στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας, όπως επίσης και τα κοιτάσματα Λάβας και Προσηλίου στη λεκάνη Σερβίων. Το πάχος της λιγνιτοφόρας αυτής σειράς μειώνεται προοδευτικά προς τα δυτικά μέχρι πλήρους αποσφήνωσης, ενώ επανεμφανίζεται στο νότιο τμήμα της ευρύτερης λεκάνης (Steenbrink et al., 2000, Metaxas et al., 2007). Δεν σχηματίζει εκτεταμένα στρώματα, αλλά λόγω τεκτονισμού έχει αποθεθεί σε πολλά μικρά τμήματα των λεκανών, γειτονικά μεταξύ τους. Ο ξυλίτης προήλθε από δασοτυρφώνες με κωνοφόρα κυρίως δένδρα, που αναπτύσσονταν σε ένα σχετικά πιο θερμό και υγρό κλίμα από το σημερινό.



Εικόνα 2: Λιγνίτης ξυλιτικού λιθότυπου.

Στη λεκάνη της Φλώρινας κυριαρχεί ο ξυλιτικός λιγνίτης. Τα βέβαια αποθέματα ξυλίτη ανέρχονται σε 424 Mt, ενώ τα τεχνικοοικονομικά απολήψιμα σε 192 Mt. Από πλευράς βαθμού ενανθράκωσης ο ξυλίτης της Φλώρινας κατατάσσεται στους μαλακούς λιγνίτες. Είναι καλής ποιότητας με μέση υγρασία 30%, μέση τέφρα (επί ξηρού) 27% και μέση κατώτερη θερμοκρατική ικανότητα (σε φυσική κατάσταση) 2.200 kcal/kg (Κ. Κούκουζας κ.ά. 1996).

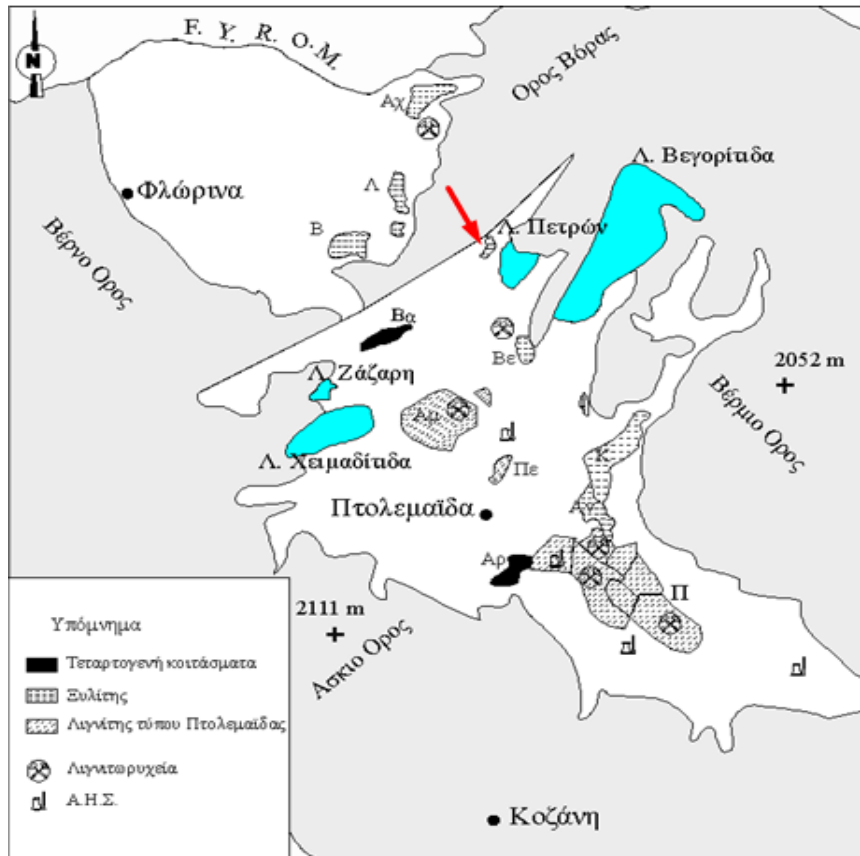


Εικόνα 3: Γενικευμένη λιθοστρωματογραφική στήλη των λιγνιτοφόρων λεκανών Φλώρινας, Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, Κοζάνης και Σαραντάπορου (Metaxas et al., 2007).

1.3.3 Γεωγραφική θέση του λιγνιτικού κοιτάσματος

Το λιγνιτωρυχείο του Κλειδιού αναπτύσσεται περιμετρικά και βορειοανατολικά της κοινότητας Κλειδί σε απόσταση περίπου 18 km ανατολικά της πόλης της Φλώρινας και 2 km βορειοδυτικά της λίμνης Πετρών. Ο αδειοδοτημένος χώρος εξόρυξης βρίσκεται σε απόσταση περίπου 800 m νοτιοδυτικά της κοινότητας της Βεύης, 3,5 km νοτιοδυτικά της κοινότητας Κέλλη και 1,2 km βορειοανατολικά της κοινότητας Πέτρες. Η λεκάνη, υπό μορφή διαύλου, στενεύει προοδευτικά προς τα ΒΔ ενώ ΝΑ προς τη περιοχή Πετρών διευρύνεται με προοδευτική μείωση των υψομέτρων.

Η γεωγραφική θέση της αδειοδοτημένης περιοχής εξόρυξης δίνεται από τη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4: Γεωγραφική θέση του προς μοντελοποίηση λιγνιτικού κοιτάσματος.

Το λιγνιτωρυχείο Κλειδιού είχε μελετηθεί να παρουσιάσει δυναμικότητα παραγωγής κατά μέσο όρο 0,985 Mt λιγνίτη το χρόνο. Το 2008 τροφοδότησε τον ΑΗΣ Μελίτης-Αχλάδας με 470.000 τόνους λιγνίτη και η εξορυκτική του δραστηριότητα διακόπηκε^[4]. Το ορυχείο βρίσκεται σε φάση εκτίμησης νέας περιβαλλοντικής χωροθέτησης των εξωτερικών αποθέσεων καθώς οι αρχικές θέσεις απόθεσης παρουσίασαν αστοχίες.

1.3.4 Κατάσταση λειτουργίας λιγνιτωρυχείου

Το προς διερεύνηση ορυχείο ξεκίνησε τη λειτουργία του το έτος 2006 ενώ παραγωγή λιγνίτη επιτεύχθηκε το έτος 2007.

Η μέθοδος εκμετάλλευσης που είχε επιλεγεί για το συγκεκριμένο ορυχείο ήταν η υπαίθρια εξόρυξη με πολλαπλές βαθμίδες λόγω της μικρής οριζόντιας ανάπτυξης του κοιτάσματος, του μεγάλου βάθους του και της πολυστρωματικότητας.

Η αρχική διάνοιξη έγινε στο βόρειο τμήμα του κοιτάσματος σε υψόμετρο 820 μέτρων περίπου με ανατολική - νοτιοανατολική διεύθυνση εκσκαφής μέχρι το νότιο τμήμα. Κατά το τελευταίο στάδιο εκμετάλλευσης του Πεδίου είχε προβλεφθεί η μετεγκατάσταση της κοινότητας της περιοχής καθώς στο υπέδαφός της βρίσκεται ένα από τα πλουσιότερα τμήματα του λιγνιτικού κοιτάσματος.

1.4 Μέθοδος εκμετάλλευσης των λιγνιτικών κοιτασμάτων

Τα κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά των πολυστρωματικών κοιτασμάτων Δυτικής Μακεδονίας και Μεγαλόπολης σε συνδυασμό με τους αναγκαίους υψηλούς ρυθμούς παραγωγής, επέβαλαν από την έναρξη της λιγνιτικής δραστηριότητας την επιλογή της επιφανειακής εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων με την εφαρμογή της συνεχούς εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης με σύστημα «ορθών βαθμίδων». Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής καθορίζεται α) από τη μορφή του κοιτάσματος, το οποίο αποτελείται από εναλλασσόμενες στρώσεις λιγνίτη και αγόνων ποικίλου πάχους και συνεπώς απαιτεί εκλεκτική εξόρυξη του λιγνίτη αλλά και β) από την απαίτηση για υψηλή παραγωγή.

Η μέθοδος αυτή συνδυάζει τη χρησιμοποίηση ηλεκτροκίνητων μηχανημάτων μεγάλης δυναμικότητας συνεχούς λειτουργίας, εκσκαφής (καδοφόροι εκσκαφείς), μεταφοράς (ταινιόδρομοι) και απόθεσης (αποθέτες).

Το πεδίο εφαρμογής της μεθόδου είναι οι επιφανειακές εκμεταλλεύσεις πολυστρωματικών κοιτασμάτων μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης και μεγάλου πάχους που καλύπτονται από γεωλογικά νεότερους και μεγάλου πάχους υπερκείμενους σχηματισμούς, ενώ παράλληλα οι σχηματισμοί αυτοί είναι χαλαρά συνδεδεμένοι, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εξόρυξή τους με καδοφόρους εκσκαφείς συνεχούς λειτουργίας και η μεταφορά τους με ταινιοδρόμους.

Για την εφαρμογή της μεθόδου είναι απαραίτητη η διάνοιξη τάφρου εκμεταλλεύσεως από τα όρια του κοιτάσματος η οποία θα κινηθεί στροφικά ή παράλληλα προς τον εαυτό της και θα "σαρώσει" το κοιτάσμα μέχρι την εξόφλησή του.



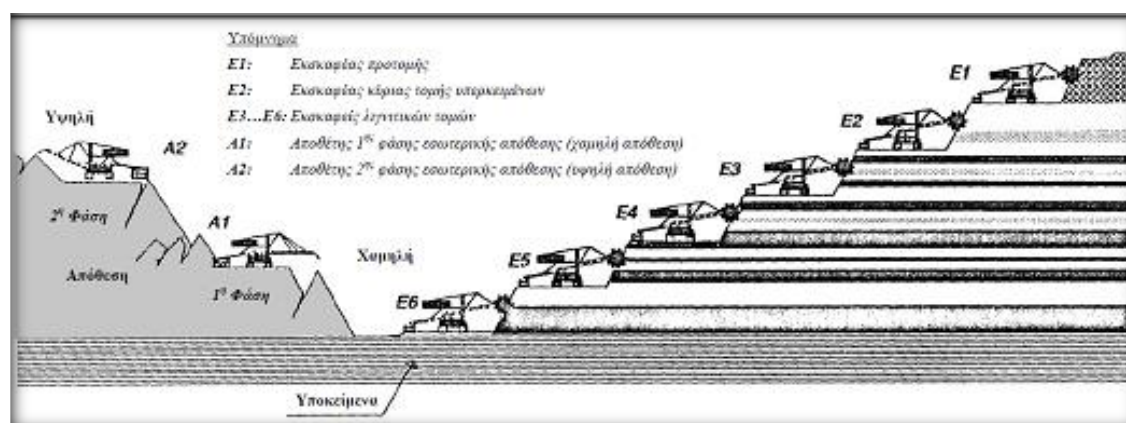
Εικόνα 5: Εκμετάλλευση λιγνιτικού κοιτάσματος με καδοφόρο εκσκαφέα.

Το κύριο χαρακτηριστικό της τάφρου είναι η ανάπτυξη από την πλευρά της προχώρησης συστήματος βαθμίδων που συνήθως καλούνται "τομές", επί των οποίων εγκαθίσταται και λειτουργεί ο μηχανικός εξοπλισμός εκσκαφής και φόρτωσης, ενώ από την απέναντι πλευρά ο εξοπλισμός απόθεσης των αγόνων είναι και αυτός εγκατεστημένος και λειτουργεί σε ανάλογες βαθμίδες.

Για την εξόρυξη των σκληρών υπερκείμενων σχηματισμών που απαντώνται σε ορισμένες περιοχές και καθιστούν την εκμετάλλευση του λιγνίτη με τη μέθοδο της συνεχούς λειτουργίας δυσχερή ή/και αδύνατη, εφαρμόζονται μέθοδοι ασυνεχούς λειτουργίας, με τη χρήση συμβατικού εξοπλισμού (φορτωτών, μηχανικών ή υδραυλικών πτύων (shovels), φορτηγών αυτοκινήτων, ανατρεπόμενων οχημάτων (dumpers) κλπ., με την χρήση ή μη εκρηκτικών υλών.

Τα κύρια βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι:

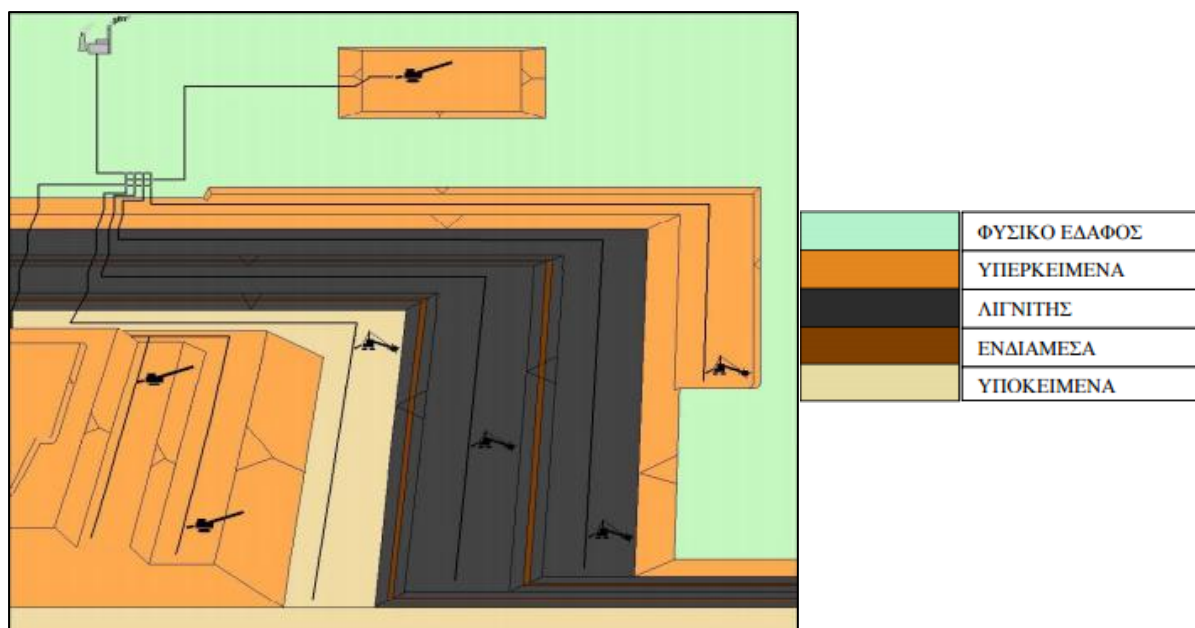
- Η εκλεκτική Απόληψη του αποθέματος.
- Η συνεχής ροή του εξορυγμένου υλικού.



Εικόνα 6: Ενδεικτική διάταξη εξοπλισμού για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης με τη μέθοδο επιφανειακής εκμετάλλευσης συνεχούς εξόρυξης και απόθεσης με σύστημα πολλαπλών βαθμίδων σε τομή.

Ο κύριος (πάγιος) εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος είναι ηλεκτροκίνητος, με συνέπεια τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία του εξοπλισμού. Ο εξοπλισμός εκσκαφής και φόρτωσης συνδέεται με τον αντίστοιχο εξοπλισμό της απόθεσης μέσω συστήματος ταινιοδρόμων. Παράλληλα με τη λειτουργία του βασικού εξοπλισμού (εκσκαφείς, ταινιόδρομοι και αποθέτες), χρησιμοποιείται και άλλου είδους εξοπλισμός (βοηθητικός) που περιλαμβάνει μηχανικά πτύα, φορτωτές, αυτοκίνητα, αποξεστήρες, όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο, πάντοτε όμως υποβοηθητικά.

Οι εκτάσεις γης που δεσμεύονται για την ανάπτυξη του ορυχείου ελευθερώνονται σταδιακά με την πρόοδο της εκμετάλλευσης. Η διαδικασία αποκατάστασης και αναδιαμόρφωσης του αναγλύφου των εσωτερικών και των εξωτερικών αποθέσεων, καθώς και των κενών που αναπόφευκτα απομένουν, αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα των λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων. Οι νέες εκτάσεις που προκύπτουν αποδίδονται, είτε για γεωργικές ή κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, είτε αποτελούν τον βασικό χώρο για την ανάπτυξη δασών και λιμνών σε μεγάλη κλίμακα.



Εικόνα 7: Μέθοδος συνεχούς εξόρυξης-μεταφοράς-απόθεσης σε κάτοψη (Πηγή: Ρούμπος Χ. (2013) «Μεταλλευτικός Σχεδιασμός», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης).

Η μέθοδος εφαρμόζεται με επιτυχία για περισσότερα από 50 έτη στη λειτουργία των περισσότερων ορυχείων της Ελλάδας και από την εφαρμογή της έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται, επίσης, συστηματικά και σε ευρεία κλίμακα, στις εκμεταλλεύσεις λιγνιτών της Γερμανίας, αλλά και άλλων χωρών της Ευρώπης.

1.5 Κατάταξη αποθεμάτων

Η επενδυτική απόφαση για τη δημιουργία μιας μεταλλευτικής βιομηχανικής εγκατάστασης (μεταλλείο, εργοστάσιο εμπλουτισμού, μεταλλουργία) βασίζεται κυρίως στα αποθέματα του μεταλλεύματος. Ο υπολογισμός των αποθεμάτων είναι αποτέλεσμα των ερευνητικών εργασιών, γεωτρήσεων και γεωλογικών εκτιμήσεων. Για αυτόν το λόγο, εμπεριέχει μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας που εξαρτάται από τον βαθμό της έρευνας. Περισσότερες ερευνητικές εργασίες μειώνουν, αλλά δεν μηδενίζουν τον βαθμό της αβεβαιότητας.

Είναι δεδομένο ότι μεγαλύτερη πυκνότητα ερευνητικών εργασιών οδηγεί σε διαφορετική γνώση σε σχέση με την ποσότητα του μεταλλεύματος, την περιεκτικότητα σε χρήσιμα συστατικά κ.λπ. και, κατά συνέπεια, σε διαφοροποιήσεις ως προς τον βαθμό της αβεβαιότητας που υπεισέρχεται στην τελική απόφαση εκμετάλλευσης. Από την άλλη μεριά, αύξηση της πυκνότητας των ερευνητικών εργασιών σημαίνει μεγαλύτερο κόστος και αύξηση του χρόνου έρευνας. Έτσι, η εκτίμηση του βαθμού αβεβαιότητας και η παραμονή του μέσα σε ορισμένα όρια έχουν καίρια σημασία για τον σχεδιασμό της έρευνας και την τελική απόφαση εκμετάλλευσης. Η έκφραση αυτής της αβεβαιότητας σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων οδηγεί στην ανάγκη κατάταξης των αποθεμάτων σε κατηγορίες (βέβαια, πιθανά, δυνατά κ.λπ.). Ο χαρακτηρισμός αυτός, με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές για τις προαπαιτούμενες ερευνητικές εργασίες, υπήρξε ο μοναδικός τρόπος

συστηματικής έκφρασης της αβεβαιότητας την εποχή που οι στατιστικές μέθοδοι εκτίμησης αποθεμάτων δεν είχαν λάβει τη σημερινή εξάπλωση.

Οι πρώτοι χαρακτηρισμοί των κατηγοριών των αποθεμάτων (βέβαια, πιθανά, δυνατά κ.λπ.) είναι καθαρά περιγραφικοί και εμπεριέχουν μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας, βασισμένης στην πείρα και του μελετητή.

Η κατάταξη των αποθεμάτων σε κατηγορίες παραμένει και συστηματοποιείται. Το κύριο πρόβλημα, όμως, του όλου εγχειρήματος είναι υπαρκτό. Η έλλειψη ενός ενιαίου συστήματος ταξινόμησης σε παγκόσμιο επίπεδο οφείλεται στο ότι κάθε σύστημα δημιουργήθηκε για να ικανοποιήσει συγκεκριμένες ανάγκες, διαφορετικές το ένα από το άλλο.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούν τα περισσότερα συστήματα κατάταξης για τη διάκριση των αποθεμάτων σε κατηγορίες, τα οποία μερικές φορές δεν είναι διατυπωμένα με σαφήνεια, διαφέρουν από σύστημα σε σύστημα. Βασικό κριτήριο είναι ο βαθμός γεωλογικής γνώσης, ο οποίος σχετίζεται με τις προαπαιτούμενες ερευνητικές εργασίες και, κατά συνέπεια, με τη γνώση των παραμέτρων του κοιτάσματος (μέγεθος, περιεκτικότητα), εμπεριέχει δε μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας. Δεύτερο βασικό κριτήριο είναι η οικονομικότητα του κοιτάσματος, η οποία σχετίζεται με το δεδομένο οικονομικό και πολιτικό περιβάλλον, τα χαρακτηριστικά της μεταλλοφορίας, καθώς και τις τεχνολογικές δυνατότητες εξόρυξης.

Τα συστήματα αυτά κατάταξης, κατά αύξουσα χρονολογική σειρά δημιουργίας είναι:

- Σύστημα Κατάταξης του I.M.M. (παλαιά πρότυπα, 1912)
- Σύστημα Κατάταξης του U.S.B.M. (1944)
- Σύστημα Κατάταξης των πρώην Ανατολικών Χωρών
- Σύστημα Κατάταξης των Ηνωμένων Εθνών (πρόταση 1979)
- Σύστημα Κατάταξης του G.D.M.B. (1982)
- Σύστημα Κατάταξης του I.G.M.E. (πρόταση 1984)
- Σύστημα Κατάταξης των Ηνωμένων Εθνών (πρόταση 1996)
- Σύστημα κατάταξης του JORC (2012)
- Σύστημα Κατάταξης του PERC (2013)
- Σύστημα Κατάταξης του C.I.M. (2014)

1.5.1 Καναδικό πρότυπο

Ως το πιο πρόσφατο και πλέον αναγνωρίσιμο, το σύστημα κατάταξης του C.I.M. (Canadian Institute of Mining) δίνει μια άμεση σχέση μεταξύ των ορυκτών πόρων και των αποθεμάτων, καθώς και μεταξύ των μετρημένων ορυκτών πόρων και των βεβαιωμένων αποθεμάτων. Αναλυτικότερα, το επίπεδο εμπιστοσύνης των πιθανών αποθεμάτων είναι όμοιο με εκείνο των δεικνυόμενων ορυκτών πόρων. Αντίστοιχα, το επίπεδο εμπιστοσύνης των βεβαιωμένων αποθεμάτων είναι όμοιο με εκείνο των μετρημένων ορυκτών πόρων (C.I.M. Standing Committee on Reserves Definition 2014).

Στον παρακάτω πίνακα ορίζεται το πλαίσιο ταξινόμησης των ορυκτών πόρων και των αποθεμάτων, η κατάταξη των οποίων γίνεται ανάλογα με το επίπεδο εμπιστοσύνης των κοιτασματολογικών χαρακτηριστικών τους και την τεχνική και οικονομική τους αξιολόγηση.

Οι ορυκτοί πόροι μπορούν να εκτιμηθούν με βάση τις γεωλογικές πληροφορίες, καθώς και τις εύλογες παραδοχές οι οποίες αφορούν τεχνικούς και οικονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν την οικονομικότητα της εξόρυξης. Τα αποθέματα αποτελούν ένα τροποποιημένο υποσύνολο των μετρημένων ορυκτών πόρων. Η ταξινόμησή τους απαιτεί την αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν την οικονομικότητα της εξόρυξης, όπως οι μεταλλευτικοί, οι μεταλλουργικοί, οι οικονομικοί, οι νομικοί, οι εμπορικοί, οι περιβαλλοντικοί, οι κοινωνικο-οικονομικοί και οι κυβερνητικοί παράγοντες, και πρέπει να γίνεται με δεδομένα από ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων.

Πίνακας 1: Ταξινόμηση αποθεμάτων κατά το Καναδικό πρότυπο CIM



Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μετρημένοι ορυκτοί πόροι μπορεί να θεωρηθούν ως πιθανά αποθέματα εξαιτίας αβεβαιοτήτων που συνδέονται με τους παράγοντες που λαμβάνονται υπ' όψιν και επηρεάζουν την επαναταξινόμηση των ορυκτών πόρων σε αποθέματα. Η σχέση αυτή παρουσιάζεται με διακεκομμένη γραμμή.

Ουσιαστικά, αυτό που κατά το πρότυπο του CIM αποκαλείται «ορυκτός πόρος» είναι τα γεωλογικά αποθέματα ενός κοιτάσματος, ενώ αυτό που αποκαλείται «ορυκτό απόθεμα» είναι το οικονομικώς εκμεταλλεύσιμο μέρος ενός κοιτάσματος. Το πρότυπο ορίζει ότι για να χαρακτηριστεί ένα μέρος κάποιου κοιτάσματος ως «ορυκτό απόθεμα», θα πρέπει να έχει γίνει τουλάχιστον μία προκαταρκτική οικονομικοτεχνική μελέτη που να αποδεικνύει την εκμεταλλευσιμότητά του.

1.6 Εκτίμηση αποθεμάτων - Αναφορά προβλήματος

Κυρίαρχο πρόβλημα στο μεταλλευτικό σχεδιασμό αποτελεί η γνώση της τιμής της παραμέτρου ενδιαφέροντος σε όλο τον χώρο που χαρακτηρίζεται γεωλογικά ως κοιτάσμα. Ανάλογο πρόβλημα είναι και η περίπτωση όπου τη θέση του κοιτάσματος κατέχει ένας οποιοσδήποτε γεωλογικός σχηματισμός. Ενώ στην περίπτωση του κοιτάσματος, κατά κανόνα, ενδιαφέρει η περιεκτικότητα ή το πάχος του για να αξιολογηθεί η οικονομικότητά του, στη γενικότερη περίπτωση ενός γεωλογικού σχηματισμού μπορεί να είναι χρήσιμη η γνώση παραμέτρων τεχνικής γεωλογίας όπως το πορώδες, η γεωμετρία και ο προσανατολισμός των διακλάσεων, η αντοχή, κ.λπ.

Η ιδιομορφία των λιγνιτικών κοιτασμάτων, δηλαδή η εναλλαγή των λιγνιτικών στρωμάτων πολύ μικρού πάχους με στρώματα στείρων υλικών και η δυσκολία μοντελοποίησής τους σε συνδυασμό με τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τη μέθοδο εκμετάλλευσης που πρόκειται να εφαρμοστεί, συνθέτουν μια πολύ μεγάλη δυσκολία για την ασφαλή εκτίμηση των αποθεμάτων κατά τον μεταλλευτικό σχεδιασμό.

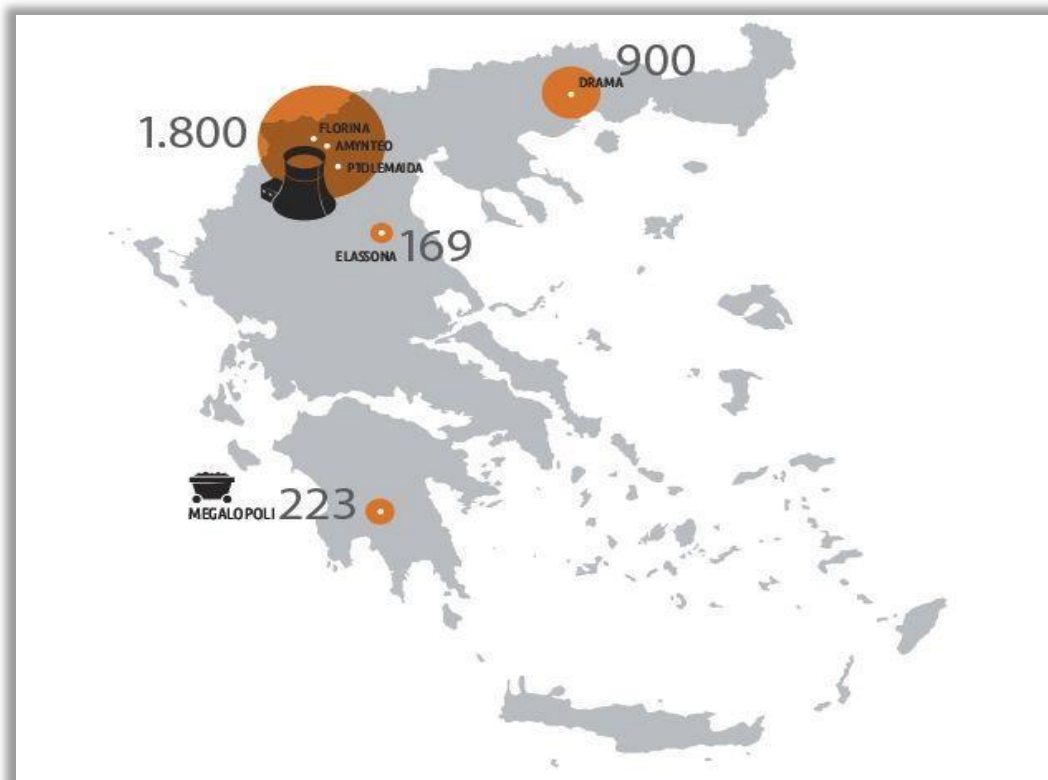
Σε όλες τις περιπτώσεις το ζητούμενο είναι, με αφετηρία τα διαθέσιμα δείγματα, να γίνουν εκτιμήσεις που να καλύπτουν όλο τον χώρο ενδιαφέροντος. Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα πρόβλημα παρεμβολής τιμών. Στον χώρο της μεταλλευτικής είναι γνωστή μια ποικιλία μεθόδων υπολογισμού των αποθεμάτων και εκτίμησης της περιεκτικότητας, όπως η μέθοδος των τομών, η μέθοδος των τριγώνων και των μεσοκαθέτων, η μέθοδος του αντίστροφου τετραγώνου της απόστασης, κ.λπ. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της εκτίμησης ενός πολύπλοκου χωρικού φαινομένου όπως το κοιτάσμα, με την πληρέστερη αξιοποίηση των πληροφοριών από τα δείγματα, τα οποία είναι γενικά περιορισμένα σε αριθμό, τις περισσότερες φορές των περιπτώσεων.

1.6.1 Αποθέματα του Ελληνικού λιγνίτη

Σήμερα, τα επιβεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα υπολογίζονται σε περίπου 5 δις τόνους, όμως δεν είναι όλα τα κοιτάσματα του λιγνίτη κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση (για τεχνικο-οικονομικούς λόγους). Με τα σημερινά τεχνικο-οικονομικά δεδομένα, τα κοιτάσματα λιγνίτη που είναι ενεργειακά εκμεταλλεύσιμα και δεν έχουν εξορυχτεί ακόμα ανέρχονται σε περίπου 3,1 δις τόνους^[2]. Τα κυριότερα κοιτάσματα βρίσκονται:

- στη Δυτική Μακεδονία (περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας) με υπολογισμένο απόθεμα 1,8 δις τόνους,
- στην Πελοπόννησο (περιοχή Μεγαλόπολης), με απόθεμα περίπου 223 εκ. τόνους,
- στην περιοχή της Δράμας με απόθεμα 900 εκ. τόνους
- και στην περιοχή Ελασσόνας με 169 εκ. τόνους.

Από αυτά, τα κοιτάσματα στη Δράμα και την Ελασσόνα δεν έχουν εκμεταλλευτεί.



Εικόνα 8: Γεωγραφική Κατανομή Επιβεβαιωμένων Εκμεταλλεύσιμων Αποθεμάτων (σύνολο 3092 Mt) λιγνίτη στον Ελλαδικό χώρο (πηγή: Heinrich Boll Stiftung για την Ελλάδα - Αποθέματα και χαρακτηριστικά του Ελληνικού Λιγνίτη).

Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων. Δηλαδή, υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσης του υπόλοιπου 71% αυτών των αποθεμάτων για την παραγωγή ενέργειας. Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια^[3].

² Δρ. Π. Τζεφέρη, Δ/ση Πολιτικής και Ερευνών ΥΠΑΠΕΝ (τ. ΥΠΕΚΑ): Η εξορυκτική/μεταλλουργική δραστηριότητα στην Ελλάδα. Στατιστικά δεδομένα 2013-2014.

³ Σύμφωνα με την παρουσίαση την οποία έκανε ο κ. Ι. Καραμπακάκης (Αναπληρωτής Διευθυντής Διεύθυνσης εκμετάλλευσης των ορυχείων) στην Πτολεμαΐδα ανέφερε πως τα επιβεβαιωμένα ενεργειακά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 40 χρόνια. Εντούτοις, στην επίσημη ιστοσελίδα της ΔΕΗ αναφέρει: «Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια». Επιπλέον σύμφωνα με το BP Statistical Review of World Energy June 2010 η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής των λιγνιτικών αποθεμάτων είναι περίπου 62 χρόνια.

1.6.2 Αποθέματα Λιγνιτωρυχείου προς διερεύνηση

Τα αρχικά αποθέματα του προς διερεύνηση ορυχείου είχαν εκτιμηθεί σε 32,64 Mt λιγνίτη, με μέση σχέση εκμετάλλευσης του κοιτάσματος 7,9:1 m³/t υπερκειμένων και ενδιάμεσων ανά τόνο λιγνίτη^[4]. Ειδικότερα, το κοιτάσμα του ορυχείου χωρίστηκε σε τρεις τομείς Α1, Α2 και Α3. Η εξορυκτική δραστηριότητα που προβλέφθηκε γι' αυτό, παρουσιάζεται σε χρονική κατανομή στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2: Χρονική κατανομή εξορυκτικής δραστηριότητας στο λιγνιτωρυχείο.

ΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	1-13	14-18	19-35
Ετήσιες εκσκαφές	5x10 ⁶ m ³	10x10 ⁶ m ³	10x10 ⁶ m ³
Ετήσια παραγωγή λιγνίτη	0,55-0,63x10 ⁶ t	0,8x10 ⁶ t	1.3x10 ⁶ t

Αναλυτικά τα αποθέματα και οι εκσκαφές για κάθε Τομέα όπως αρχικά είχαν σχεδιαστεί, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 3: Αποθέματα και εκτιμώμενες εκσκαφές ανά Τομέα εκμετάλλευσης στο λιγνιτωρυχείο.

ΤΟΜΕΑΣ	ΕΚΣΚΑΦΕΣ (10 ⁶ m ³)	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΛΙΓΝΙΤΗ (10 ⁶ t)	ΣΧΕΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (m ³ /t)	ΜΕΣΗ ΤΕΦΡΑ ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ (%)	ΜΕΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΜΕΣΗ Κ.Θ.Ι. (Kcal/Kg)
Α1	65,22	7,04	8,5	35,06	42,81	1811
Α2	63,48	5,03	11,86	35,00	47,34	1758
Α3	154,27	20,57	6,74	36,67	40,98	1650
ΣΥΝΟΛΟ	282,97	32,64	7,91	36,07	42,36	1701

Το συγκεκριμένο λιγνιτωρυχείο λειτουργήσε για τρία χρόνια από το 2006 έως το 2008 και κατά τα δύο τελευταία παρήγαγε λιγνίτη. Η παραγωγή λιγνίτη το 2007 ήταν 442.000 t, ενώ το 2008 ανήλθε σε 466.000 t. Με νέα κοιτασματολογική μελέτη, τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη από 01/01/2011 προσδιορίστηκαν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα, όπως παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 4: Αποθέματα και εκτιμώμενες εκσκαφές λιγνιτωρυχείου, από 01/01/2011.

ΕΚΣΚΑΦΕΣ (10⁶ m³)	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΛΙΓΝΙΤΗ (10⁶t)	ΣΧΕΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (m³/t)	ΜΕΣΗ Κ.Θ.Ι. (Kcal/Kg)
376,8	42,2	8,1	1750

Κατά τη διάρκεια της εξορυκτικής δραστηριότητας παρουσιάστηκαν προβλήματα λόγω της κλίσης που παρουσίασαν τα στρώματα λιγνίτη καθώς και καταπτώσεων και ολισθήσεων, με αποτέλεσμα τη δυσχέρεια και τελικά τη διακοπή εργασιών.

Αξίζει να αναφερθεί σε ότι αφορά τη περιοχή μελέτης και για την εκτίμηση του υπολογισμού του γεωλογικού αποθέματος^[4] σαν «φυσικός» λιγνίτης, ως παράμετρος καθορισμού λιγνιτικού στρώματος για τον υπολογισμό του αποθέματος από τις μοντελοποιημένες επιφάνειες που θα προκύψουν, θα χαρακτηρίζεται κάθε λιγνιτικό στρώμα με τις ακόλουθες γεωχημικές παραμέτρους:

- **πάχος ≥ 35 cm,**
- **τέφρα επί ξηρού + CO₂ < 70%,**
- **Κατώτερη Θερμογόνος Ικανότητα > 1000 kcal/kg,**

όπως λαμβάνεται από τον πυρήνα της γεώτρησης και περιγράφεται από τον γεωλόγο κατά την αρχική φάση της έρευνας. Το CO₂ συνυπολογίζεται στο ποσοστό της τέφρας επειδή μέσα στο λιγνιτικό στρώμα ή μπλόκ εμπεριέχεται υψηλό ποσοστό CaCO₃, το οποίο κατά την καύση διασπάται σε CaO και CO₂.

Με τον όρο φυσικός λιγνίτης εννοείται ο γεωλογικός λιγνίτης όπως αυτός αναγνωρίζεται μακροσκοπικά στους πυρήνες των γεωτρήσεων και στα μέτωπα εκσκαφής των ορυχείων. Πολλές φορές είναι δύσκολη μακροσκοπικά, η διάκριση ανάμεσα σ' ένα λιγνιτικό στρώμα και σ' ένα ισχυρά ανθρακομιγές αργιλικό ή μαργαϊκό στρώμα. Στις περιπτώσεις αυτές σαν κριτήριο λαμβάνεται η τιμή της τέφρας επί ξηρού.

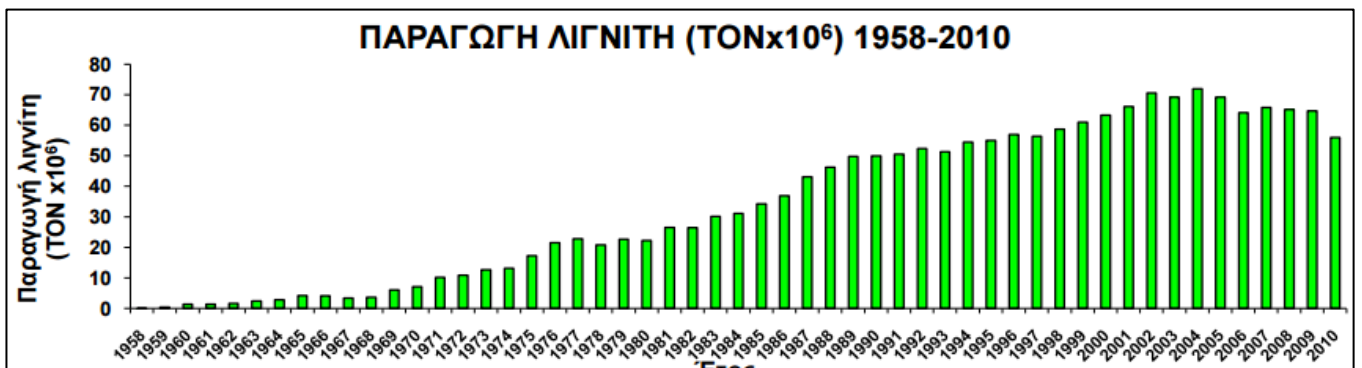
⁴ Σύμφωνα με τη διδακτορική διατριβή του Καραμαλίκη «Προσδιορισμός και έλεγχος ποιότητας λιγνιτικών κοιτασμάτων» και σύμφωνα πάντα με τα απολογιστικά στοιχεία που βασίστηκε στη διατριβή του, τα βεβαιωμένα (μετρήσιμα) γεωλογικά αποθέματα του λιγνιτικού κοιτάσματος του προς διερεύνηση Λιγνιτωρυχείου ήταν **57,7 Mt** για τις οποίες συγκρίσεις χρειαστεί να γίνουν.

1.7 Παραγωγή και οικονομικότητα

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικές ποσότητες λιγνιτικών κοιτασμάτων που η μέχρι σήμερα αξιοποίησή τους συμβάλλει αποφασιστικά στην ενεργειακή ανάπτυξη και αυτονομία της χώρας.

Ο λιγνίτης αποτελεί το σημαντικότερο για την ελληνική οικονομία ενεργειακό καύσιμο, καθώς πάνω του βασίστηκε τα τελευταία 50 χρόνια ο εξηλεκτρισμός της χώρας μας. Χρησιμοποιείται με την καύση του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως και σε άλλες χρήσεις (λιπάσματα, συγκράτηση αερίων και υγρών ρύπων, βελτιωτικό βαθιών γεωτρήσεων κ.ά.).

Η συνολική ετήσια εξόρυξη λιγνίτη έφτασε το μέγιστό της το 2004 με 72 εκατομμύρια τόνους με αντίστοιχες εκσκαφές της τάξης των 336 εκ m³, για να πέσει το 2013 στα 54 εκ. Τόνους^[5].



Διάγραμμα 1: Διαχρονική εξέλιξη της λιγνιτοπαραγωγής στην Ελλάδα.

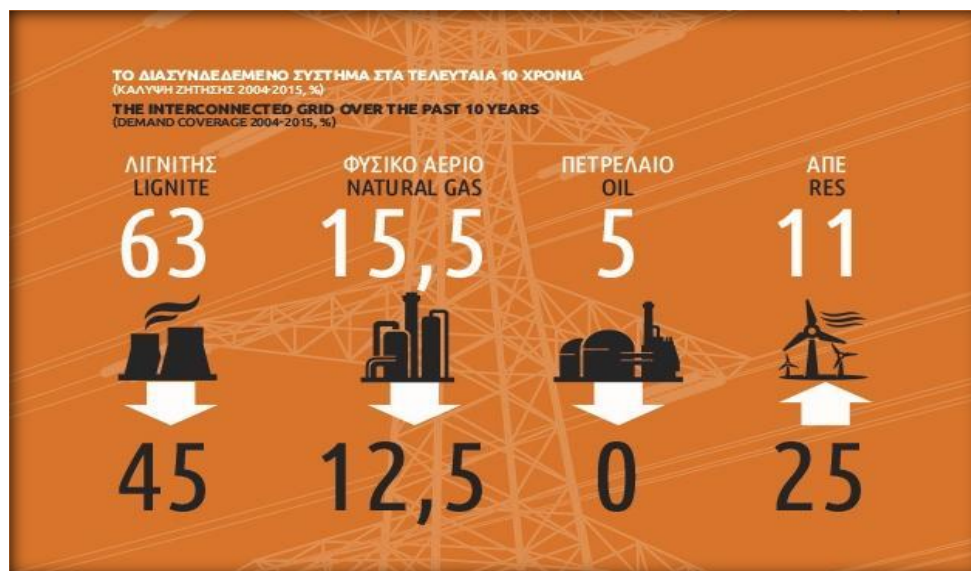
Η εκμεταλλευσιμότητα των λιγνιτικών κοιτασμάτων εκφράζεται κατά βάση με οικονομικά κριτήρια, επηρεάζεται όμως και από άλλες παραμέτρους οι οποίες λαμβάνονται υπόψη στη λήψη ανάλογων αποφάσεων.

Οι ποιότητες και οι ηλικίες των Ελληνικών γαιανθράκων ποικίλουν αρκετά, ενώ για διάφορους λόγους δεν είναι δυνατόν να τύχουν εκμετάλλευσης στο σύνολό τους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω διαφόρων πτητικών που περιέχουν, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξωηλεκτρικές χρήσεις.

Η κατώτερη θερμογόνο δύναμη^[6] του ελληνικού λιγνίτη κυμαίνεται μεταξύ 1.050-1.100 Kcal/Kg στα κοιτάσματα της Μεγαλόπολης, μεταξύ 1.800-2.300 Kcal/Kg στα κοιτάσματα της Φλώρινας, μεταξύ 1.300-1.400 Kcal/Kg στα κοιτάσματα της Πτολεμαΐδας (Κυρίου Πεδίου, Νότιου Πεδίου και Καρδιάς) και μεταξύ 1.050-1.300 Kcal/Kg στα κοιτάσματα του Αμυνταίου. Τα μεγαλύτερα λιγνιτικά κοιτάσματα στην Ελλάδα βρίσκονται στην τεκτονική τάφρο Φλώρινας – Πτολεμαΐδας – Κοζάνης – Σερβίων.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην Ελλάδα, από την καύση του λιγνίτη διαχρονικά κυμαίνεται μεταξύ 48,2 και 72,8%. Η συμμετοχή του λιγνίτη στο ενεργειακό μίγμα υπερέβη το 54,6 % για το 2014 (το ποσοστό για το 2013 ήταν 56,8 %) ενώ η αντίστοιχη συμμετοχή στο σύνολο της χώρας (συμπεριλαμβανομένων και των μη διασυνδεδεμένων νησιών) ήταν 50,3 % (51,8% περίπου το 2013)^[7]. Επισημαίνεται ότι, την τελευταία δεκαετία η συμμετοχή

του λιγνίτη στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής έχει μειωθεί από το 63% το 2004 στο επίπεδο του 45% περίπου το 2015 κι αυτό σχετίζεται με το ζήτημα του Ευρωπαϊκού και Εθνικού στόχου για την κάλυψη του 20% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της χώρας από ΑΠΕ το 2020 και ειδικότερα της ηλεκτροπαραγωγής κατά 40%.



Εικόνα 9: Ποσοστό συμμετοχής λιγνίτη στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής τη χρονική περίοδο 2004-2015 (πηγή: Heinrich Boll Stiftung - Μερίδιο του Λιγνίτη στο Ελληνικό σύστημα ηλεκτρισμού).

Το ενεργειακό μίγμα της ηλεκτροπαραγωγής, αποτελεί κορυφαίο ζήτημα για την ανταγωνιστικότητα της χώρας μας και ο περιορισμός συμμετοχής του λιγνίτη, με παράλληλη αύξηση των εισαγωγών, ανεξάρτητα από τον ανωτέρω στόχο του 2020 αλλά και τις περιβαλλοντικές προεκτάσεις που σχετίζονται με τα αέρια θερμοκηπίου, οδηγεί σε αύξηση του κόστους της ενέργειας. Η μείωση της ανταγωνιστικότητας του λιγνίτη, καθιστά ελκυστικότερες τις εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από εισαγόμενο φυσικό αέριο, το οποίο είναι κατά κανόνα σημαντικά ακριβότερο από τον λιγνίτη.

Οι λύσεις αυτές όμως συντελούν στην περαιτέρω επιδείνωση του ισοζυγίου εξωτερικών συναλλαγών, στην ασταθή οικονομική περίοδο που διέρχεται η χώρα. Εξάλλου, οι σημερινές ώριμες τεχνολογίες παραγωγής από ΑΠΕ (κυρίως αιολικά και φωτοβολταϊκά) δεν μπορούν να υποστηρίξουν αδιάλειπτο εφοδιασμό, μπορούν να παρέχουν μόνο συμπληρωματική εξυπηρέτηση της ζήτησης και αυξάνουν σημαντικά το συνολικό κόστος λόγω υψηλών εγγυημένων τιμολογίων.

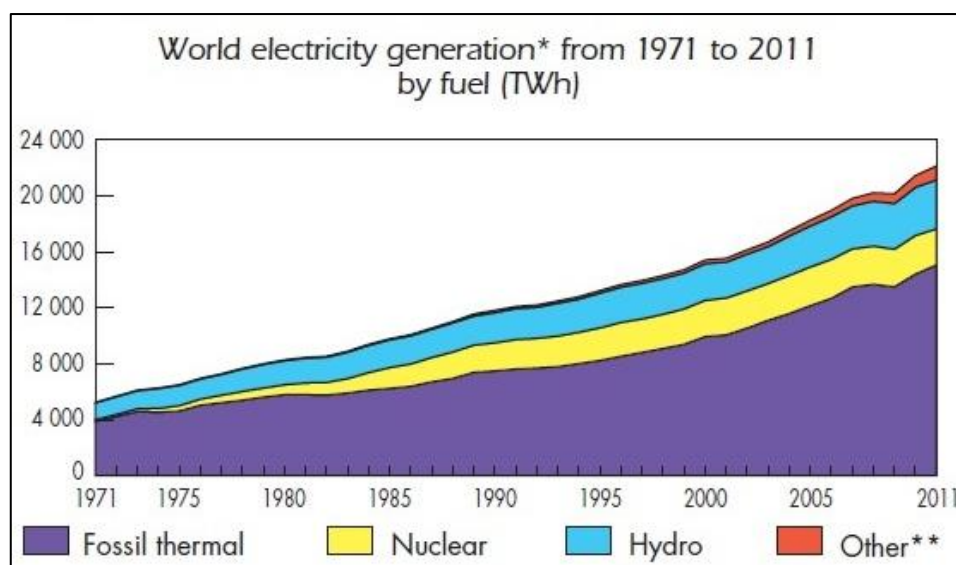
⁵ Απολογιστικά στοιχεία 2013 του Ιδρύματος Χάινριχ Μπελ Ελλάδος για τη ΔΕΗ Α.Ε.

⁶ Υπό τον όρο «θερμογόνος δύναμη» ή «θερμογόνος ικανότητα» εκφράζεται το ποσό της θερμότητας το οποίο εκλύεται κατά τη καύση της μονάδας βάρους, εφόσον πρόκειται για καύσιμο στερεάς ή υγρής μορφής (ορυκτοί άνθρακες - πετρέλαιο) ή κατά τη καύση της μονάδας όγκου (1m³), εφόσον πρόκειται για καύσιμο αέριας μορφής (φυσικό αέριο). Υπό τον όρο «κατώτερη θερμογόνος ικανότητα» (ΚΘΙ) εκφράζεται η θερμότητα που εκλύεται από τη καύση μονάδας βάρους στερεού ή υγρού καυσίμου υπό σταθερή πίεση 1 atm (0,1 mpa) και κάτω από συνθήκες υπό τις οποίες το νερό να λαμβάνεται υπό τη μορφή υδρατμών.

⁷ του Πέτρου Τζεφέρη «Ο απολογισμός του 2014 για τον λιγνίτη και τη ΔΕΗ Α.Ε.»

Η σημασία του γαιάνθρακα για την παγκόσμια οικονομία καταδεικνύεται από το γεγονός ότι το 37% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και το 67% της παγκόσμιας παραγωγής σιδήρου και χάλυβα στηρίζεται στη χρήση του γαιάνθρακα.

Η ηλεκτροπαραγωγή, παγκοσμίως, προέρχεται από ορυκτά καύσιμα (κυρίως κάρβουνο αλλά και αέριο, ειδικά μετά το σχιστολιθικό αέριο), από πυρηνικά και από υδροηλεκτρικά. Τα υδροηλεκτρικά είναι η στατιστικά σημαντική συνεισφέρουσα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ) σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι άλλες λεγόμενες εναλλακτικές ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την γεωθερμία, την βιομάζα (καυσόξυλα), την αξιοποίηση απορριμμάτων, τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά. Παρά τους στόχους που έχουν τεθεί σε Ευρωπαϊκό και Παγκόσμιο επίπεδο για την διείσδυση των ΑΠΕ ειδικότερα στο ενεργειακό μίγμα της ηλεκτροπαραγωγής, αυτή τα τελευταία 40 χρόνια παραμένει σε χαμηλό επίπεδο.



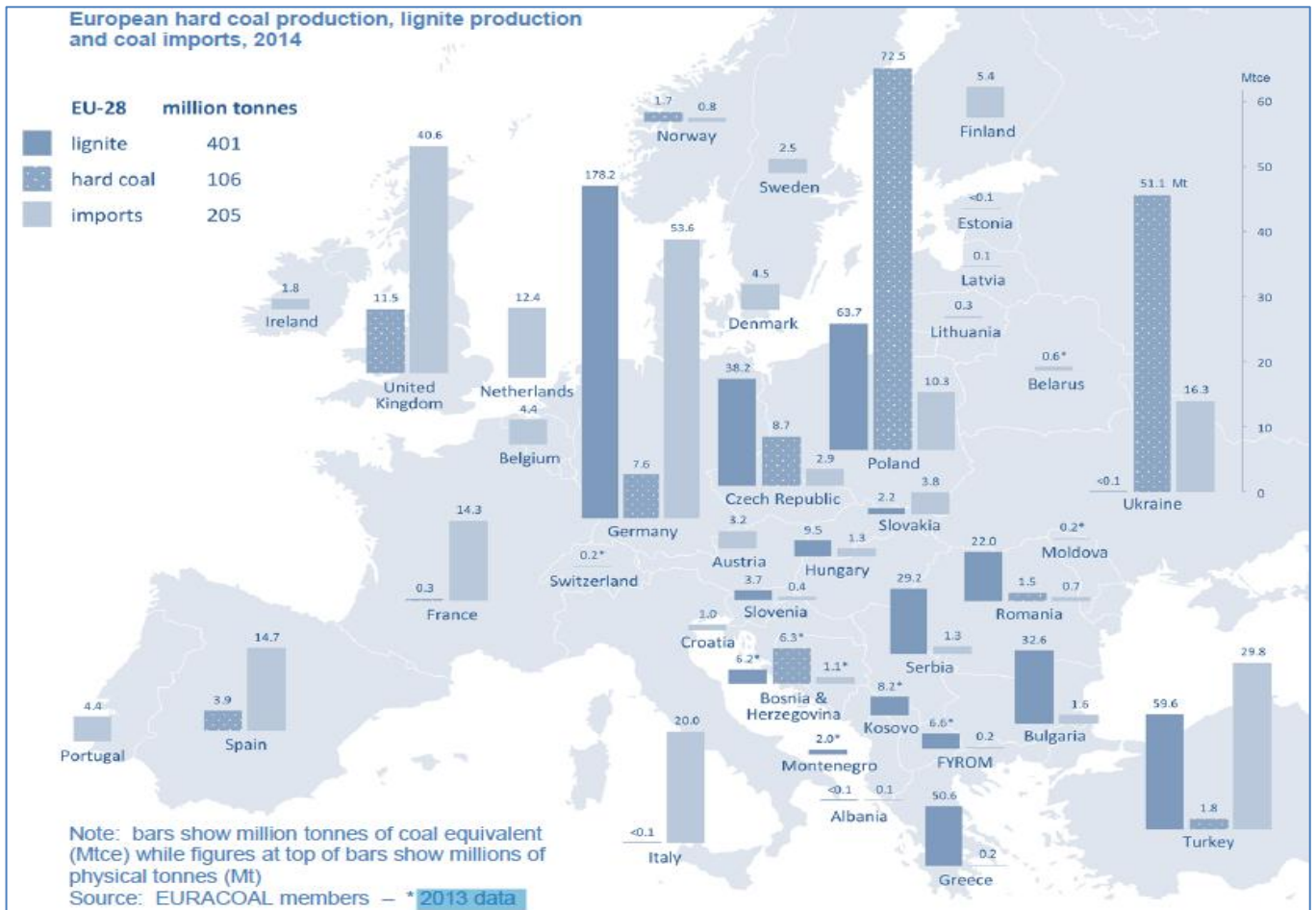
Διάγραμμα 2: Η συνεισφορά των διαφόρων μορφών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή σε παγκόσμιο επίπεδο (1971-2011) (IEA: International Energy Agency, publication 2013).

Η προσφορά σταθερής και φθηνής ενέργειας είναι απαραίτητη προϋπόθεση για μία αναπτυσσόμενη οικονομία. Ο λιγνίτης μπορεί να αποτελέσει την πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας με αυτές τις προδιαγραφές, γιατί:

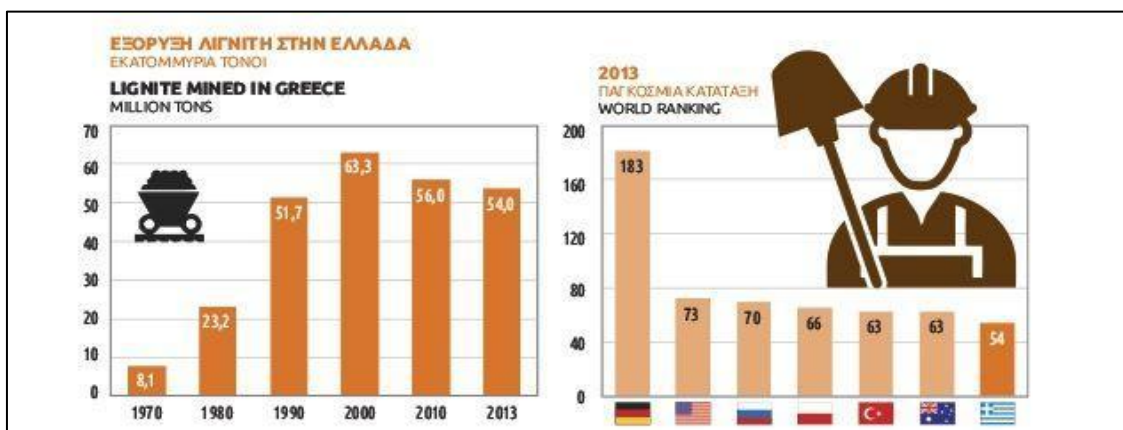
- έχει χαμηλό κόστος εξόρυξης, σταθερή και άμεσα ελέγξιμη τιμή,
- παρέχει σταθερότητα και ασφάλεια στον ανεφοδιασμό καυσίμου μη εξαρτώμενος από εξωγενείς πηγές,
- προσφέρει χιλιάδες θέσεις εργασίας στην ελληνική περιφέρεια, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά ανεργίας, και έχει συντελέσει τα μέγιστα στην αύξηση του εθνικού προϊόντος.

Σύμφωνα με μελέτη σχετικά με το κόστος εξόρυξης του λιγνίτη (από την Booz & Co η οποία διενεργήθηκε για λογαριασμό της ΔΕΗ ΑΕ) το κόστος εξόρυξης λιγνίτη για το 2012 στην Ελλάδα κρίνεται ως ιδιαίτερα ανταγωνιστικό σε σύγκριση με τις λοιπές χώρες της μελέτης, δηλ. Γερμανία, Τσεχία, Πολωνία, Ρουμανία, Σερβία, Τουρκία. Το συμπέρασμα της ανάλυσης είναι ότι η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα γίνεται ιδιαίτερα αποδοτικά με βάση τα συγκριτικά στοιχεία άλλων χωρών, αν και το κόστος επιβαρύνεται αναπόφευκτα από το

χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο του εγχώριου λιγνίτη. Με βάση τα παρακάτω δεδομένα η χώρα μας διατηρεί τη θέση της ως μία από τις μεγαλύτερες παραγωγούς λιγνίτη στην ΕΕ, **7η χώρα στον κόσμο και 4η στην ΕΕ** (πίσω από Γερμανία, Πολωνία και Τουρκία) στην εξόρυξη λιγνίτη, δεδομένα τα οποία αποδεικνύουν την έντονη εξάρτηση της χώρας μας από τον λιγνίτη (απολογιστικά στοιχεία Euracoal 2013). Εάν αναλογιστούμε το μέγεθος της χώρας μας σε σχέση με πολλές άλλες Ευρωπαϊκές και μη, κατανοούμε το μέγεθος των αποθεμάτων της Ελλάδας σε λιγνίτη και συνεπώς την ανάγκη εκμετάλλευσής τους.



Εικόνα 10: Παραγωγή λιγνίτη, λιθάνθρακα και εισαγωγές λιθάνθρακα στον ευρωπαϊκό χώρο για το έτος 2013 (πηγή: Annual Reports Euracoal, 2014).



Γράφημα 1: Διαχρονική εξέλιξη της εξόρυξης λιγνίτη στην Ελλάδα (αριστερά) - Θέση της Ελλάδος στη παγκόσμια κατάταξη ετήσιας παραγωγής λιγνίτη (δεξιά)

2. Σύστημα διαχείρισης Βάσεων χωρικών Δεδομένων

Ένας σύντομος ορισμός για τις βάσεις δεδομένων είναι ότι αποτελούν ένα οργανωμένο τρόπο αποθήκευσης δεδομένων και πρόσβασης σε αυτά μέσω του κατάλληλου λογισμικού. Στην ουσία είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα που αποτελείται από δεδομένα, το κατάλληλο λογισμικό και το υλικό που βοηθούν στην εύρεση των κατάλληλων πληροφοριών από τους χρήστες. Το πρόγραμμα που διαχειρίζεται τις βάσεις δεδομένων λέγεται Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ).

Το ΣΔΒΔ είναι ένα σύνολο προγραμμάτων και ρουτινών, που σκοπό έχουν το χειρισμό της βάσης, όσον αφορά τη δημιουργία, συντήρηση, επεξεργασία στοιχείων, ελέγχους ασφαλείας κ.λπ., και την εξυπηρέτηση των χρηστών, όσον αφορά την παροχή στοιχείων και πληροφοριών, χωρίς αυτοί να πρέπει να ασχολούνται με το πώς και το πού τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα στη βάση.

Ουσιαστικά, θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε, το ΣΔΒΔ είναι ένας **μεσάζων** μεταξύ του χρήστη και της βάσης δεδομένων και μόνο μέσω αυτού ο χρήστης μπορεί να ζητήσει πληροφορίες από τη βάση. Μπορεί το ΣΔΒΔ να είναι εγκατεστημένο σε ένα Η/Υ και να χρησιμοποιείται από ένα χρήστη (single user system) ή να είναι εγκατεστημένο σε ένα σύνολο ηλεκτρονικών υπολογιστών, που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω κάποιου (τοπικού ή απομακρυσμένου) δικτύου, και να χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες (multi user system).

Τα τελευταία χρόνια, τα Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (DBMS-DataBase Management System) έχουν καθιερωθεί σαν το πρωταρχικό μέσο καταχώρησης δεδομένων για συστήματα πληροφοριών που κυμαίνονται από τα μεγαλύτερα τραπεζικά συστήματα συναλλαγών μέχρι μικροεφαρμογές για συστήματα προσωπικών υπολογιστών (PC's).

Η βάση δεδομένων που θα μας απασχολήσει στην εργασία είναι αντικειμενο-σχεσιακή. Μια αντικειμενοσχεσιακή βάση δεδομένων δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια κοινή σχεσιακή, η οποία όμως συνοδεύεται από κατάλληλο λογισμικό διαχείρισης το οποίο την κάνει να συμπεριφέρεται ως μια βάση δεδομένων μερικώς αντικειμενοστραφή. Το λογισμικό αυτό παρεμβάλλεται μεταξύ του χρήστη και της σχεσιακής βάσης δεδομένων και μεταφράζει τα αντικειμενοστραφή αιτήματα του χρήστη σε κοινά σχεσιακά αιτήματα, ικανά να τα διαχειριστεί η σχεσιακή βάση δεδομένων, ανταποδίδοντας του στη συνέχεια την αναμενόμενη αντικειμενοστραφή απάντηση.

Το αντικειμενοστραφές μοντέλο τείνει να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές GIS εξαιτίας των αυξημένων δυνατοτήτων του σε σχέση με το σχεσιακό μοντέλο της δυνατότητας που παρέχει για την εύκολη και απλοποιημένη μοντελοποίηση σύνθετων φυσικών φαινομένων και αντικειμένων με χωρική διάσταση.

Στο αντικειμενοστραφές (object-oriented) μοντέλο δεδομένων, όπου τόσο τα χωρικά όσο και τα περιγραφικά δεδομένα συγχωνεύονται σε αντικείμενα, τα οποία μπορεί να μοντελοποιούν κάποια αντικείμενα με φυσική υπόσταση (π.χ. κατηγορία = "δρόμος", όνομα = "Πανεπιστημίου", γεωμετρία = "[X1,Y1],[X2,Y2]...", πλάτος = "20μέτρα").

Το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη είναι η PostgreSQL.

2.1 Αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων

Στο Αντικειμενοστραφές Μοντέλο ένα αντικείμενο (object) αποτελεί μία οντότητα του πραγματικού κόσμου, σε αντιστοιχία με το μοντέλο Οντοτήτων Συσχετίσεων (ΟΣ). Κάθε αντικείμενο αποτελείται από χαρακτηριστικά (attributes). Το σύνολο των τιμών των χαρακτηριστικών καλείται κατάσταση (state) του αντικειμένου. Ένα αντικείμενο καθορίζει και τις επιτρεπτές ενέργειες που μπορούν να εφαρμοσθούν στο αντικείμενο. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια μεθόδων (methods) με δυνατότητα προσπέλασης στα χαρακτηριστικά του αντικειμένου. Το σύνολο των μεθόδων καλείται συμπεριφορά (behavior) του αντικειμένου. Αντικείμενα με τα ίδια χαρακτηριστικά και μεθόδους σχηματίζουν μία κλάση αντικειμένων (object class). Το κάθε αντικείμενο αποτελεί ένα στιγμιότυπο της κλάσης όπου ανήκει. Η διάκριση των αντικειμένων μεταξύ τους πραγματοποιείται με τη χρήση της ταυτότητας αντικειμένου (object identifier) η οποία είναι μοναδική για κάθε αντικείμενο, και ποτέ δεν επαναχρησιμοποιείται.

Για τον ορισμό ενός σχήματος βάσης δεδομένων απαιτούνται συνήθως πολλές κλάσεις αντικειμένων. Αν και δύο ή περισσότερες κλάσεις μπορεί να είναι διαφορετικές μεταξύ τους, μπορούν να έχουν και αρκετά κοινά χαρακτηριστικά και μεθόδους. Η κληρονομικότητα (inheritance) επιτρέπει σε δύο κλάσεις να μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά και μεθόδους. Όταν μία κλάση B κληρονομεί την κλάση A, τότε το σύνολο των χαρακτηριστικών της B είναι υπερόνολο του συνόλου των χαρακτηριστικών της A (το ίδιο ισχύει και για τις μεθόδους). Με τη χρήση της κληρονομικότητας μπορούμε να κατασκευάσουμε μία ιεραρχία εξειδίκευσης (specialization hierarchy) η οποία συνδέει τις κλάσεις ως προς την κληρονομικότητα. Για να δηλώσουμε ότι η κλάση B είναι ειδική περίπτωση της κλάσης A χρησιμοποιείται η λέξη ISA (B ISA A), όπως ακριβώς και στο μοντέλο ΟΣ, που θα δούμε και στην επόμενη ενότητα 3.

2.2 Αντικειμενοστραφές ΣΔΒΔ

Ένα αντικειμενοστραφές ΣΔΒΔ (OODMBS) είναι ένα ΣΔΒΔ που χρησιμοποιεί ως βάση το αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων. Η έρευνα και η ανάπτυξη των συστημάτων αυτών έχει επηρεασθεί σε μεγάλο βαθμό από το χώρο των αντικειμενοστραφών γλωσσών προγραμματισμού. Η ανάπτυξη των αντικειμενοστραφών ΣΔΒΔ πραγματοποιείται με την προσθήκη της κατάλληλης λειτουργικότητας σε μία αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού.

Οι βασικές δυνατότητες που πρέπει να έχει ένα αντικειμενοστραφές ΣΔΒΔ προσδιορίζονται σύμφωνα με δύο κριτήρια: α) το σύστημα πρέπει να είναι αντικειμενοστραφές και β) πρέπει να παρέχει όλες τις δυνατότητες ενός ΣΔΒΔ, όπως:

- αποθήκευση αντικειμένων,
- διαχείριση μεγάλων ΒΔ (απαιτείται αποτελεσματική διαχείριση δευτερεύουσας μνήμης),
- επεξεργασία ερωτημάτων,
- συγχρονισμός ταυτόχρονων προσπελάσεων σε αντικείμενα,
- επανάκτηση δεδομένων.

Στα πλεονεκτήματα ενός αντικειμενοστραφούς ΣΔΒΔ μπορούμε να συνοψίσουμε τα εξής:

1. Ενισχυμένες δυνατότητες μοντελοποίησης

Το αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων επιτρέπει την αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με το σχεσιακό μοντέλο. Η έννοια του αντικειμένου που περιλαμβάνει δεδομένα και μεθόδους ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα. Με τις ιεραρχίες εξειδίκευσης και συμπερίληψης μοντελοποιούνται σχετικά εύκολα ακόμη και πολύπλοκες οντότητες του πραγματικού κόσμου.

2. Επεκτασιμότητα

Σε ένα αντικειμενοστραφές ΣΔΒΔ μπορούμε να ορίσουμε νέες κλάσεις αντικειμένων χρησιμοποιώντας τις ήδη υπάρχουσες. Με τη χρήση της απλής και της πολλαπλής κληρονομικότητας και την εφαρμογή του πολυμορφισμού μπορούμε να παράγουμε νέες κλάσεις αντικειμένων που κληρονομούν χαρακτηριστικά και μεθόδους άλλων κλάσεων. Έτσι αποφεύγεται η επανάληψη του ορισμού χαρακτηριστικών και μεθόδων που έχουν ήδη ορισθεί σε άλλες κλάσεις.

3. Εξέλιξη σχήματος ΒΔ

Οι δυνατότητες του αντικειμενοστραφούς μοντέλου δεδομένων και οι ευκολίες που παρέχει το ΣΔΒΔ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξέλιξη του σχήματος της ΒΔ (schema evolution). Η εξέλιξη του σχήματος είναι αρκετά δύσκολη στα σχεσιακά συστήματα διότι επιφέρει πολλές αλλαγές στη λογική των εφαρμογών.

4. Υποστήριξη συναλλαγών μεγάλης διάρκειας

Ο τρόπος διαχείρισης κατά την εκτέλεση των ταυτόχρονων συναλλαγών από τα σχεσιακά συστήματα οδηγεί σε περιορισμένη απόδοση όταν οι συναλλαγές έχουν μεγάλη διάρκεια. Τα αντικειμενοστραφή συστήματα υλοποιούν διαφορετικούς μηχανισμούς με αποτέλεσμα οι συναλλαγές μεγάλης διάρκειας να εκτελούνται πιο αποδοτικά.

Σύνοψίζοντας μπορούμε να αναφέρουμε πως η αδυναμία του σχεσιακού μοντέλου δεδομένων στην ακριβή αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου και στην υποστήριξη των σύγχρονων εφαρμογών οδήγησε στην υιοθέτηση άλλων μοντέλων. Το αντικειμενοστραφές μοντέλο, γνωστό από τις αντικειμενοστραφείς γλώσσες προγραμματισμού, χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση σύνθετων οντοτήτων του πραγματικού κόσμου. Τα αντικειμενοστραφή ΣΔΒΔ στηρίζουν το αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων και έχουν πολλές δυνατότητες οι οποίες απουσιάζουν από τα σχεσιακά ΣΔΒΔ. Ωστόσο, παρουσιάζουν και μερικά σοβαρά μειονεκτήματα που δυσκολεύουν την ευρεία χρήση τους: απουσία καθορισμένου μοντέλου, αυξημένη πολυπλοκότητα, η βελτιστοποίηση βλάπτει την ενθυλάκωση των αντικειμένων, απουσία υποστήριξης όψεων.

2.3 Γεωγραφικές Βάσεις Δεδομένων

Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων βασίζονται στην ύπαρξη ενός Συστήματος Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων που έχει δυνατότητες υποστήριξης χωρικών τύπων (γεωμετριών) όπως σημεία, γραμμές και επιφάνειες. Ένα ΣΔΒΔ μπορεί να υποστηρίξει χωρικούς τύπους

αυτόνομα ή να βασίζεται σε μία χωρική επέκταση για αυτό το σκοπό. Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων μπορεί να περιέχουν διανυσματικά (vector) ή ψηφιδωτά (raster) δεδομένα. Η συνήθης τακτική όμως είναι να εισάγονται στο ΣΔΒΔ μόνο τα διανυσματικά δεδομένα, ενώ τα raster αποθηκεύονται σε διάφορες θέσεις στο σύστημα αρχείων του H/Y που υποστηρίζει τη λειτουργία του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Η υποστήριξη χωρικών τύπων από τις βάσεις δεδομένων βασίζεται στην ύπαρξη του τύπου δεδομένων geometry, ο οποίος χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει μια ποικιλία χωρικών δεδομένων. Η ύπαρξη επίσης χωρικής υποστήριξης σημαίνει ότι το ΣΔΒΔ πρέπει να υποστηρίζει διάφορα συστήματα προβολής και μετασχηματισμούς μεταξύ τους, χωρικούς τελεστές (π.χ. το αντικείμενο A επικαλύπτεται με το αντικείμενο B) συναρτήσεις (π.χ. υπολογισμός του εμβαδού μίας επιφανειακής οντότητας) και χωρικά ευρετήρια.

Όταν δημιουργείται μία Χωρική Βάση Δεδομένων, κάθε οντότητα με χωρική υπόσταση (π.χ. ένα σημείο ενδιαφέροντος), είναι μία εγγραφή σε έναν πίνακα που περιέχει όλα τα αντίστοιχα σημεία, ενώ μεταξύ των πεδίων του πίνακα υφίσταται και ένα ξεχωριστό πεδίο για τη γεωμετρία του αντικειμένου (π.χ. τη θέση του σημείου ενδιαφέροντος, η οποία δίνεται από τις συντεταγμένες του). Για παράδειγμα, ένας πίνακας με σημεία ενδιαφέροντος θα περιέχει τα εξής πεδία : id, name, type, geometry.

Τα γεωγραφικά δεδομένα απαιτούν νέους τρόπους αποθήκευσης και επεξεργασίας λόγω της χωρικής (spatial) φύσης τους. Για παράδειγμα, για τα δεδομένα αυτά λόγω της διδιάστατης (ή γενικότερα πολυδιάστατης) φύσης τους δεν ισχύουν οι σχέσεις διάταξης (π.χ. στους ακεραίους και τους χαρακτήρες υπάρχει η έννοια του προηγούμενου-επόμενου, στους πραγματικούς αριθμούς η έννοια του μικρότερου-μεγαλύτερου κ.λπ.). Ισχύουν όμως τοπολογικές σχέσεις (όπως αριστερά-δεξιά, βόρεια-νότια, εντός-εκτός, τομή, απόσταση κ.λπ.). Το αντίστοιχο επομένως ΣΔΒΔ, που συνεργάζεται με ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information System, GIS), πρέπει να είναι εξοπλισμένο με εξειδικευμένες τεχνικές διαχείρισης.

2.4 PostgreSQL

Η PostgreSQL αποτελεί ένα ανοιχτού κώδικα Σύστημα Αντικειμενοστραφούς-Σχεσιακής Βάσης Δεδομένων (ΣΔΒΔ) με πολλές και συνεχώς αυξανόμενες δυνατότητες. Η ανάπτυξη του ήδη διαρκεί πάνω από 20 χρόνια και βασίζεται σε μια αποδεδειγμένα καλή αρχιτεκτονική η οποία εξασφαλίζει την αξιοπιστία, την ακεραιότητα δεδομένων και την ορθή λειτουργία του. Τρέχει σε όλα τα βασικά λειτουργικά συστήματα.

Η διαχείριση της PostgreSQL γίνεται μέσω τριών τρόπων:

- PgAdminIII (γραφικό περιβάλλον)
- Command prompt
- SQL Shell (κονσόλα psql to postgres)

2.4.1 Τύποι χωρικών δεδομένων στην βάση PostgreSQL

Όσον αφορά την PostgreSQL για να μας παρέχει υποστήριξη χωρικών δεδομένων θα πρέπει να εγκαταστήσουμε το επιπλέον λογισμικό PostGIS το οποίο αναθεωρείται πολύ συχνά και παρέχει πλήρη υποστήριξη σε όλες τις προδιαγραφές που ορίζονται στο γεωμετρικό μοντέλο του (OGC). Υποστηρίζει τους ακόλουθους τύπους χωρικών δεδομένων:

- Point → Γεωγραφικό Σημείο
- LineString → Γραμμή που αποτελείται από δύο τμήματα
- Polygon → Πολύγωνο μόνο με εξωτερικό δακτύλιο
- MultiPoint → Πολλαπλά γεωμετρικά σημεία
- MultiLinestring → Πολλαπλές γραμμές
- MultiPolygon → Διάφορα πολύγωνα
- GeometryCollection → Αυτός ο τύπος δεδομένων αποτελεί την μοναδική εξαίρεση διότι μπορούμε να αποθηκεύσουμε πολλαπλά δεδομένα ίδιου ή και διαφορετικών τύπων

Η PostgreSQL παρέχει πλήρη υποστήριξη στους βασικούς τύπους γεωμετρικών δεδομένων και επίσης υποστηρίζει δεδομένα τριών και τεσσάρων διαστάσεων.

2.5 PostGIS

Είναι μία επέκταση της PostgreSQL για να υποστηρίζει χωρικά δεδομένα, σύμφωνα με το πρότυπο του OGC. Παρέχει ειδικούς τελεστές για τη σύνταξη ερωτημάτων, λειτουργίες συνάθρισης επάνω σε χωρικά δεδομένα καθώς και χωρικές συναρτήσεις. Επιτρέπει επίσης την ανάθεση προβολικών συστημάτων στα χωρικά δεδομένα.

2.5.1 Ο τύπος Geometry και ο μορφότυπος Well Known Text

Ο τύπος Geometry του PostGIS περιέχει όλη τη γεωμετρία (τις συντεταγμένες) του κάθε αντικειμένου. Ο τύπος αυτός είναι γενικός και μπορεί να περιέχει χωρικά αντικείμενα των τριών συνηθέστερων κατηγοριών (σημείο, γραμμή, πολύγωνο), καθώς και συλλογές αυτών των αντικειμένων (δηλαδή πολλά πολύγωνα ή πολλά σημεία μαζί με κάποιες γραμμές κ.ο.κ.). Η αναπαράσταση του τύπου Geometry σε μορφή πίνακα δε μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή. Στην πραγματικότητα, κάτι τέτοιο είναι σχεδόν αδύνατο να συμβεί, από τη στιγμή που οι γεωμετρίες αναπαρίστανται από δεκαεξαδικές μορφές όπως η παρακάτω:

```
“01010000A034080000AE47E17A9E5712415C8FC27532355141666666666660C8640”
```

Γι αυτό το λόγο, το Open GIS Consortium προτείνει τη χρήση του μορφότυπου WELL-KNOWN TEXT (WKT) ο οποίος υποστηρίζεται από το PostGIS. Με το WKT μπορούν να αναπαρασταθούν με έναν εύκολα αντιληπτό τρόπο, σημεία, γραμμές πολύγωνα καθώς και πολλαπλές γεωμετρίες (π.χ. πολυ-πολύγωνα) και συλλογές γεωμετριών. Το PostGIS παρέχει συναρτήσεις που μετατρέπουν το WKT σε γεωμετρίες της παραπάνω μορφής και αντίστροφα, μια από τις οποίες (**ST_GeomFromText(POINT ..)**) θα χρησιμοποιήσουμε και

στη παρούσα εργασία για την αναγνώριση των γεωμετριών από το PostGIS. Παρακάτω παρατίθενται μερικά παραδείγματα του WKT format:

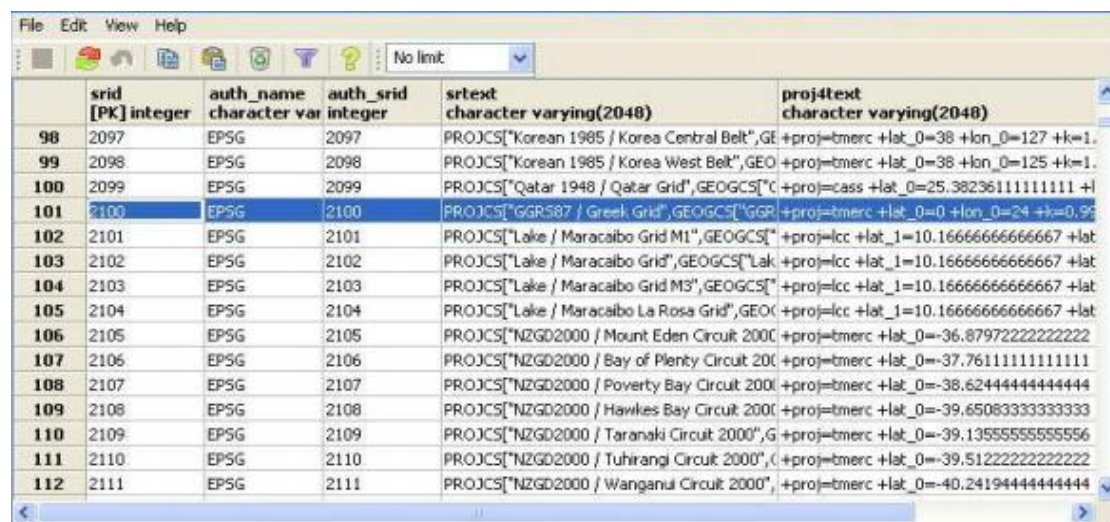
- Σημείο: 'POINT(X Y)'
- Γραμμή: 'LINESTRING(X1 Y1, X2 Y2, ...)'
- Πολύγωνο: 'POLYGON((X1 Y1, X2 Y2, ..., X1 Y1), (Xn,Yn, Xn+1 Yn+1,..., Xn Yn))', όπου Xi και Yi οι συντεταγμένες του κάθε σημείου του αντικειμένου.

Εκτός από τους παραπάνω απλούς τύπους, υπάρχουν και οι πολλαπλοί τύποι MULTIPOINT, MULTILINESTRING, MULTIPOLYGON, που είναι απλές γενικεύσεις των προηγούμενων απλών τύπων.

Ο μετασχηματισμός μεταξύ γεωμετριών και κειμενικής (WKT) μορφής των γεωμετρικών αντικειμένων γίνεται με τις συναρτήσεις `GeomFromText` και `AsText`.

2.5.2 Υποστήριξη συστημάτων αναφοράς

Το PostGIS υποστηρίζει πλήθος Γεωγραφικών και Προβολικών συστημάτων συντεταγμένων κάθε ένα από τα οποία περιγράφεται από ένα SRID (από τα αρχικά Spatial Reference Identifier). Το SRID είναι ένας ακέραιος αριθμός (η ταυτότητα) που αντιστοιχεί στο σύστημα συντεταγμένων στο οποίο δίνονται οι συντεταγμένες του συγκεκριμένου αντικειμένου. Αναλυτικά, τα συστήματα συντεταγμένων που υποστηρίζονται από το PostGIS, μπορούν να βρεθούν μέσα στον πίνακα `spatial_ref_sys` μίας οποιαδήποτε βάσης δεδομένων της PostGIS. Για παράδειγμα, η βάση `postgis_sample` που θα δημιουργήσουμε ενσωματώνει τον παρακάτω πίνακα (ο οποίος στην πραγματικότητα δημιουργείται κατά τη δημιουργία της βάσης όταν επιλέγουμε σαν πρότυπο της βάσης το `template_postgis`).



	<code>srkid</code> [PK] integer	<code>auth_name</code> character var	<code>auth_srid</code> integer	<code>srttext</code> character varying(2048)	<code>proj4text</code> character varying(2048)
98	2097	EPSG	2097	PROJCS["Korean 1985 / Korea Central Belt",GE	+proj=tmerc +lat_0=38 +lon_0=127 +k=1.
99	2098	EPSG	2098	PROJCS["Korean 1985 / Korea West Belt",GEO	+proj=tmerc +lat_0=38 +lon_0=125 +k=1.
100	2099	EPSG	2099	PROJCS["Qatar 1948 / Qatar Grid",GEOGCS["	+proj=cass +lat_0=25.382361111111111 +l
101	2100	EPSG	2100	PROJCS["GGRS87 / Greek Grid",GEOGCS["GGR	+proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=24 +k=0.99
102	2101	EPSG	2101	PROJCS["Lake / Maracaibo Grid M1",GEOGCS["	+proj=lcc +lat_1=10.166666666666667 +lat
103	2102	EPSG	2102	PROJCS["Lake / Maracaibo Grid",GEOGCS["Lak	+proj=lcc +lat_1=10.166666666666667 +lat
104	2103	EPSG	2103	PROJCS["Lake / Maracaibo Grid M3",GEOGCS["	+proj=lcc +lat_1=10.166666666666667 +lat
105	2104	EPSG	2104	PROJCS["Lake / Maracaibo La Rosa Grid",GEO	+proj=lcc +lat_1=10.166666666666667 +lat
106	2105	EPSG	2105	PROJCS["NZGD2000 / Mount Eden Circuit 200	+proj=tmerc +lat_0=-36.879722222222222
107	2106	EPSG	2106	PROJCS["NZGD2000 / Bay of Plenty Circuit 20	+proj=tmerc +lat_0=-37.761111111111111
108	2107	EPSG	2107	PROJCS["NZGD2000 / Poverty Bay Circuit 200	+proj=tmerc +lat_0=-38.624444444444444
109	2108	EPSG	2108	PROJCS["NZGD2000 / Hawkes Bay Circuit 200	+proj=tmerc +lat_0=-39.650833333333333
110	2109	EPSG	2109	PROJCS["NZGD2000 / Taranaki Circuit 2000",G	+proj=tmerc +lat_0=-39.135555555555556
111	2110	EPSG	2110	PROJCS["NZGD2000 / Tuhirangi Circuit 2000",	+proj=tmerc +lat_0=-39.512222222222222
112	2111	EPSG	2111	PROJCS["NZGD2000 / Wanganui Circuit 2000",	+proj=tmerc +lat_0=-40.241944444444444

Εικόνα 11: Πίνακας με τη κωδικοποίηση συστημάτων αναφοράς συντεταγμένων της επέκτασης PostGIS.

Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω συστήματα συντεταγμένων μαζί με τα SRID τους:

	Σύστημα Συντεταγμένων	Τύπος	Μονάδες μέτρησης	SRID
1	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87)	Προβολικό	Μέτρα	2100
2	UTM Ζώνη 34 επί του WGS84	Προβολικό	Μέτρα	32634
3	UTM Ζώνη 35 επί του WGS84	Προβολικό	Μέτρα	32635
4	WGS84	Γεωγραφικό	Μοίρες	4326
5	Mercator Spheric	Γεωγραφικό	Μέτρα	900913 (Google)

Πίνακας 5: Ενδεικτικά συστήματα αναφοράς συντεταγμένων χωρικών δεδομένων στη PostGIS.

Από τα παραπάνω συστήματα αναφοράς το ΕΓΣΑ '87 (1) είναι το πλέον διαδεδομένο προβολικό σύστημα στον Ελλαδικό Χώρο (και το επίσημο κρατικό σύστημα αναφοράς), το WGS84 (4) είναι το παγκόσμιο σύστημα που χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές WGS84 (και χρησιμοποιείται από τα GPS) και σε αυτό αναφέρονται συνήθως οι όροι «γεωγραφικό μήκος» και «γεωγραφικό πλάτος», τα (2) και (3) είναι Εγκάρσιες Μερκατορικές Προβολές επί του WGS84, ενώ το Mercator Spheric (5) είναι μία προβολή επί μίας σφαίρας με περίπου τα ίδια χαρακτηριστικά με το WGS84 (χρησιμοποιεί μία σφαίρα αντί για ελλειψοειδές). Το τελευταίο είναι το σύστημα προβολής που χρησιμοποιεί ο μηχανισμός των tiles για τα Google Maps / Bing Maps.

2.6 Λογισμικό RockWorks

Για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης γεωτρητικών δεδομένων και κατ' επέκταση για τη μοντελοποίηση των κοιτασμάτων θα γίνει σύνδεση της PostgreSQL βάσης με το λογισμικό RockWorks της έκδοσης 17 που υποστηρίζει τη δυνατότητα σύνδεσης με αντικειμενο-σχεσιακές βάσεις και κατ' επέκταση την επεξεργασία της χωρικής πληροφορίας.

Το Rockworks είναι ένα λογισμικό πακέτο που ενοποιεί τη διαχείριση δεδομένων γεωτρήσεων, την ανάλυση και δημιουργία γεωλογικών-γεωτεχνικών μοντέλων και την παρουσίασή τους. Το λογισμικό εστιάζει στη χρήση σε μελέτες, οπότε η δομή του βασίζεται στη διαχείριση μεμονωμένων έργων. Το Rockworks διαθέτει βάση δεδομένων για τις γεωτρήσεις με πολλά πεδία που περιλαμβάνουν χωρικά δεδομένα, γεωφυσικές και γεωχημικές μετρήσεις, δεδομένα λιθολογίας, στρωματογραφίας, στάθμης νερού, ρηγμάτων κ.λπ. Τα δεδομένα καταγράφονται σε ξεχωριστή βάση Access MDB file. Επίσης διαθέτει μία σειρά από εργαλεία (utilities) δημιουργίας επιφανειών, στερεών μοντέλων, τομών, υπολογισμών όγκων, υδραυλικών και υδροχημικών υπολογισμών, τοπογραφικών μετασχηματισμών και διάφορα άλλα. Μπορεί ακόμα να εκτελέσει υπολογισμούς κλίσεων, παρατάξεων, να εξάγει μορφολογικό χάρτη των κλίσεων, μέχρι και να υπολογίσει τη διαδρομή των επιφανειακών υδάτων.

Το Rockworks διαχειρίζεται διανυσματικά δεδομένα είτε από τη βάση γεωτρήσεων είτε από διάφορα βοηθητικά αρχεία. Συνδυάζει και παρουσιάζει σε δυναμική τρισδιάστατη μορφή γραμμικά δεδομένα, γεωμετρικά στερεά, αλλά και τρισδιάστατες επιφάνειες και στερεά μοντέλα που παράγονται από το πρόγραμμα. Για την παραγωγή των μοντέλων της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε κάρναβος (grid) τριών διαστάσεων εύρους 2950 x 8400 x 765 μέτρα, με αποστάσεις 50 μέτρων στο οριζόντιο επίπεδο και 50 στον κατακόρυφο, που αντιστοιχεί σε 1.561.560 κόμβους (nodes). Η κατασκευή επιφανειών (εδάφους, έργων, στρωματογραφίας κ.λπ.) λειτουργεί με την κατασκευή ενός επίπεδου καννάβου σε κάθε σημείο του οποίου αντιστοιχεί μία τιμή υψομέτρου. Η μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή grid (κανναβοποίηση) επιλέγεται ανάλογα με τη φύση και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΑΣΗΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA MODELING)

Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της χωρικής βάσης δεδομένων βασίστηκε σε περιβάλλον PostGIS (επέκταση της PostgreSQL). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η καταγραφή των χωρικών πληροφοριών - δεδομένων στη βάση, προκειμένου να υλοποιηθούν και να εκτελεστούν χωρικά ερωτήματα, ενδεχομένως εκ των υστέρων.

Σε αυτό το περιβάλλον δημιουργίας της χωρικής βάσης δεδομένων τα βασικά αρχέτυπα: σημείο, γραμμή, πολύγωνο υλοποιούνται από σχεσιακούς πίνακες.

Η υλοποίηση κι ο σχεδιασμός διαρθρώνονται στις εξής ενότητες:

- **Εννοιολογικός Σχεδιασμός Βάσης:** Πραγματοποιείται ο εννοιολογικός σχεδιασμός της βάσης δεδομένων, δημιουργείται δηλαδή το διάγραμμα Οντοτήτων - Συσχετίσεων όπου αναλύονται οι τύποι των οντοτήτων και των συσχετίσεων που χρησιμοποιούνται.

- **Λογικός Σχεδιασμός Βάσης:** Πραγματοποιείται ο λογικός σχεδιασμός της βάσης δεδομένων και περιγράφονται οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τη μετάβαση από το εννοιολογικό σχήμα στο λογικό.

- **Φυσικός Σχεδιασμός:** Πραγματοποιείται ο φυσικός σχεδιασμός και η υλοποίηση της βάσης. Η δημιουργία της βάσης και η εισαγωγή των δεδομένων σε αυτήν έγινε με χρήση της PostgreSQL όπως αυτή προσφέρεται για διαχείριση μέσα από το περιβάλλον PgAdmin.

3.1 Εννοιολογικός Σχεδιασμός της βάσης

Το πρώτο στάδιο για τη δημιουργία της σχεσιακής βάσης δεδομένων αποτελεί ο εννοιολογικός σχεδιασμός, ο οποίος περιλαμβάνει τον καθορισμό των οντοτήτων, των χαρακτηριστικών τους γνωρισμάτων, καθώς και των σχέσεων που υπάρχουν μεταξύ τους.

Ο εννοιολογικός σχεδιασμός αποτελεί το εργαλείο κατανόησης της δομής της βάσης, περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη βάση και αποτελεί ουσιαστικά μία σαφή περιγραφή της βάσης δεδομένων. Χρησιμοποιείται η δομή του μοντέλου οντοτήτων-συσχετίσεων (Entity-Relationship Model) και δεν συνδέεται με την πλατφόρμα υλοποίησης της βάσης δεδομένων. Πρόκειται για ένα σχεδιασμό υψηλού επιπέδου, καθώς αποτελεί μία πλήρη περιγραφή του τμήματος του μικρόκοσμου που θα αναπαρασταθεί και δεν περιλαμβάνει λεπτομέρειες σχετικά με την υλοποίηση της βάσης.

Κατά τη φάση του εννοιολογικού σχεδιασμού του σχήματος της βάσης δεδομένων προσδιορίστηκαν οι οντότητες της βάσης με τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και οι συσχετίσεις μεταξύ τους και οι εννοιολογικοί κανόνες που πρέπει να ικανοποιούν. Σκοπός της φάσης αυτής, όπως προαναφέρθηκε, είναι μια αφαιρετική μεν, αλλά πλήρης περιγραφή της βάσης δεδομένων, χωρίς να περιγράφονται οι λεπτομέρειες σχετικά με την ίδια την υλοποίησή της. Οι οντότητες και οι σχέσεις μεταξύ τους μαζί με τους περιορισμούς/κανόνες περιγράφονται με από το διάγραμμα Οντοτήτων-Συσχετίσεων.

3.1.1 Γλώσσα UML

Η ενοποιημένη γλώσσα σχεδιασμού (*unified modeling language*) (UML) είναι μια γραφική γλώσσα για την οπτική παράσταση, τη διαμόρφωση προδιαγραφών και την τεκμηρίωση συστημάτων που βασίζονται σε λογισμικό. Η UML στοχεύει στο σχεδιασμό αντικειμενοστραφών συστημάτων. Το σχέδιο είναι μια απλοποιημένη παράσταση της πραγματικότητας.

Γίνεται ο σχεδιασμός για να μπορέσουμε να καταλάβουμε το σύστημα που αναπτύσσεται. Έτσι δημιουργώντας ένα σχέδιο επιτυγχάνουμε τέσσερις στόχους:

1. παριστάνεται οπτικά το σύστημα που έχει προγραμματιστεί να κατασκευαστεί,
2. προσδιορίζεται η δομή και η συμπεριφορά του συστήματος,
3. δημιουργείται ένα πρότυπο για να βασιστεί η κατασκευή του συστήματος,
4. τεκμηριώνονται οι αποφάσεις που λήφθηκαν.

Σε όλους τους τεχνολογικούς τομείς ο σχεδιασμός βασίζεται σε τέσσερις βασικές αρχές:

1. η επιλογή του είδους του σχεδίου έχει επίπτωση στον τρόπο και την μορφή επίλυσης του προβλήματος,
2. όλα τα σχέδια εκφράζονται σε διαφορετικές βαθμίδες ακρίβειας,
3. τα καλύτερα σχέδια σχετίζονται με την πραγματικότητα,
4. ένα είδος σχεδίων δεν είναι ποτέ αρκετό.

Η UML περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία:

1. Οντότητες
2. Σχέσεις
3. Διαγράμματα

Η UML ορίζει τα παρακάτω διαγράμματα:

- Διαγράμματα συμπεριφοράς
 - Διαγράμματα περιπτώσεων χρήσης (*use case diagrams*)
 - Διαγράμματα καταστάσεων (*state machine diagrams*)
 - Διαγράμματα δραστηριοτήτων (*activity diagrams*)
 - Διαγράμματα επικοινωνίας (*communication diagrams*)
 - Διαγράμματα ακολουθίας (*sequence diagrams*)
- Δομικά διαγράμματα
 - Διαγράμματα κλάσεων (*class diagrams*)
 - Διαγράμματα αντικειμένων (*object diagrams*)
 - Διαγράμματα πακέτων (*package diagrams*)
- Αρχιτεκτονικά διαγράμματα
 - Διαγράμματα εξαρτημάτων (*component diagrams*)
 - Διαγράμματα ανάπτυξης (*deployment diagrams*)
 - Διαγράμματα συστατικών (*component diagrams*)
 - Διαγράμματα συνεργασίας (*collaboration diagrams*)

3.1.2 Διάγραμμα Οντοτήτων - Συσχετίσεων

Το διάγραμμα Οντοτήτων - Συσχετίσεων (entity-relationship diagram) είναι ένας τρόπος αφηρημένης και εννοιολογικής αναπαράστασης των δεδομένων και μπορεί να απεικονιστεί σε ένα σχεσιακό σχήμα Βάσης Δεδομένων.

Το διάγραμμα Οντοτήτων - Συσχετίσεων περιλαμβάνει:

- Οντότητες (Entities)
- Συσχετίσεις (Relationships)
- Γνωρίσματα (Attributes) των οντοτήτων αλλά και των συσχετίσεων

Ένα άτυπος ορισμός είναι ότι οι οντότητες είναι αντικείμενα ή πράγματα του προβλήματος με ανεξάρτητη ύπαρξη. Κάθε οντότητα έχει ένα σύνολο από γνωρίσματα.

Τα γνωρίσματα (attributes) είναι ιδιότητες ή χαρακτηριστικά που περιγράφουν μια οντότητα. Κάθε γνώρισμα έχει συγκεκριμένα πεδία τιμών που περιγράφει τι τιμές μπορεί να πάρει. Διακρίνονται σε:

- Απλά → Έχουν μία ατομική (όχι σύνθετη) τιμή
- Σύνθετα → Αποτελούνται από περισσότερα τμήματα (π.χ. Η διεύθυνση μπορεί να περιλαμβάνει Πόλη, Οδό, Αριθμό και ΤΚ).
- Πλειότιμα → Γνωρίσματα που επιτρέπεται να έχουν περισσότερες από μία τιμές για μία συγκεκριμένη οντότητα (Ένας συγκεκριμένος φοιτητής που έχει περισσότερους από έναν αριθμούς τηλεφώνου)

Επιτρέπονται γνωρίσματα που είναι οποιοδήποτε συνδυασμός Σύνθετου και Πλειότιμου γνωρίσματος.

Οντότητες που περιγράφονται με τα ίδια γνωρίσματα, ομαδοποιούνται σε έναν τύπο οντότητας. Πολλές φορές όταν λέμε απλά οντότητα μπορεί να αναφερόμαστε στον τύπο οντότητας.

Κλειδί ενός τύπου οντότητας είναι ένα ή περισσότερα γνωρίσματα της οντότητας τα οποία όλα μαζί έχουν τιμή μοναδική για κάθε οντότητα (π.χ. ο αριθμός ταυτότητας ενός εργαζομένου). Το κλειδί μπορεί να είναι σύνθετο, να περιλαμβάνει δηλαδή περισσότερα του ενός γνωρίσματα (π.χ. για κάθε φοιτητή του ΕΜΠ, ο συνδυασμός του κωδικού του τμήματος στο οποίο ανήκει και ο ΑΜ στο συγκεκριμένο τμήμα, είναι μοναδικό). Ένας τύπος οντότητας μπορεί να έχει περισσότερα του ενός κλειδιά (π.χ. κάθε αυτοκίνητο έχει μοναδικό αριθμό κυκλοφορίας αλλά και μοναδικό αριθμό πλαισίου). Σε περίπτωση που μία οντότητα δεν έχει τιμή για ένα συγκεκριμένο γνώρισμα τότε αποθηκεύεται σε αυτό η τιμή NULL. Στην πράξη τα κλειδιά των οντοτήτων είναι συνήθως ένα γνώρισμα που έχει νόημα μόνο στο σύστημα. Είναι ακέραιος και έχει την ιδιότητα auto increment, αυξάνεται αυτόματα με κάθε στιγμιότυπο που δημιουργείται.

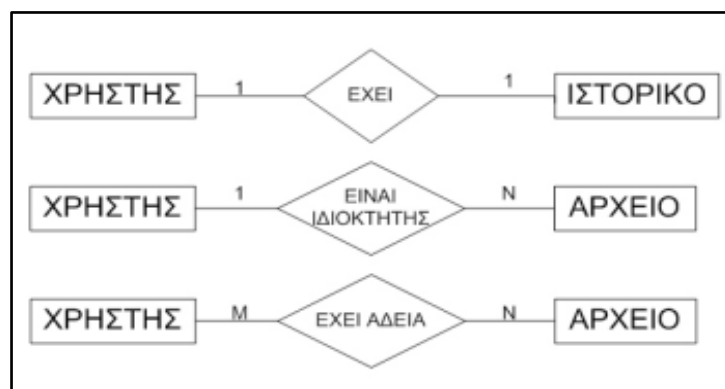
Μια συσχέτιση συσχετίζει 2 ή περισσότερες οντότητες και έχει μια συγκεκριμένη σημασία. Όπως έχουμε οντότητες και τύπους οντοτήτων έτσι έχουμε και συσχετίσεις και τύπους συσχετίσεων. Ο βαθμός μιας συσχέτισης είναι το πλήθος των οντοτήτων που συμμετέχουν στη συσχέτιση. Ένας τύπος οντοτήτων μπορεί να συμμετέχει περισσότερες από μία φορές σε

μία συσχέτιση, κάθε φορά με διαφορετικό ρόλο. Υπάρχουν περιορισμοί στους τύπους συσχετίσεων:

- Λόγος Πληθικότητας
- Περιορισμοί Συμμετοχής και Εξαρτήσεις Ύπαρξης

Ο λόγος πληθικότητας σε μια συσχέτιση καθορίζει τον αριθμό των στιγμιοτύπων που συμμετέχουν στη συσχέτιση από κάθε οντότητα:

- **1-1** → Για παράδειγμα, ένας εργαζόμενος μπορεί να διευθύνει ένα μόνο τμήμα και ένα τμήμα μπορεί να διευθύνεται από έναν μόνο εργαζόμενο.
- **1-N** → Για παράδειγμα, ένα τμήμα μπορεί να έχει πολλούς εργαζόμενους, αλλά κάθε εργαζόμενος ανήκει σε ένα μόνο τμήμα.
- **N-M** → Για παράδειγμα, ένας εργαζόμενος μπορεί να απασχολείται σε πολλά έργα και ένα έργο μπορεί να απασχολεί πολλούς εργαζόμενους.



Ο περιορισμός συμμετοχής (participation constraint) ορίζει αν η ύπαρξη μιας οντότητας εξαρτάται από το αν σχετίζεται με μια άλλη οντότητα μέσω του τύπου της συσχέτισης. Ο περιορισμός συμμετοχής καθορίζει το ελάχιστο πλήθος στιγμιοτύπων της συσχέτισης στις οποίες μπορεί να συμμετέχει μια οντότητα.

Δύο τύποι περιορισμού συμμετοχής:

- ολική (total) συμμετοχή: Κάθε εργαζόμενος πρέπει να ανήκει σε ένα τμήμα
- μερική (partial) συμμετοχή: Κάθε εργαζόμενος μπορεί να διευθύνει κάποιο τμήμα. (Δεν περιμένουμε ότι κάθε εργαζόμενος θα διευθύνει κάποιο τμήμα ...)

Η ολική συμμετοχή σημειώνεται στο ER όταν η σχέση είναι υποχρεωτική, δηλαδή όταν κάθε στιγμιότυπο της οντότητας συνδέεται υποχρεωτικά μέσω της σχέσης. Η ολική συμμετοχή μερικές φορές λέγεται εξάρτηση ύπαρξης.

Ένας τύπος συσχετίσεων μπορεί να έχει γνωρίσματα όπως οι οντότητες. Τα γνωρίσματα είναι χαρακτηριστικά της σχέσης που δημιουργείται μεταξύ δύο στιγμιοτύπων.

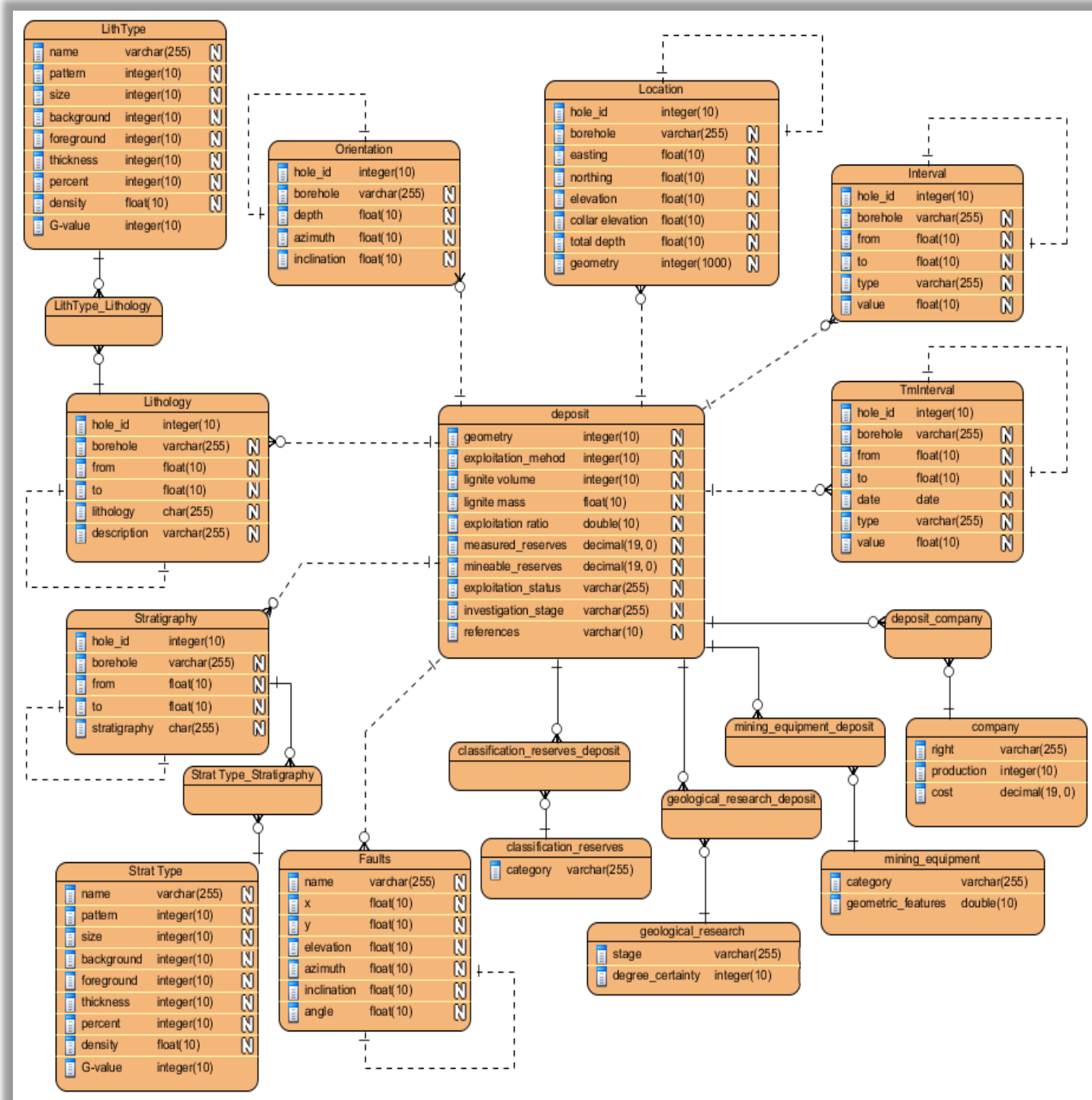
Αναδρομικές είναι οι συσχετίσεις οι οποίες συνδέουν στιγμιότυπα της ίδιας οντότητας. Για παράδειγμα κάθε directory μπορεί να περιέχει subdirectories.

Η σχέση εξειδίκευσης σημειώνεται όταν τα στιγμιότυπα μιας οντότητας εξειδικεύονται αποκτώντας επιπλέον χαρακτηριστικά, κληρονομώντας όμως τα χαρακτηριστικά της βασικής οντότητας.

Τέλος, ασθενείς ονομάζονται οι οντότητες των οποίων τα στιγμιότυπα ταυτοποιούνται μόνο μέσω μιας προσδιορίζουσας σχέσης με μια ισχυρή οντότητα. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ του αρχείου και της directory, τότε το αρχείο ταυτοποιείται από το όνομά του και την directory στην οποία ανήκει.

Όλα τα παραπάνω που προαναφέρθηκαν μπορούν να απεικονισθούν σε ένα σχήμα που δεν είναι άλλο από ένα διάγραμμα Οντοτήτων - Συσχετίσεων, όπου μπορούμε να σχεδιάσουμε το Σχήμα της Βάσης Δεδομένων.

Στη περίπτωση του σχεδιασμού της βάσης δεδομένων της παρούσας εργασίας, η οποία βασίζεται στο αντικειμενοστραφές-σχεσιακό μοντέλο, απαιτείται η σχεδίαση ενός επεκταμένου μοντέλου Οντοτήτων - Συσχετίσεων (ΕΟΣ), το οποίο επεκτείνει το μοντέλο Ο-Σ με έννοιες αντικειμενοστρεφούς σχεδίασης όπως: α) συσχέτιση κλάσης/υποκλάσης, β) εξειδίκευση/γενίκευση, γ) κληρονομικότητα, σε γλώσσα UML. Η σχεδίαση του σχήματος της εν λόγω βάσης υλοποιήθηκε μέσω του λογισμικού Visual Paradigm και φαίνεται στη παρακάτω εικόνα:



Διάγραμμα Οντοτήτων - Συσχετίσεων της Αντικειμενοστραφούς-Σχεσιακής Βάσης γεωτρητικών δεδομένων (Visual Paradigm).

Το μοντέλο οντοτήτων-συσχετίσεων θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απλοποιημένο έτσι ώστε να μη προκύπτουν περιττές πληροφορίες και ασάφειες κατά την υποβολή των χωρικών ερωτημάτων που θα γίνονται στη βάση. Οι βασικές οντότητες του σχήματος της βάσης δεδομένων, με τις οποίες θα προσπαθήσουμε να μοντελοποιήσουμε το λιγνιτικό κοίτασμα είναι:

- το κοίτασμα (Deposit),
- η τοποθεσία (Location),
- ο προσανατολισμός (Orientation),
- η λιθολογία (Lithology),
- η στρωματογραφία (Stratigraphy),
- τα ρήγματα (Faults),
- τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των στρωμάτων (Interval),
- ο χρόνος εκτέλεσης των γεωτρήσεων (TmInterval)

Οι οντότητες Location, Orientation, Lithology, Stratigraphy, Interval και TmInterval έχουν ως πρωτεύον κλειδί έναν μοναδικό αριθμό ID (hole_id) το οποίο σε κάθε μια από τις οντότητες για κάθε κοινό γνώρισμα αντιστοιχεί μονοσήμαντα σε ένα κοινό ακέραιο αριθμό έτσι ώστε να υπάρχει συνάφεια στα δεδομένα. Τα κύρια γνωρίσματα ποικίλουν για κάθε τύπο οντότητας, παρόλα αυτά για το λόγο ότι υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις με κοινά γνωρίσματα (για παράδειγμα στη λιθολογία και τη στρωματογραφία έχουμε αρκετά κοινά γνωρίσματα όπως η κωδική ονομασία της γεώτρησης, η οροφή και το δάπεδο κάθε λιθοστρώματος), το πρωτεύον κλειδί θα είναι αυτό που θα επικοινωνεί μέσω των συσχετίσεων των πινάκων-οντοτήτων και καταγράφει τη μοναδικότητα της εγγραφής κάθε πληροφορίας της στήλης δεδομένων.

Οι οντότητες Location και Faults έχουν ως χαρακτηριστικό γνώρισμα τη γεωμετρία που σημαίνει ότι θα πρέπει να τους αντιστοιχίσουμε το είδος της χωρικής πληροφορίας, εισάγοντας μια στήλη γεωμετρίας όπως θα δούμε στο φυσικό σχεδιασμό (επόμενο βήμα).

Οι παραπάνω οντότητες συνδέονται με συγκεκριμένες συσχετίσεις, όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα, για τις οποίες τέθηκαν περιορισμοί ως προς την πολλαπλότητα. Για παράδειγμα, μία (1) τοποθεσία (Location) αντιστοιχεί σε μία γεώτρηση (borehole), όμως ένα (1) κοίτασμα περιέχει N αριθμό τοποθεσιών / προσανατολισμών / λιθοστρωματογραφιών / ρηγματών κ.λπ., συνεπώς όλες αυτές οι οντότητες συνδέονται μεταξύ τους με πολλαπλότητα 1:N (ένα προς πολλά) και το πρωτεύον κλειδί της οντότητας Deposit, εισάγεται ως ξένο κλειδί στην αντίστοιχη οντότητα τοποθεσία (Location). Με την ίδια λογική, στο σχεδιασμό του διαγράμματος έχουμε θεωρήσει ότι N αριθμός εταιρειών περικλείονται από N αριθμό κοιτασμάτων άρα υπάρχει συσχέτιση των οντοτήτων αυτών με πολλαπλότητα N:N (πολλά προς πολλά). Στη παρούσα φάση εκπόνησης της εργασίας δε θα μας απασχολήσουν οι οντότητες με πολλαπλότητα N:N καθώς δεν θα είναι στο αντικείμενο προς περαιτέρω διερεύνηση. Στο παραπάνω διάγραμμα αναπαριστώνται όλες οι -μεταξύ των οντοτήτων- συσχετίσεις, η συσχέτιση σε κάθε τύπο οντότητας αλλά και τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα.

3.2 Λογικός Σχεδιασμός της Βάσης

Αφού γίνει ο εννοιολογικός σχεδιασμός, ακολουθεί ο λογικός σχεδιασμός. Το πιο διαδεδομένο μοντέλο για την υλοποίηση του λογικού σχεδιασμού είναι το Σχεσιακό Μοντέλο Δεδομένων. Το Σχεσιακό Μοντέλο Δεδομένων εισήχθη από τον Codd (1970) και έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η βάση δεδομένων παριστάνεται σαν μια συλλογή από σχέσεις, όπου μια σχέση παριστάνεται με έναν πίνακα.
- Κάθε γραμμή μιας σχέσης καλείται πλειάδα ή εγγραφή και περιέχει τιμές δεδομένων για τα γνωρίσματα που της ανήκουν.
- Κάθε στήλη μιας σχέσης αποτελεί ένα γνώρισμα ή πεδίο το όνομα του οποίου περιλαμβάνεται στην πρώτη πλειάδα της σχέσης.
- Κάθε γνώρισμα παίρνει τιμές από ένα καθορισμένο πεδίο ορισμού.

Το ΣΜΔ βασίζεται εξ ορισμού στις έννοιες των συνόλων, οπότε κάθε πλειάδα σε μια σχέση είναι μοναδική, δηλαδή δεν υπάρχουν δύο πλειάδες με τα ίδια δεδομένα στα επιμέρους γνωρίσματα. Ο ελάχιστος αριθμός γνωρισμάτων που ταυτοποιεί μια πλειάδα καλείται κλειδί της πλειάδας.

Στο ΣΜΔ οι οντότητες και οι συσχετίσεις αναπαριστώνται με πλειάδες των σχέσεων και τα γνωρίσματά τους περιγράφονται με τα γνωρίσματα των πλειάδων. Η σύνδεση των σχέσεων στο ΣΜΔ, δηλαδή ένας συσχετισμός των δεδομένων που ανήκουν σε διαφορετικούς πίνακες, επιτυγχάνεται με τις τιμές των κοινών γνωρισμάτων μεταξύ των πινάκων (πρωτεύοντα και ξένα κλειδιά). Αυτό σημαίνει ότι όταν μια σχέση A που έχει ως κλειδί το Akey συσχετίζεται με μια σχέση B που έχει ως κύριο κλειδί το Bkey, τότε:

- ✓ Τοποθετείται στη σχέση B ένα πεδίο Akey που αντιστοιχεί στο κλειδί της σχέσης A.
- ✓ Αυτό το πεδίο παίρνει τιμές από το σύνολο τιμών του Akey και λέγεται ξένο κλειδί.
- ✓ Οι εγγραφές των δύο πινάκων συσχετίζονται μέσω των τιμών του πεδίου αυτού.

Το στάδιο αυτό δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητικό στην περίπτωση της βάσης χαρτογραφικών δεδομένων λόγω της απλότητας των σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων. Επανεξετάζεται η λίστα των θεματικών επιπέδων ως προς τις χωρικές οντότητες που καταγράφουν και εντοπίζονται τυχόν συγγένειες και ομοιότητες που μπορούν να οδηγήσουν σε συγχωνεύσεις ως προς τις χωρικές οντότητες και τους χωρικούς πίνακες που θα δημιουργηθούν.

3.3 Φυσικός σχεδιασμός της βάσης

Μετά την ολοκλήρωση του λογικού σχεδιασμού ακολουθεί ο φυσικός σχεδιασμός. Ο φυσικός σχεδιασμός περιλαμβάνει τη δημιουργία της βάσης και την εισαγωγή των δεδομένων στις στήλες-γνωρίσματα των πινάκων-οντοτήτων της βάσης. Η δημιουργία της βάσης και η εισαγωγή των δεδομένων σε αυτήν έγινε με χρήση του λογισμικού της PostgreSQL με τη βοήθεια της διαχείρισης: α) μέσα από τη γραμμή εντολών της κονσόλας command prompt και β) από το περιβάλλον pgAdmin.

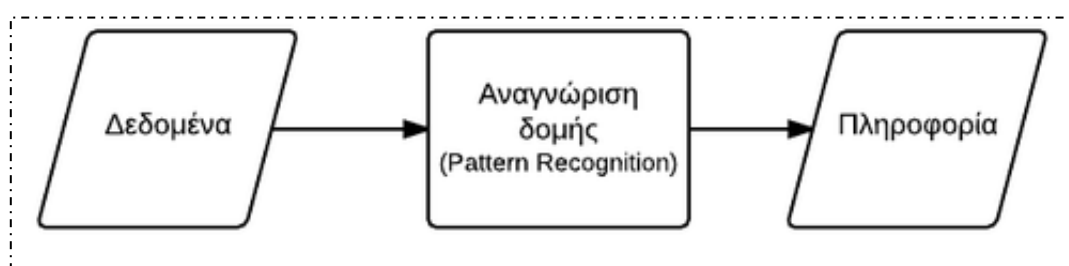
Η μεθοδολογία υλοποίησης του φυσικού σχεδιασμού της βάσης αντικειμενο-σχεσιακού μοντέλου δεδομένων, παρατίθεται στο Παράρτημα - I στην ενότητα 5 της εργασίας.

4. Μοντελοποίηση λιγνιτικού κοιτάσματος

4.1 Μοντελοποίηση δεδομένων

Με τον όρο μοντελοποίηση δεδομένων (αγγλ. *Data modeling*) εντός ενός πεδίου εφαρμογής (που αποτελεί το πρόβλημα το οποίο πρέπει να επιλυθεί) καλείται η διαδικασία περιγραφής και αναπαράστασης των δεδομένων αυτών με τη βοήθεια ενός μοντέλου.

Τα δεδομένα από μόνα τους, δεν επιτρέπουν στον άνθρωπο την εξαγωγή συμπερασμάτων. Οπότε περνάμε από την διαδικασία της **αναγνώρισης προτύπων** (pattern recognition) ώστε να διαπιστωθεί / εξαχθεί η πληροφορία. Υπάρχουν τεχνικές αναγνώρισης πληροφορίας και αλγόριθμοι, που αυτοματοποιούν την διαδικασία.



4.1.1 Αλγόριθμος

Ως αλγόριθμος ορίζεται μια πεπερασμένη σειρά ενεργειών, αυστηρά καθορισμένων και εκτελέσιμων σε πεπερασμένο χρόνο, που στοχεύουν στην επίλυση ενός προβλήματος. Πιο απλά αλγόριθμο ονομάζουμε μία σειρά από εντολές που έχουν αρχή και τέλος, είναι σαφείς και εκτελέσιμες που σκοπό έχουν την επίλυση κάποιου προβλήματος.

Τα βήματα δημιουργίας αλγορίθμου είναι:

1. Διατύπωση του προβλήματος
2. Κατανόηση του προβλήματος
3. Λύση του προβλήματος
4. Διατύπωση του αλγορίθμου
5. Έλεγχος της λύσης

4.1.2 Κριτήρια αλγορίθμου

Οι αλγόριθμοι θα πρέπει να πληρούν κάποια πρότυπα και να διατυπώνονται με συγκεκριμένο τρόπο. Έτσι ένας αλγόριθμος πρέπει να ικανοποιεί τα επόμενα κριτήρια:

- **Καθοριστικότητα:** Κάθε κανόνας του ορίζεται επακριβώς και η αντίστοιχη διεργασία είναι συγκεκριμένη. Κάθε εντολή πρέπει να καθορίζεται χωρίς καμία αμφιβολία για τον τρόπο εκτέλεσής της.

- **Περατότητα:** Κάθε εκτέλεση είναι πεπερασμένη, δηλαδή τελειώνει ύστερα από έναν πεπερασμένο αριθμό διεργασιών ή βημάτων. Μία διαδικασία που δεν τελειώνει μετά από συγκεκριμένο/πεπερασμένο αριθμό βημάτων λέγεται απλά υπολογιστική διαδικασία.

- **Αποτελεσματικότητα:** Είναι μηχανιστικά αποτελεσματικός, δηλαδή όλες οι διαδικασίες που περιλαμβάνει μπορούν να πραγματοποιηθούν με ακρίβεια και σε πεπερασμένο χρόνο "με μολύβι και χαρτί". Κάθε μεμονωμένη εντολή του αλγορίθμου να είναι απλή (και όχι σύνθετη). Δηλαδή μία εντολή δεν αρκεί να έχει οριστεί αλλά πρέπει να είναι και εκτελέσιμη.

- **Επεκτασιμότητα:** Κατά την εκκίνηση εκτέλεσης του αλγορίθμου καμία, μία ή περισσότερες τιμές δεδομένων πρέπει να δίνονται ως είσοδοι στον αλγόριθμο. Η περίπτωση που δε δίνονται τιμές δεδομένων εμφανίζεται όταν ο αλγόριθμος δημιουργεί και επεξεργάζεται κάποιες πρωτογενείς τιμές με τη βοήθεια συναρτήσεων παραγωγής τυχαίων αριθμών ή με τη βοήθεια άλλων απλών εντολών.

- **Να έχει είσοδο δεδομένων, επεξεργασία και έξοδο αποτελεσμάτων:** Δίνει τουλάχιστον ένα μέγεθος ως αποτέλεσμα που εξαρτάται κατά κάποιο τρόπο από τις αρχικές εισόδους. Ο αλγόριθμος πρέπει να δημιουργεί τουλάχιστον μία τιμή (δεδομένων) ως αποτέλεσμα προς το χρήστη ή προς ένα άλλο αλγόριθμο.

4.1.3 Βασικές εντολές αλγορίθμων

Επειδή ένας αλγόριθμος είναι ένας ακριβής κατάλογος βημάτων ακριβείας, η σειρά του υπολογισμού θα είναι σχεδόν πάντα κρίσιμη για τη λειτουργία του αλγορίθμου. Οι εντολές συνήθως απαριθμούνται ρητά, και περιγράφονται σαν να ξεκινούν "από την κορυφή" και πηγαίνοντας "προς στο κατώτατο σημείο", μια ιδέα που περιγράφεται τυπικά με τον όρο της "ροής ελέγχου". Όλοι οι αλγόριθμοι διέπονται από συγκεκριμένες δομές εντολών:

- **Δομή ακολουθίας** - Η δόμηση των διαδικασιών σε τέτοια μορφή, έτσι ώστε οι διαδικασίες να εκτελούνται με τη σειρά από τον υπολογιστή.

- **Δομή επιλογής** - Η προγραμματιστική δομή που περικλείει τον έλεγχο μιας συνθήκης και μία ή δύο ομάδες εντολών. Από τις ομάδες των εντολών εκτελείται η πρώτη, αν ισχύει η συνθήκη, ή αν υπάρχει και δεύτερη ομάδα εντολών εκτελείται η δεύτερη αν δεν ισχύει η συνθήκη. Με τον όρο συνθήκη εννοούμε δυο όρους ίδιου τύπου και ανάμεσα τους ένας τελεστής σύγκρισης. Με τον όρο τελεστή σύγκρισης εννοούμε ένα από τα σύμβολα $<$, $>$, $<=>$, $<=$, $>=$, $=$. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης των όρων (νοείται εφόσον οι όροι έχουν κάποια τιμή, δηλαδή δεν περιέχουν την τιμή null) είναι η αλγεβρική τιμή Αληθής (True) ή Ψευδής (False). Οι όροι μπορεί να είναι μεταβλητές ή σταθερές.

- **Δομή επανάληψης** - Η προγραμματιστική δομή που περικλείει τον συνεχή έλεγχο μίας συνθήκης και μία ομάδα εντολών. Οι εντολές εκτελούνται ανάλογα με την δομή της επανάληψης. Υπάρχουν τριών ειδών επαναλήψεις.

- **Επανάλαβε εφόσον.** Σε αυτή την δομή επανάληψης ελέγχεται πρώτα η συνθήκη και εφόσον ισχύει (δίνει τιμή αληθή) εκτελείται η ομάδα εντολών.

- **Επανάλαβε μέχρι.** Σε αυτή την δομή επανάληψης εκτελείται η ομάδα εντολών , στην συνέχεια ελέγχεται αν ισχύει η συνθήκη και εφόσον ΔΕΝ ισχύει (δίνει τιμή ψευδής) εκτελείται ξανά η ομάδα εντολών.
- **Για N φορές επανάλαβε.** Σε αυτή την δομή επανάληψης εκτελείται η ομάδα εντολών N φορές όπου N είναι αριθμός θετικός ακέραιος.

4.1.4 Εφαρμογή των αλγορίθμων

Οι αλγόριθμοι είναι σημαντικοί γιατί σχετίζονται άμεσα με τον τρόπο με τον οποίο οι υπολογιστές επεξεργάζονται δεδομένα και παράγουν πληροφορίες. Ένα πρόγραμμα υπολογιστών είναι ουσιαστικά ένας αλγόριθμος που λέει στον υπολογιστή ποια συγκεκριμένα βήματα να εκτελέσει (σε ποια συγκεκριμένη σειρά) προκειμένου να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος στόχος.

Οι αλγόριθμοι μπορούν να υλοποιηθούν από προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, μολονότι συχνά σε περιορισμένες μορφές. Ένα λάθος στον σχεδιασμό ενός αλγορίθμου για την λύση ενός προβλήματος μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχίες/βλάβες στο εφαρμοσμένο πρόγραμμα. Δεν υλοποιούνται μόνο ως προγράμματα υπολογιστών, αλλά συχνά επίσης και με άλλα μέσα, όπως π.χ. σε ένα βιολογικό νευρικό δίκτυο, ή σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, ή σε μια μηχανική συσκευή.

Η ανάλυση και η μελέτη των αλγορίθμων είναι ένας τομέας τής επιστήμης της πληροφορικής, και ασκείται συχνά αφαιρετικά (χωρίς τη χρήση μιας συγκεκριμένης γλώσσας προγραμματισμού ή άλλη εφαρμογή). Από αυτή την άποψη, μοιάζει με άλλους μαθηματικούς τομείς, συγκεκριμένα στο ότι η εστίαση της ανάλυσης είναι πάνω στις βασικές αρχές του αλγορίθμου, και όχι σε οποιαδήποτε ιδιαίτερη εφαρμογή του. Ένας τρόπος απεικόνισης ενός αλγορίθμου είναι το γράφημο του ψευδοκώδικα. Άλλοι τρόποι είναι: με ελεύθερο κείμενο , με φυσική γλώσσα περιγράφοντας τα βήματα και με λογικό διάγραμμα.

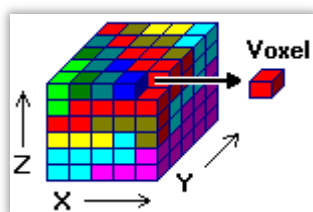
4.2 Μεθοδολογία Μοντελοποίησης γεωλογικών δεδομένων με τη χρήση λογισμικού

Ο σκοπός της δημιουργίας του μοντέλου, είναι η όσο το δυνατόν πιο πιστή αριθμητική αναπαράσταση των παραμέτρων που ενδιαφέρουν για το υπό μελέτη κοίτασμα. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού απαραίτητη είναι η γνώση του κοιτάσματος (συνθήκες σχηματισμού, ιδιομορφίες, παράγοντες που ελέγχουν την μεταλλογέννεση, τεκτονική κ.α.) και η μέθοδος εκμετάλλευσης που θα εφαρμοστεί, ώστε να είναι δυνατή η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου. Η αρχή που πρέπει να τηρείται πάντα, είναι ότι «το μοντέλο προσαρμόζεται στο κοίτασμα και όχι το κοίτασμα στο μοντέλο».

Η μοντελοποίηση στερεών είναι μια ακριβής 3-διαστάσεων διαδικασία κατασκευής πλέγματος, στην οποία χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος μοντελοποίησης για την παρεμβολή τιμών «G» (G values) για καθορισμένες X, Y και Z συντεταγμένες. Οι τιμές G μπορεί να αντιπροσωπεύουν γεωχημικές συγκεντρώσεις, γεωφυσικές μετρήσεις, ή οποιοδήποτε άλλη «βυθιζόμενη» ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ποσοτική τιμή.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος υλοποίησης ενός μοντέλου είναι ένας τρισδιάστατος κάνναβος με μοναδιαία διανύσματα ΔX , ΔY , ΔZ , όπου κάθε κόμβος του καννάβου αναπαριστά ένα στοιχειώδη όγκο ΔV του κοιτάσματος, με κέντρο τον κόμβο και διαστάσεις $\Delta X \Delta Y \Delta Z$. Ο στοιχειώδης όγκος ΔV , ονομάζεται κυψελίδα («voxel» όπως ονομάζεται από το RockWorks) και οι διαστάσεις και το σχήμα του εξαρτώνται από τη μορφή του κοιτάσματος, τη μέθοδο εκμετάλλευσης το είδος και την πυκνότητα των γεωτρήσεων.

Από τη στιγμή που γνωρίζει τις διαστάσεις της περιοχής μελέτης (εφόσον έχει γίνει η διαστασιολόγηση του μοντέλου και του καννάβου), το πρόγραμμα διαιρεί την περιοχή σε τρισδιάστατα voxels (ακόλουθη εικόνα), ορίζοντας τις διαστάσεις τους αυτόματα ή έχοντας οριστεί από το χρήστη. Κάθε τέτοιο τρισδιάστατο στοιχείο όγκου (voxel) ορίζεται από τα γωνιακά σημεία ή τους κόμβους του. Κάθε κόμβος αντιστοιχεί σε μια κατάλληλη θέση με X, Y, Z συντεταγμένες σύμφωνα με τη σχετική τοποθέτησή του εντός της περιοχής μελέτης. Μια τέταρτη μεταβλητή, η τιμή "G" (η οποία μπορεί να αντιπροσωπεύει μια βαθμίδα ενός μεταλλεύματος, συγκέντρωση ρύπων, κ.λπ), εκτιμάται με βάση την τιμή «G» των σημείων των δεδομένων που έχουν δοθεί.

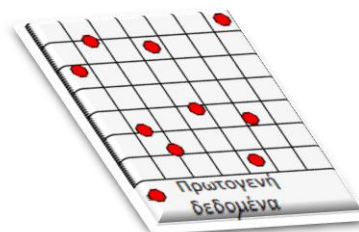


Εικόνα 12: Εικόνα ενός γραφικού στοιχείου voxel (κυψελίδα).

Σε κάθε κυψελίδα υπολογίζονται και αποδίδονται οι τιμές των παραμέτρων του κοιτάσματος που μελετούνται. Ο υπολογισμός γίνεται με ειδικές μεθόδους παρεμβολής, χρησιμοποιώντας τα γνωστά στοιχεία από τις γεωτρήσεις και τις άλλες ερευνητικές εργασίες. Οι μέθοδοι αυτές, σε γενικές γραμμές, λαμβάνουν υπ' όψιν τις τιμές της υπολογιζόμενης παραμέτρου των

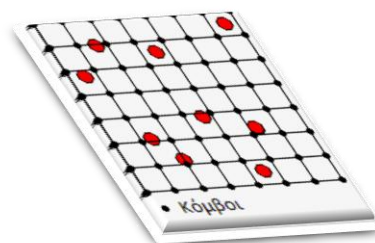
γειτονικών στην κυψελίδα (voxel) στοιχείων των γεωτρήσεων, τις αποστάσεις τους και τις σχετικές τους θέσεις ως προς αυτή.

Κανναβοποίηση (αγγλ. *gridding*) είναι μια διαδικασία κατά την οποία διάσπαρτα, χωρικά καταναμημένα στοιχεία μπορούν να μετατραπούν σε μια συνεχή διάταξη ή πλέγμα αριθμητικών τιμών. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να αντιπροσωπεύουν οτιδήποτε από τοπογραφικά υψόμετρα μιας περιοχής μέχρι κριτικές πελατών εστιατορίων, αρκεί τα πρωτογενή στοιχεία να έχουν συντεταγμένες θέσης (x και y) και μετρήσιμη (αριθμητική) τιμή z κάποιου είδους. Οι συντεταγμένες θέσης πρέπει να είναι σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.



Μπορεί να φανταστεί κανείς ένα μοντέλο πλέγματος ως ένα πλέγμα νοητών γραμμών που επικαλύπτει τα πρωτογενή μας σημεία/δεδομένα.

Κατά τη διαδικασία της κανναβοποίησης, το πρόγραμμα αντιστοιχίζει μια τιμή για τις τομές των γραμμών του πλέγματος, που ονομάζεται κόμβος (node).

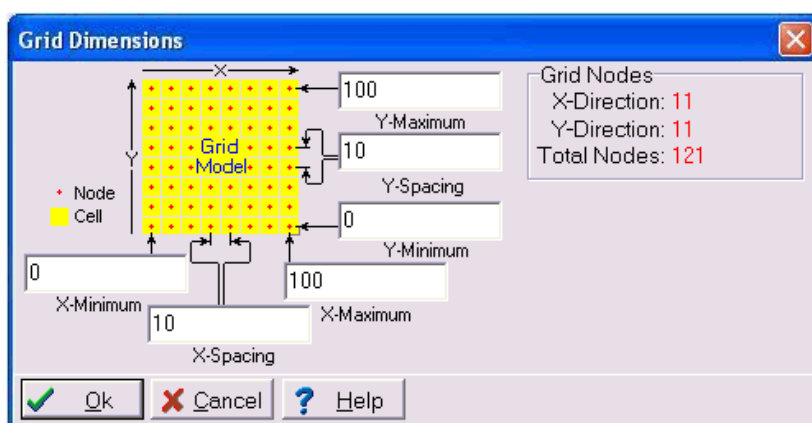


Ένα αρχείο καννάβου είναι το ηλεκτρονικό αρχείο των αριθμών που περιέχει τα αποτελέσματα της διαδικασίας της κανναβοποίησης. Περιέχει μια λίστα των x και y συντεταγμένων θέσης των κανονικοποιημένων κόμβων του δικτύου και την κατά παρεκβολή τιμή z σε κάθε κόμβο.

Εικόνα 13: Σημεία στο πλέγμα (πάνω) - κόμβος πλέγματος (κάτω).

Κάθε κόμβος έχει μια (x,y) τοποθεσία, και μια τιμή "z" που το πρόγραμμα παρεμβάλλει. Η τιμή z μπορεί να αντιπροσωπεύει υψόμετρα, υπολογισμούς για τα πάχη, χημικές ουσίες, γεγονότα - γενικά οποιοδήποτε πραγματικό αριθμό.

Η διαστασιολόγηση ενός μοντέλου πλέγματος απεικονίζεται στη παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 14: Διαστασιολόγηση μοντελοποιημένου καννάβου.

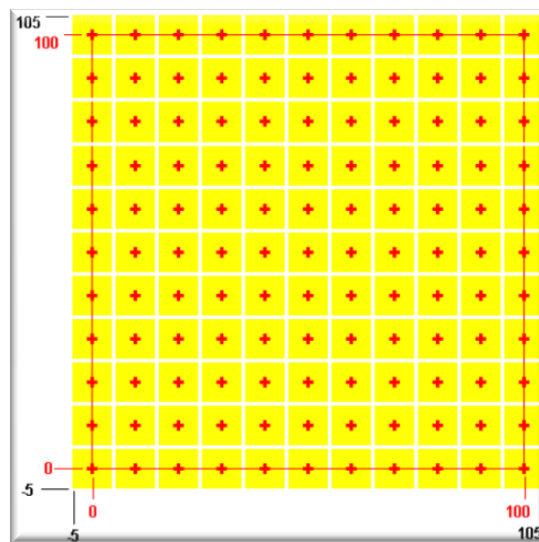
Τα στοιχεία αυτά καθορίζουν τις διαστάσεις του μοντέλου πλέγματος:

- X-Minimum: Η δυτικότερη περιοχή ενός κόμβου.

- X-Spacing: Η απόσταση, σε μονάδες μέτρησης του εκάστοτε χάρτη, μεταξύ των κόμβων κατά μήκος του άξονα x.
- X-Maximum: Η ανατολικότερη περιοχή ενός κόμβου.
- Y-Minimum: Η νοτιότερη θέση ενός κόμβου.
- Y-Spacing: Η απόσταση, σε μονάδες μέτρησης του εκάστοτε χάρτη, μεταξύ των κόμβων κατά μήκος του άξονα y.
- Y-Maximum: Η βορειότερη περιοχή ενός κόμβου.

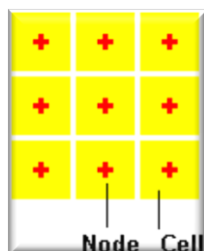
Όταν το λογισμικό σχεδιάζει το περίγραμμα ενός χάρτη των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα σε ένα μοντέλο δικτύου, ουσιαστικά σχεδιάζει τα ελάχιστα και μέγιστα όρια x και y των κόμβων του μοντέλου.

Στο παραπάνω παράδειγμα, τα περιγράμματα του χάρτη θα προέρχονται από μια συντεταγμένη από το 0 έως 100 κατά μήκος τόσο του x όσο και του y άξονα, όπως φαίνεται με το κόκκινο πλαίσιο παρακάτω. Αυτό σημαίνει ότι η ίδια η περιοχή του χάρτη θα είναι 100 x 100 ή 10.000 τετραγωνικά μέτρα.



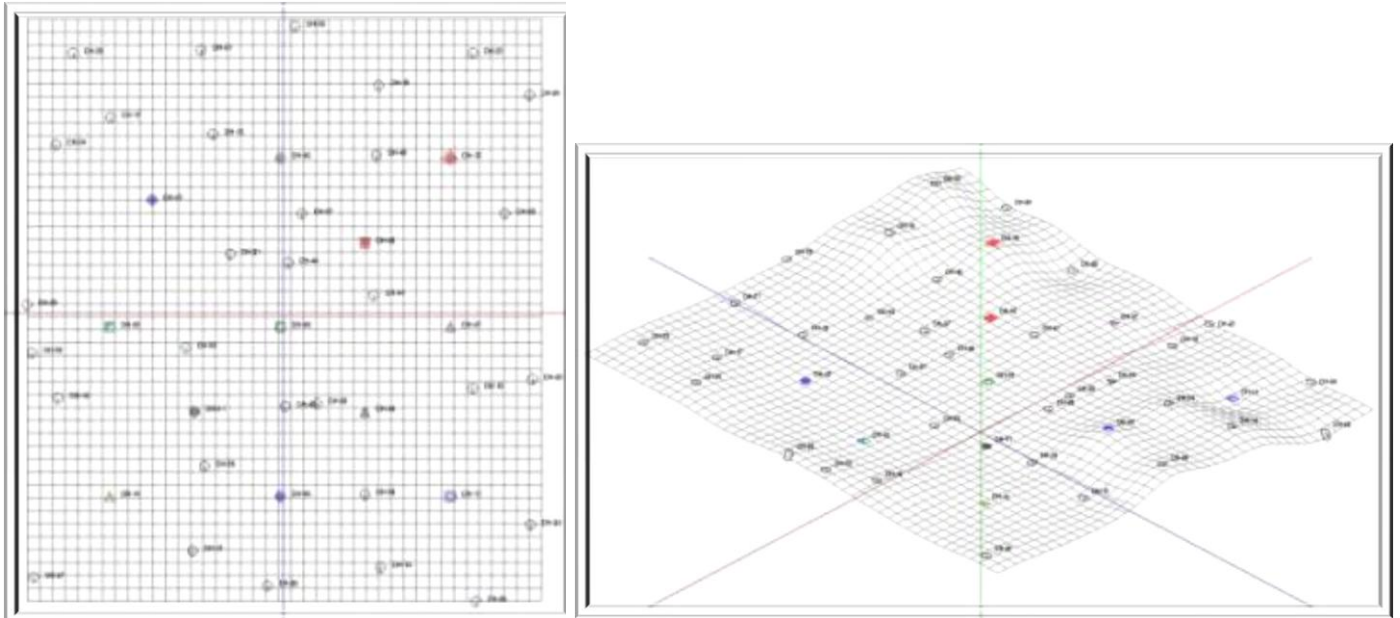
Εικόνα 15: Διαστασιολογημένη περιοχή ενός μοντέλου πλέγματος.

Ωστόσο, όταν το λογισμικό υπολογίζει το εμβαδόν του ίδιου του πλέγματος του μοντέλου, τα αποτελέσματα θα είναι ελαφρώς διαφορετικά. Το πρόγραμμα υπολογίζει περιοχή, υπολογίζοντας την περιοχή ενός κελιού του πλέγματος και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντάς το με τον αριθμό των κελιών στο μοντέλο. Δεδομένου ότι μόνο ένας κόμβος μπορεί να υπάρχει σε ένα κελί (για τις περιπτώσεις υπολογισμού όγκου), δημιουργώντας ένα κελί με τη σύνδεση 4 κόμβων δεν θα λειτουργούσε. Αντ' αυτού, το λογισμικό διευθετεί τα κελιά του πλέγματος με τους κόμβους στο κέντρο.



Έτσι, όταν η περιοχή πλέγματος υπολογίζεται, θα είναι μεγαλύτερη κατά ένα διάστημα-μεταξύ-δύο-κόμβων-πλέγματος κατά μήκος και των δύο αξόνων. Στο παραπάνω παράδειγμα, η περιοχή του δικτύου θα εκτείνεται από το -5 μέχρι το 105 κατά μήκος των αξόνων x και y και η περιοχή θα είναι συνολικού εμβαδού 12.100 τετραγωνικών μέτρων.

Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν διάσπαρτες θέσεις γεωτρήσεων και ένα γενικευμένο μοντελοποιημένο κάρναβο, σε κάτοψη και σε 3D επιφάνεια:



Εικόνα 16: Θέσεις γεωτρήσεων γενικευμένου μοντελοποιημένου κάρναβου σε κάτοψη και σε 3D.

4.2.1 Μοντελοποίηση δεδομένων με τη δημιουργία Πλέγματος

Το πρόγραμμα προσφέρει διάφορες μεθοδολογίες για να κάνει αυτή τη χωρική παρεμβολή των δεδομένων σε ένα κανονικοποιημένο χωρικό μοντέλο μέσω μιας πληθώρας επιλογής αλγορίθμων, δηλαδή των αυτοματοποιημένων και προγραμματισμένων σειρών από εκτελέσιμες εντολές, καθένας από τους οποίους λειτουργεί διαφορετικά κι εξειδικεύεται, γι' αυτό και ο καθένας έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Ακολουθεί μια αναλυτική αναφορά στη μεθοδολογία μοντελοποίησης που εφαρμόζουν οι διαθέσιμοι κι επιλέξιμοι από το λογισμικό -προς επεξεργασία κι ανάλυση των πρωτογενών γεωτρητικών μας δεδομένων- αλγόριθμοι:

✚ **CLOSEST POINT**: Κάθε κόμβος του πλέγματος/κάρναβου λαμβάνει την τιμή του πλησιέστερου σημείου ελέγχου.

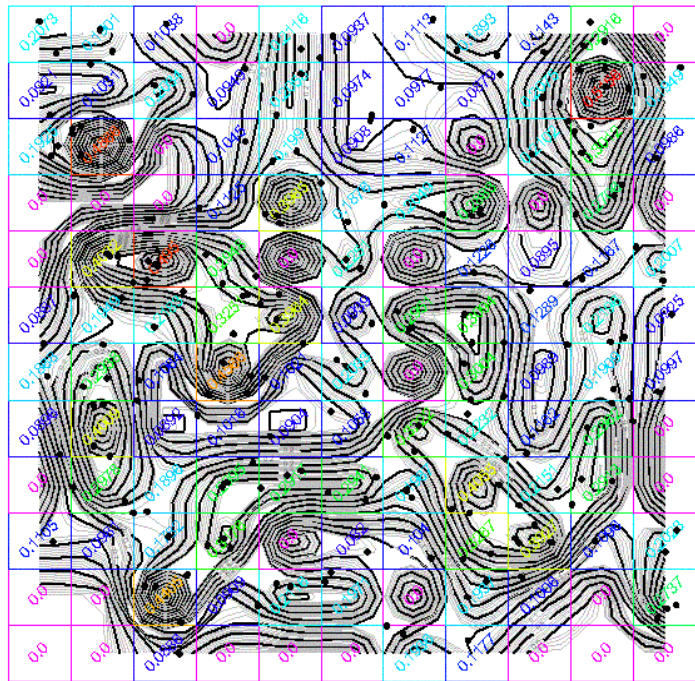
- Πλεονεκτήματα: Το εύρος των τιμών του πλέγματος θα είναι ίσο με το εύρος των σημείων του δείγματος, με το μέγιστο και ελάχιστο κόμβου δικτύου σε πλήρη αντιστοιχία με τις τιμές των σημείων του δείγματος.
- Μειονεκτήματα: Αυτός ο αλγόριθμος μπορεί να παράγει ένα ασυνεχές μοντέλο πλέγματος, με απότομες αλλαγές μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

Η προσέγγιση αυτή δε λαμβάνει υπόψη τις βαθμιαίες μεταβολές της επιφάνειας και είναι κατάλληλη για δεδομένα που αναπαριστούν ένα φαινόμενο που υπόκειται σε απότομες μεταβολές π.χ. ένα φαινόμενο με χαμηλό βαθμό χωρικής συσχέτισης.

✚ **CUMULATIVE**: Προσδιορίζει τις τιμές του κόμβου του δικτύου με την προσθήκη των τιμών z για όλα τα σημεία ελέγχου που βρίσκονται σε αντιστοιχία με το κελί του δικτύου.

- Πλεονεκτήματα: Είναι χρήσιμος κατά τη χαρτογράφηση των σταθμισμένων στοιχείων από συμβάντα.

(Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα περιμετρικό χάρτη της εγκληματικότητας. Θα ξεκινήσουμε με τη δημιουργία ενός πίνακα XYZ των επιμέρους δεδομένων με περιστατικά στα οποία η τιμή z αντιπροσωπεύει τη σοβαρότητα του εγκλήματος (π.χ. παραβίαση πάρκινγκ = 0,1, κλοπές από καταστήματα = 0,2, βίαση επίθεση = 0,8, βιασμός = 0,9, ανθρωποκτονία = 1,0). Τα δεδομένα στη συνέχεια θα κανναβοποιηθούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι κόμβοι του δικτύου να αντιπροσωπεύουν το άθροισμα όλων των σταθμισμένων σημείων ελέγχου μέσα σε κάθε κελί.



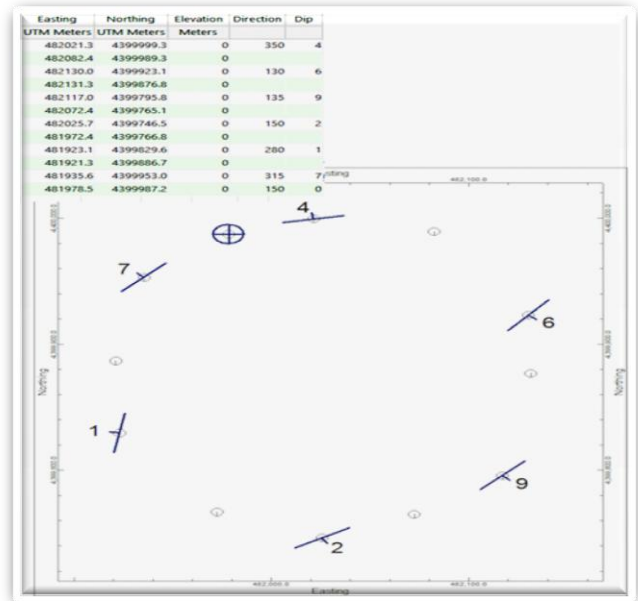
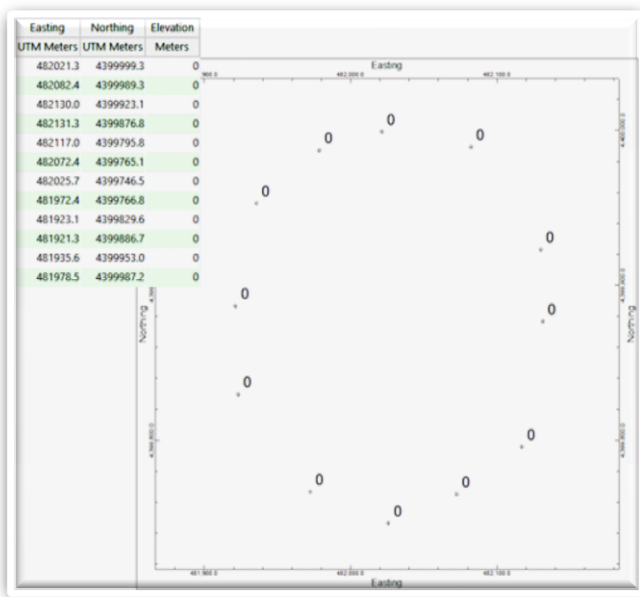
Αυτή η μέθοδος θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση παραγωγής άντλησης γεωτρήσεων εντός των κελιών του καννάβου.

- Μειονεκτήματα: Ο αλγόριθμος αυτός δεν προορίζεται για τη μοντελοποίηση κατασκευαστικών επιφανειών ή για τιμές που αφορούν πάχη.

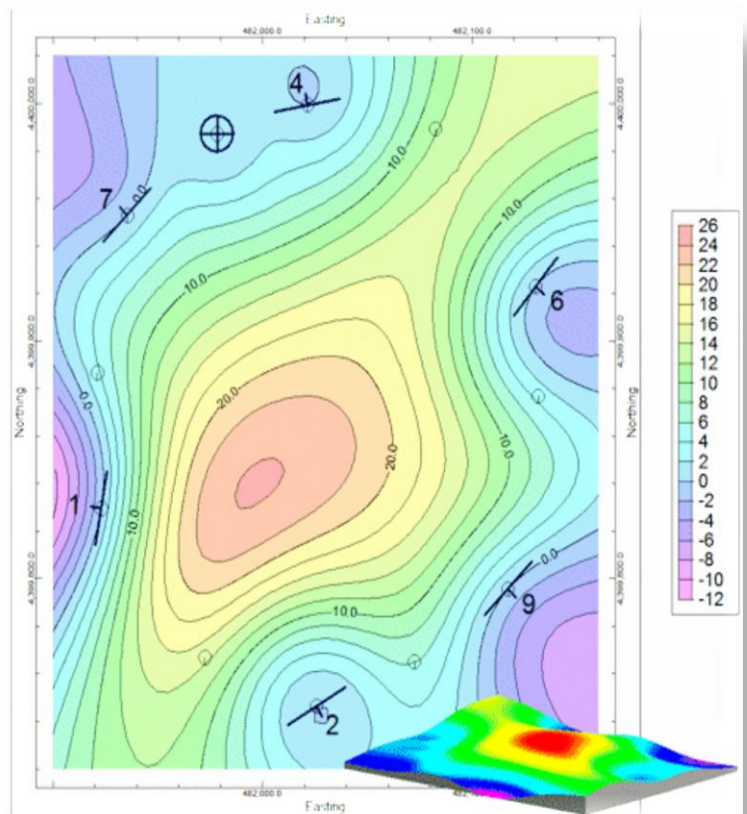
✚ **DIP**: Προσεγγίζει το μοντέλο της επιφάνειας με βάση τη γωνία και τη κατεύθυνση «βύθισης» των σημείων ελέγχου (γεωτρήσεις). Ο αλγόριθμος δέχεται επίσης σημεία για τα οποία η «βύθιση» είναι άγνωστη.

Αυτή η μέθοδος κατασκευής πλέγματος είναι εφαρμόσιμη για μοντελοποιήσιμες γεωλογικές δομές (υψομέτρων) μόνο. Ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί ως εξής: Ας εξετάσουμε τα σημεία ελέγχου που παρατίθενται και χαρτογραφήθηκαν στο ακόλουθο διάγραμμα. Κάθε ένα από τα σημεία έχει τιμή z (υψόμετρο) ίση με το μηδέν. Ένας χάρτης ισοϋψών καμπύλων δε θα είχε λογική, αφού μια επιφάνεια πλέγματος θα ήταν ένα οριζόντιο επίπεδο (αριστερή εικόνα).

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε πληροφορίες για αυτή τη «βύθιση» (σε κατεύθυνση και γωνία) για ορισμένα από αυτά τα σημεία (δεξιά εικόνα), όπως φαίνεται παρακάτω:



Ο αλγόριθμος θα χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες αυτές (για τα σημεία που πρέπει), για να κατασκευάσει νοητά επίπεδα που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ισοϋψών καμπυλών του μοντέλου, όπως φαίνεται από το συγκεκριμένο παράδειγμα που ακολουθεί. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος υπολογίζει το επίπεδο που απεικονίζεται από κάθε σημείο μέτρησης. Στη συνέχεια, για κάθε κόμβο καθορίζει το υψόμετρο στα σημεία συνάντησης XY αυτού του κόμβου και στα επίπεδα των είτε όλων των σημείων του δείγματος είτε συγκεκριμένου αριθμού γειτονικών σημείων. Υπολογίζει μια μέση τιμή σταθμισμένης απόστασης αυτών των υψομέτρων. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και φίλτρο απόστασης έτσι ώστε τα απομακρυσμένα σημεία να μην επηρεάζουν τον κόμβο.



DIRECTIONAL WEIGHTING: Χρησιμοποιεί τη μεθοδολογία των Αντιστρόφων-Αποστάσεων κατά την οποία η τιμή καθενός από τα σημεία (δεδομένα) σταθμίζεται ανάλογα με το αντίστροφο της απόστασης από τον κόμβο δικτύου που υπολογίζεται. Η

διαφορά στο σχήμα αυτού του αλγορίθμου έγκειται στο ότι μπορούμε να καθορίσουμε μια κατευθυντήρια τάση και το πρόγραμμα θα μεταβάλλει τον σταθμισμένο εκθέτη, έτσι ώστε τα σημεία που είναι πιο κοντά κατά μήκος της κατεύθυνσης αυτής να επηρεάζουν τον κάρναβο περισσότερο από τα σημεία που είναι κάθετα προς αυτή την κατεύθυνση.

- Πλεονεκτήματα: Η μέθοδος αυτή έχει τα ίδια πλεονεκτήματα με την μεθοδολογία του αλγορίθμου των Αντιστρόφων Αποστάσεων συν το γεγονός ότι επιτρέπει στην εισαγωγή κατευθυντήριας κλίσης στη διαδικασία κάρναβοποίησης.

- Μειονεκτήματα: Αυτός ο αλγόριθμος μπορεί να εφαρμόσει κατευθυντήριες τάσεις, ακόμη και αν δεν υπάρχουν και χρειάζεται προσοχή.

✚ **DISTANCE TO POINT**: Σε κάθε κομβο αντιστοιχεί μία τιμή που αντιπροσωπεύει την απόστασή του, στα σημεία X,Y του χάρτη, από το πλησιέστερο σημείο ελέγχου.

- Πλεονεκτήματα: Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τονίσει την αξιοπιστία ενός συνόλου δεδομένων, εκφράζοντας την απόσταση από οποιοδήποτε κόμβο προς τη πλησιέστερη γεώτρηση.

- Μειονεκτήματα: Ο αλγόριθμος αυτός δε διευκρινίζει τα ίδια τα δεδομένα, παρά μόνο τη γειννίαση των κόμβων με τα δεδομένα.

Παράδειγμα χρήσης: Εκτελούμε τον αλγόριθμο μέσω ενός φίλτρου μεταβλητότητας, καθορίζοντας τους κόμβους με τις πολύ υψηλές τιμές (π.χ. εκείνοι που είναι πολύ απομακρυσμένοι από τα σημεία ελέγχου, με βάση τη δική μας εκτίμηση) στο "0" και όλους τους άλλους κόμβους στο "1". Πολλαπλασιάζουμε έναν πραγματικό αριθμό ισόπαχων καμπυλών με το εν λόγω μεταβλητό πλέγμα για να παρακάμψουμε αυτές τις περιοχές χαμηλής εμπιστοσύνης από τους υπολογισμούς της ογκομέτρησης.

✚ **INVERSE-DISTANCE**: Μια συνηθισμένη μέθοδος κατά την οποία η τιμή που αποδίδεται σε έναν κόμβο είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος είτε όλων των σημείων του δείγματος είτε μια σειράς από κατανεμημένους -κατά τη διεύθυνση- γείτονες. Η τιμή για καθένα από τα σημεία σταθμίζεται σύμφωνα με το αντίστροφο της απόστασής του από τον κόμβο του δικτύου. Αφορά μόνο τη σχέση της τιμής μεταξύ του ζητούμενου σημείου και ενός υποσυνόλου δεδομένων με συντελεστή βάρους την απόσταση.

- Πλεονεκτήματα: Παράγει ένα ομαλό και συνεχές πλέγμα που δεν θα επεκτείνεται πέρα από τα δοθέντα σημεία. Το εύρος των τιμών του κάρναβου θα είναι μικρότερο από την διακύμανση των σημείων: Η υψηλότερη τιμή πλέγματος θα είναι μικρότερη από το μέγιστο σημείο του δείγματος και η χαμηλότερη τιμή πλέγματος θα είναι μεγαλύτερη από το ελάχιστο σημείο του δείγματος.

- Μειονεκτήματα: Παρατηρούνται μορφές ομόκεντρων ισარიθμικών (φαινό-μενο «bull's eye») γύρω από τα σημεία του δείγματος.

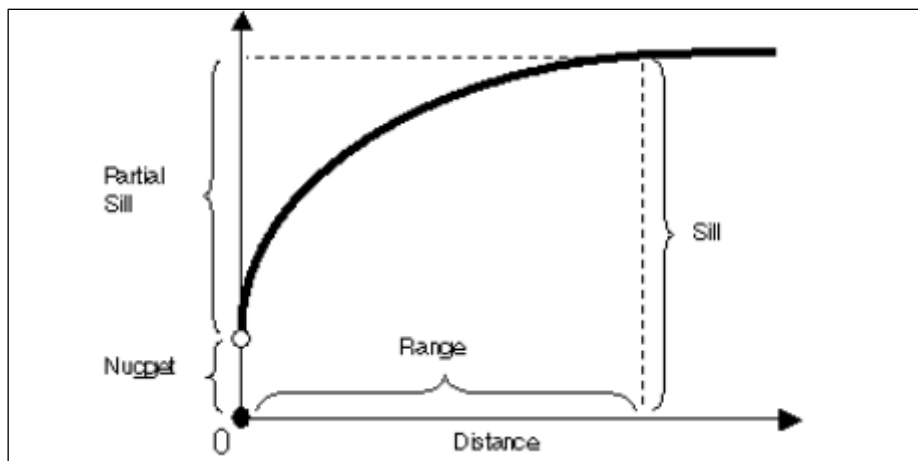
✚ **KRIGING**: Η μέθοδος Kriging μπορεί να χαρακτηριστεί ως η πλέον κατάλληλη εκτίμηση της τιμής μιας χωρικής μεταβλητής επειδή παρέχει εκτίμηση μέσω της γραμμικής παλινδρόμησης, η οποία είναι ανεξάρτητη και χαρακτηρίζεται από την ελάχιστη μεταβλητότητα. Αντιμετωπίζει το πρόβλημα της χωρικής παρεμβολής ενός πεδίου μιας τυχαίας μεταβλητής αξιοποιώντας τη χωρική αυτοσυσχέτιση τόσο μεταξύ

των υπό προσδιορισμό σημείων και των δεδομένων, όσο και των δεδομένων μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος Kriging βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές:

✓ Η τιμή για ένα άγνωστο σημείο μπορεί να εκτιμηθεί από τα γειτονικά σημεία, αλλά αυτό το άγνωστο σημείο δεν είναι απαραίτητα εντελώς εξαρτώμενο από τις τιμές των γνωστών σημείων.

✓ Η μεταβλητότητα στις τιμές z από ένα σύνολο δεδομένων είναι συνάρτηση δύο παραγόντων: την απόσταση και την κατεύθυνση. Σε γενικές γραμμές, η μέθοδος εκχωρεί χαμηλές τιμές βάρους σε απομακρυσμένα σημεία του δείγματος και αντιστρόφως, αλλά επιπλέον παίρνει υπόψη τη σχετική θέση των σημείων του δείγματος ως προς άλλα και ως προς τη θέση του εκτιμώμενου σημείου.

Αυτή η σχέση της μεταβλητότητας ως προς την απόσταση μπορεί να αποδοθεί γραφικά χρησιμοποιώντας ένα διάγραμμα μεταβλητότητας (αγγλ. *variogram*). Το Βαριόγραμμα αποτελεί μια μέθοδο ποσοτικοποίησης της υπόθεσης της χωρικής αυτοσυσχέτισης, δηλαδή ότι γειτονικά σημεία τείνουν να έχουν περισσότερες ομοιότητες όσον αφορά ορισμένες ιδιότητες, απ' ό,τι σημεία που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση ή σε διαφορετική κατεύθυνση. Δηλαδή τα βαριογράμματα ποσοτικοποιούν την ισχύ της στατιστικής συσχέτισης κάποιας ιδιότητας του χώρου, ως συνάρτηση της απόστασης και του προσανατολισμού.



Εικόνα 17: Τυπικό Διάγραμμα Μεταβλητότητας (*variogram*)

Με αύξηση της απόστασης μεταξύ δυο περιοχών (άξονας x) αυξάνεται και η διασπορά των τιμών (άξονας y). Το σημείο όπου το Βαριόγραμμα φαίνεται να εξομαλύνεται προσδιορίζει το εύρος (*range*). Οι τοποθεσίες που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή του βαριογράμματος και απέχουν απόσταση μικρότερη από αυτή που προσδιορίζει το εύρος, θεωρείται πως έχουν χωρική αυτοσυσχέτιση, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση. Η τιμή στον άξονα y που αντιστοιχεί στο *range* ονομάζεται *sill*. Πρόκειται για μια παράμετρο που αντιπροσωπεύει μια τιμή στην οποία τείνει το βαριόγραμμα, όταν η απόσταση μεταξύ των περιοχών που συγκρίνονται λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές. Στις μεγάλες αποστάσεις οι μεταβλητές δε συσχετίζονται, οπότε το *sill* του Βαριογράμματος ταυτίζεται με τη διασπορά της τυχαίας μεταβλητής. Θεωρητικά, σε μηδενική απόσταση η τιμή του Βαριογράμματος θα έπρεπε να είναι μηδέν. Παρ' όλα αυτά, σε εξαιρετικά μικρές αποστάσεις εμφανίζεται το *nugget effect* με τιμή μεγαλύτερη του μηδενός. Το *nugget effect* αποδίδεται σε σφάλματα που προκύπτουν κατά τη δειγματοληψία ή σε χωρικής προέλευσης μεταβολές.

- Πλεονεκτήματα: Παρέχει ένα μέτρο του σφάλματος προσδιορισμού των άγνωστων τιμών και μπορεί να αποτρέψει το φαινόμενο «bull's eye» των Αντιστρόφων-Αποστάσεων και το γωνιώδες σχήμα του αλγορίθμου τριγωνισμού.

- Μειονεκτήματα: Λόγω της πολυπλοκότητάς του συνίσταται χειροκίνητη και λιγότερο αυτοματοποιημένη ρύθμιση.

✚ **PLANE:** Χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο «βέλτιστης προσαρμογής» για να χωρέσει μια επίπεδη επιφάνεια στα δεδομένα. Έχει σχεδιαστεί κυρίως για μοντελοποίηση ποτενσιομετρικών επιφανειών και βασίζεται σε τρία σημεία. Δεν υπάρχει δυνατότητα για να ορίσουμε κάποια επιλογή από το μενού του λογισμικού.

✚ **SAMPLE DENSITY:** Προσδιορίζει τις τιμές των κόμβων του δικτύου απλά με τη καταμέτρηση του αριθμού των εμφανίσεων των σημείων ελέγχου μέσα στα αντίστοιχα κελιά του πλέγματος. Δεν λαμβάνονται υπόψη τυχόν πραγματικά στοιχεία δεδομένων που να αναφέρονται για τα σημεία ελέγχου, αντ' αυτού μετράει μόνο τον αριθμό των σημείων. Αυτή η τεχνική είναι χρήσιμη για μορφολογίες σχετικών συχνοτήτων. Η εικόνα-παράδειγμα που ακολουθεί θα μπορούσε να αφορά την πυκνότητα γεωτρήσεων είτε κατανομές πληθυσμού.



Συνίσταται να μην χρησιμοποιείται η επιλογή "Ομαδοποίηση" σε συνδυασμό με αυτόν τον αλγόριθμο. Οι διπλοεγγραφές σημείων πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό αυτού του προγράμματος (δηλαδή πολλές εμφανίσεις στην ίδια θέση).


✚ **TREND SURFACE POLYNOMIAL:** Βρίσκει τις χωρικές τάσεις στα δεδομένα. Προσπαθεί να χωρέσει μια πολυωνμική επιφανειακή τάση στα δεδομένα, μια 3-διαστάσεων επιφάνεια που αναπαριστάται από μια πολυωνμική εξίσωση. Στην αυτόματη λειτουργία, το πρόγραμμα θα βρει την επιφάνεια με την καλύτερη προσαρμογή στα σημεία των δεδομένων, προσπαθώντας να επιλύσει διαφορετικές εντολές της εξίσωσης

της επιφανειακής τάσης (π.χ. μια επίπεδη επιφάνεια, μία επιφάνεια με μία κύρτωση, δύο κυρτώσεις, κλπ). Το πόσο καλά η επιφάνεια προσαρμόζεται, καθορίζεται από έναν «παράγοντα συσχέτισης» που το πρόγραμμα υπολογίζει για κάθε επιφάνεια που είναι προσαρμοσμένη στα δεδομένα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο παράγοντας συσχέτισης τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή.

Σημειωτέον ότι, εξίσου σημαντικό με τα στοιχεία της τάσης της επιφάνειας είναι και οι διαφορές από τις χωρικές τάσεις, δηλαδή τις εντοπισμένες διαφορές από την χωρική τάση και μπορεί να είναι χρήσιμες στην απομόνωση των ανώμαλων περιοχών ενδιαφέροντος.

- Πλεονεκτήματα: Αυτή η μέθοδος μπορεί να προβάλει τις κλίσεις σε περιοχές χωρίς δεδομένα.

- Μειονεκτήματα: Αυτή η μέθοδος χαρτογράφησης δεν έχει καλό αποτέλεσμα με τα σύνολα δεδομένων που δεν έχουν καμία διακριτή χωρική τάση.


 **TREND SURFACE RESIDUALS:** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για να δείξει τα τοπικά «υπόλοιπα» ή διαφορές από τις χωρικές τάσεις στα δεδομένα. Αυτό επιτυγχάνεται σε δύο στάδια:

1. Πρώτα, προσπαθεί να χωρέσει μια πολυωνμική τάση επιφάνειας στα δεδομένα, μια 3-διαστάσεων επιφάνεια που αναπαριστάται από μια πολυωνμική εξίσωση, όπως και στη διαδικασία του προηγούμενου αλγορίθμου.

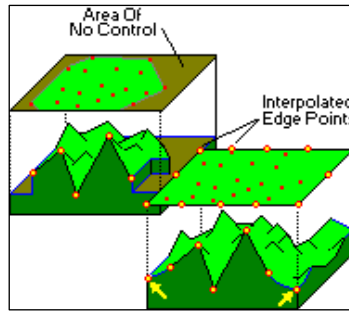
2. Μετά, συγκρίνει τα πρωτογενή σημεία των δεδομένων με την υπολογιζόμενη επιφανειακή τάση. Αυτά τα «υπόλοιπα» διαφορών είναι οι εντοπισμένες συνιστώσες. Το πρόγραμμα στη συνέχεια, κάνει πλέγματα αυτά τα «υπόλοιπα» με τη μέθοδο των Αντιστρόφων-Αποστάσεων.

- Πλεονεκτήματα: Το πραγματικό όφελος του προσδιορισμού των υπολειμμάτων από την επιφανειακή τάση είναι ο προσδιορισμός των τοπικών ανωμαλιών από την περιφερειακή τάση. Αυτό μπορούν να εντοπίσει τις τιμές του δείγματος που διακρίνονται από το υπόβαθρο.

- Μειονεκτήματα: Η μέθοδος αυτή δεν προσφέρει ουσιαστικές πληροφορίες, εάν δεν υπάρχει περιφερειακή τάση.

 **TRIANGULATION (GRID-BASED):** Έχουμε μια αρκετά αποτελεσματική προσέγγιση συνεχούς μοντέλου απόδοσης επιφάνειας με τη δημιουργία -επίπεδων κυρίως- τριγώνων. Το μοντέλο περιέχει τα αρχικά δεδομένα σε αντίθεση με άλλα μοντέλα που είναι αποτέλεσμα παρεμβολής. Ο αλγόριθμος Τριγωνισμού που βασίζεται στη κατασκευή καννάβου λειτουργεί κατά τον ακόλουθο τρόπο:

Τα σημεία των δεδομένων συνδέονται σε τριγωνικό πλέγμα με φανταστικές γραμμές, με το καθένα σημείο σε κάθε κορυφή τριγώνου και τα τρίγωνα όσο το δυνατόν να τείνουν προς ισόπλευρα. Μόλις το φανταστικό τριγωνικό δίκτυο καθοριστεί, η κλίση του κάθε τριγώνου υπολογίζεται με βάση τα τρία γωνιακά σημεία. Οι κόμβοι του πλέγματος που βρίσκονται μέσα σε κάθε τρίγωνο προσδιορίζονται από μια τιμή που βασίζεται στη τομή τους με το κεκλιμένο τριγωνικό επίπεδο. Εκείνοι οι κόμβοι που βρίσκονται εκτός του τριγωνικού δικτύου μπορούν να προσδιοριστούν από τιμές χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των Αντιστρόφων-Αποστάσεων, με κατάλληλο σταθμισμένο εκθέτη.



- Πλεονεκτήματα: Σε αντίθεση με την μέθοδο του Τριγωνισμού που βασίζεται στη μη δημιουργία καννάβου, όπως στην διαμόρφωση χαρτών ισοϋψών καμπυλών, αυτή η μέθοδος δημιουργεί ένα πλέγμα δεδομένων επί των οποίων μπορούν να παραχθούν 3-διαστάσεων χάρτες.

- Μειονεκτήματα: Οι ισοϋψείς τείνουν να είναι γωνιώδεις και έτσι η διαδικασία μπορεί να είναι αργή για μεγάλα σύνολα δεδομένων.

✚ **HYBRID:** Μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε συνδυασμό δύο ή και περισσότερων διαφορετικών μεθόδων κανναβοποίησης, ορίζοντας ένα διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας για το καθένα.

Για παράδειγμα, εάν πρόκειται να επιλέξουμε Inverse Distance με διορθωτικό συντελεστή "1" και Αλγόριθμος Τριγωνισμού με διορθωτικό συντελεστή "3", τότε η επιφάνεια που προκύψει θα δώσει στην μέθοδο τριγωνισμού 3 φορές τη βαρύτητα του Inverse Distance.

Πώς λειτουργεί: Το πρόγραμμα θα δημιουργήσει ένα μοντέλο καννάβου για τα δεδομένα που χρησιμοποιεί κάθε επιλεγμένος αλγόριθμος, «πολλαπλασιάζει» τις τιμές των κόμβων του καννάβου σε κάθε μοντέλο με τον συντελεστή στάθμισης που αποδίδεται σε αυτή τη μέθοδο ("1" για το συντελεστή στάθμισης του «1», κ.λ.π.), προσθέτει όλα τα μοντέλα μαζί, και διαιρεί με το άθροισμα των σταθμισμένων συντελεστών.

- Πλεονεκτήματα: Μας δίνει τη δυνατότητα να αξιοποιήσουμε τα πλεονεκτήματα περισσότερων του ενός αλγορίθμου για μια ενιαία επιφάνεια.

- Μειονεκτήματα: Τυχόν προβλήματα με μια συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να μεγεθυνθούν αν σταθμίζεται, ειδικότερα, με ένα σύνολο δεδομένων για το οποίο δεν είναι κατάλληλα προσαρμοσμένο.

4.2.2 Μοντελοποίηση δεδομένων με τη δημιουργία στερεού μοντέλου

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που προσφέρονται για την εκτέλεση αυτής της 3-διαστάσεων παρεμβολής των δεδομένων. Κάθε μια λειτουργεί διαφορετικά, έχοντας πλεονεκτήματα και διαφορές. Οι αλγόριθμοι που προσφέρουν τη δυνατότητα για τη μοντελοποίηση στερεών μοντέλων είναι οι παρακάτω:

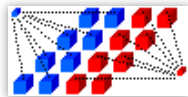
✚ **CLOSEST POINT:** Είναι η πιο βασική μέθοδος στερεάς μοντελοποίησης, κατά την οποία η τιμή ενός κόμβου «voxel» ρυθμίζεται να είναι ίση με την τιμή του

πλησιέστερου σημείο των δεδομένων, ανεξάρτητα από την απόστασή του από το σημείο ή την τιμή των λοιπών γειτονικών του σημείων.

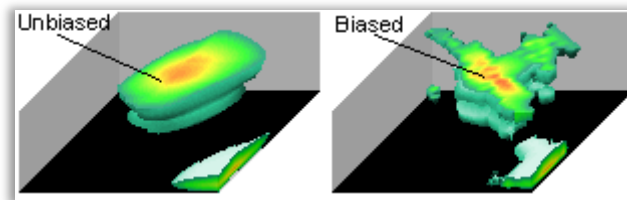
- Πλεονεκτήματα: Το εύρος τιμών του μοντέλου θα είναι ίσο με το εύρος των σημείων των δεδομένων, με μέγιστο και ελάχιστο κόμβο μοντέλου και τιμή των σημείων των δεδομένων να αντιστοιχούν ακριβώς. Η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη κατά τη δημιουργία μοντέλων στα οποία οι τιμές δεν είναι διαβαθμισμένες.

- Μειονεκτήματα: Αυτός ο αλγόριθμος παράγει ένα σταθερό μοντέλο με απότομες αλλαγές μεταξύ των κόμβων.

Παράδειγμα χρήσης: Για τη μοντελοποίηση λιθολογίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολύπλοκη μη στρωματοειδής γεωλογία (εμφάνιση κρατήρων, καρστ).



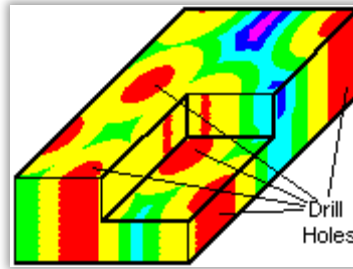
DIRECTIONAL (DIRECTIONAL WEIGHTING): Η μέθοδος χρησιμοποιεί τη λογική της μεθόδου της Αντίστροφης-Απόσταση στη μοντελοποίηση στερεών, κατά την οποία η τιμή καθενός από τα σημεία δεδομένων σταθμίζεται σύμφωνα με το αντίστροφο της απόστασής του από τον υπολογιζόμενο κόμβο «voxel». Η διαφορά στο σχήμα αυτής της μεθόδου έγκειται στο ότι μπορούμε να καθορίσουμε μια τάση κατεύθυνσης και δύναμη, και το πρόγραμμα θα μεταβάλλει την εκθέτη στάθμισης έτσι ώστε τα σημεία κατά μήκος της τάσης να επηρεάζουν τον κόμβο περισσότερο από ότι τα πλησιέστερα σημεία που είναι κάθετα προς την τάση.



DISTANCE TO POINT: Είναι μια μέθοδος μοντελοποίησης που αποδίδει απλά σε κάθε κόμβο μοντέλου μια τιμή ίση με την απόσταση από το πλησιέστερο σημείο ελέγχου. Η απόσταση καταγράφεται από τις μονάδες μέτρησης που έχει το σύστημα αναφοράς.

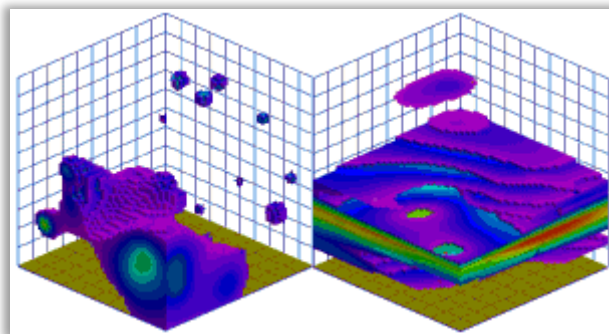
- Πλεονεκτήματα: Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση της εμπιστοσύνης σε ένα σύνολο δεδομένων που αντιπροσωπεύει την απόσταση από οποιοδήποτε κόμβο προς το πλησιέστερη γεώτρηση. Μπορεί να είναι χρήσιμος για τη δημιουργία μοντέλων εμπιστοσύνης στα οποία το απόσταση-από-σημείο μοντέλο μπορεί να φιλτράρεται και να πολλαπλασιάζεται με ένα συμβατικό μοντέλο ώστε να είναι σε θέση να γίνει εκτίμηση αποθεμάτων.

- Μειονεκτήματα: Αυτός ο αλγόριθμος δεν απεικονίζει τα ίδια τα δεδομένα, μόνο την εγγύτητα των κόμβων στα σημεία ελέγχου.



✚ **IDW ADVANCED (INVERSE-DISTANCE WEIGHTING)**. Σε γενικές γραμμές, όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος των Αντιστρόφων-Αποστάσεων, η τιμή του κόμβου («voxel») έχει προσδιοριστεί με βάση το σταθμισμένο μέσο όρο των γειτονικών σημείων και η τιμή κάθε σημείου δεδομένων σταθμίζεται ανάλογα με το αντίστροφο της απόστασής του από τον κόμβο, εισηγμένη σε μια δύναμη (τον εκθέτη του "2" = Αντίστροφων τετραγώνων, "3" = Αντίστροφου κύβου, κ.λπ.). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του εκθέτη, τόσο λιγότερη επιρροή θα έχουν τα απομακρυσμένα σημεία ελέγχου στον προσδιορισμό της τιμής του κόμβου.

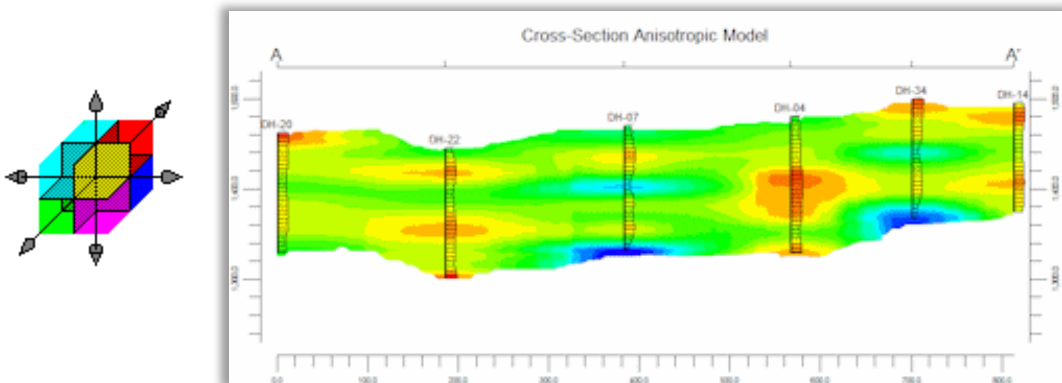
Η μέθοδος Inverse-Distance Weighting μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε το σύνολο των διαθέσιμων σημείων δεδομένων κατά τον υπολογισμό της τιμής ενός κόμβου ή να κάνει αναζήτηση για συγκεκριμένα σημεία. Και αντί να χρησιμοποιείται αυτόματα ένας σταθμισμένος εκθέτης του "2", το πρόγραμμα επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει διαφορετικούς εκθέτες στάθμισης για τον έλεγχο των σημείων που είναι προσανατολισμένα κάθετα σε σχέση με αυτά που είναι προσανατολισμένα οριζόντια από τον κόμβο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο εκθέτης που εισάγεται, τόσο μικρότερη επιρροή αυτά τα σημεία δεδομένων θα έχουν.



✚ **IDW ANISOTROPIC (INVERSE DISTANCE ANISOTROPIC)**: Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το πρόγραμμα θα ψάξει για το πλησιέστερο σημείο ελέγχου σε κάθε τομέα 90ο μοιρών γύρω από τον κόμβο. Για τη μέθοδο αυτή, ο σταθμισμένος εκθέτης έχει, επίσης, οριστεί σε "2".

- Πλεονεκτήματα: Αυτού του είδους η κατευθυντική αναζήτηση μπορεί να βελτιώσει την παρεμβολή των τιμών των voxel που βρίσκονται μεταξύ των ομαδοποιημένων σημείων δεδομένων και μπορεί να είναι χρήσιμη για τη μοντελοποίηση δεδομένων γεωτρήσεων σε στρωματοειδή κοιτάσματα. Το τεταρτημόριο αυτό ερευνά τάσεις για να συνδέσει τα ζενίθ και ναδίρ στο ίδιο ύψος.

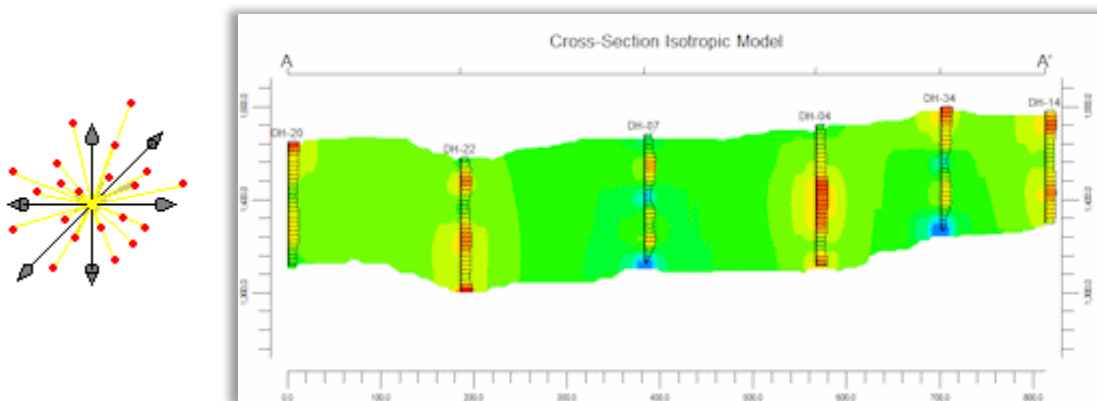
- Μειονεκτήματα: Η επιλογή αυτή είναι πιο αργή από ότι στην ισοτροπική μέθοδο, δεδομένου ότι έχει να φιλτράρει τα γειτονικά σημεία στην αντιστοίχιση των τιμών στους κόμβους.



✚ **IDW ISOTROPIC (INVERSE-DISTANCE ISOTROPIC):** Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, το πρόγραμμα θα χρησιμοποιήσει όλα τα διαθέσιμα σημεία δεδομένων κατά τον υπολογισμό της τιμής ενός κόμβου voxel. Ο σταθμισμένος εκθέτης έχει οριστεί σε "2", έτσι ώστε τα σημεία δεδομένων να σταθμίζονται σύμφωνα με το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασής τους από τον κόμβο.

- Πλεονεκτήματα: Είναι χρήσιμη για τη μοντελοποίηση ομοιόμορφα κατανεμημένων δεδομένων σε μη-στρωματοειδή περιβάλλοντα.

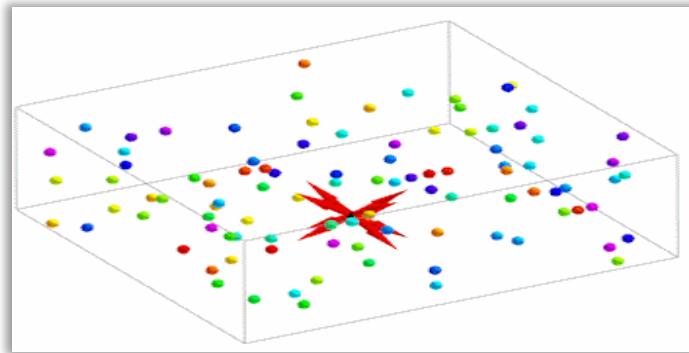
- Μειονεκτήματα: Εάν υπάρχουν περιορισμένα ζενίθ, η μέθοδος αυτή μπορεί να παρουσιάσει το φαινόμενο «bull's eye» γύρω από τις γεωτρήσεις, ενώ το υπόλοιπο του μοντέλου είναι ο μέσος όρος των μετρούμενων τιμών.



✚ **IDW TABLE-BASED (INVERSE-DISTANCE TABLE-BASED):** Αυτή η μέθοδος λειτουργεί λίγο πολύ σαν τη μέθοδο Ανισοτροπίας στο ότι ψάχνει για σημεία ελέγχου σε τομείς γύρω από το κόμβο voxel. Ωστόσο, αντί να χρησιμοποιεί ένα ενιαίο σημείο σε κάθε τομέα 90ο μοιρών γύρω από το κομβικό στοιχείο voxel, η μέθοδος αυτή μας επιτρέπει να ορίσουμε συγκεκριμένες ζώνες αναζήτησης. Μπορούμε επίσης να ορίσουμε τον ελάχιστο αριθμό των σημείων που πρέπει να χρησιμοποιούνται από κάθε τομέα και τον εκθέτη. Σημεία που βρίσκονται εντός του τομέα αναζήτησης θα χρησιμοποιηθούν στην παρεμβολή, ενώ εκείνα που δεν είναι, δεν θα χρησιμοποιηθούν.

- Πλεονεκτήματα: Εάν υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθυντήριες τάσεις στα δεδομένα, μπορεί να αναγκαστεί το πρόγραμμα να παρεμβάλει το στερεό μοντέλο χρησιμοποιώντας μόνο τα σημεία πάνω σε αυτές τις κατευθυντικές τάσεις (και ίσως το πιο σημαντικό) αγνοώντας εκείνα τα σημεία που δεν είναι στη γνωστή τάση κατεύθυνσης.

- Μειονεκτήματα: Εφαρμόζεται μια ισχυρή πόλωση στην μοντελοποίηση, αφήνοντας το πρόγραμμα να αγνοήσει συγκεκριμένα σημεία δεδομένων.



✚ **KRIGING - HB (HORIZONTALLY-BIASED KRIGING):** Χρησιμοποιεί τη μέθοδο της εκτίμησης kriging για να δημιουργήσει το μοντέλο των δεδομένων. Η μέθοδος Kriging διαφέρει από κάποιες από τις άλλες μεθόδους μοντελοποίησης, βγάζοντας έξω τις κατευθυντικές επιρροές από τα δεδομένα. Η μέθοδος βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές:

- ✓ Η τιμή για ένα άγνωστο σημείο μπορεί να εκτιμηθεί από γειτονικά σημεία αλλά αυτό το άγνωστο σημείο δεν είναι κατ' ανάγκη εντελώς εξαρτώμενο από τις τιμές των γνωστών σημείων.

- ✓ Η μεταβλητότητα στις τιμές «G» του συνόλου δεδομένων είναι συνάρτηση δύο παραγόντων: της απόστασης και της κατεύθυνσης. Σε γενικές γραμμές, τα σημεία που είναι κοντά μεταξύ τους τείνουν να παρουσιάζουν μικρότερη μεταβλητότητα από ότι τα σημεία που είναι απομακρυσμένα μεταξύ τους και σε πολλές περιπτώσεις, τα σημεία κατά μήκος ορισμένων στρωμάτων θα δείχνουν λιγότερη μεταβλητότητα από ισαπέχοντα σημεία κατά μήκος ενός διαφορετικού στρώματος.

Η μέθοδος αυτή δεν λαμβάνει υπόψη την κλίση. Έτσι, ο αλγόριθμος αυτός απευθύνεται σε εφαρμογές στις οποίες η γεωλογία είναι κατά προσέγγιση υπο-οριζόντια.

Αυτή η σχέση της μεταβλητότητας ως προς την απόσταση μπορεί να αποδοθεί γραφικά χρησιμοποιώντας ένα "βαριόγραμμα" το οποίο απεικονίζει την μεταβλητότητα των τιμών G για ζεύγη σημείων ως συνάρτηση της τρισδιάστατης απόστασης μεταξύ των σημείων. Τα βαριόγραμμα δημιουργούνται για ζευγάρια σημείων σε διαφορετικές κατευθύνσεις δείχνοντας διαφορετικές τάσεις της απόστασης έναντι της διακύμανσης. Το RockWorks δημιουργεί παρατηρούμενα βαριόγραμμα των δεδομένων και στη συνέχεια βρίσκει το μοντέλο βαριόγραμμα που προσφέρει την καλύτερη προσαρμογή - καθορίζοντας έτσι την απόσταση και τις κατευθυντικές σχέσεις στα δεδομένα - και χρησιμοποιεί αυτή την εξίσωση για να παρεμβάλει το στερεό μοντέλο.

- Πλεονεκτήματα: Είναι μια καλή μέθοδος στερεάς μοντελοποίησης για να τιμήσει τη κατευθυντικότητα με τα δεδομένα. Μπορεί να αποτρέψει το φαινόμενο «bull's eye» των αλγορίθμων που βασίζονται στην Αντίστροφη-Απόσταση.

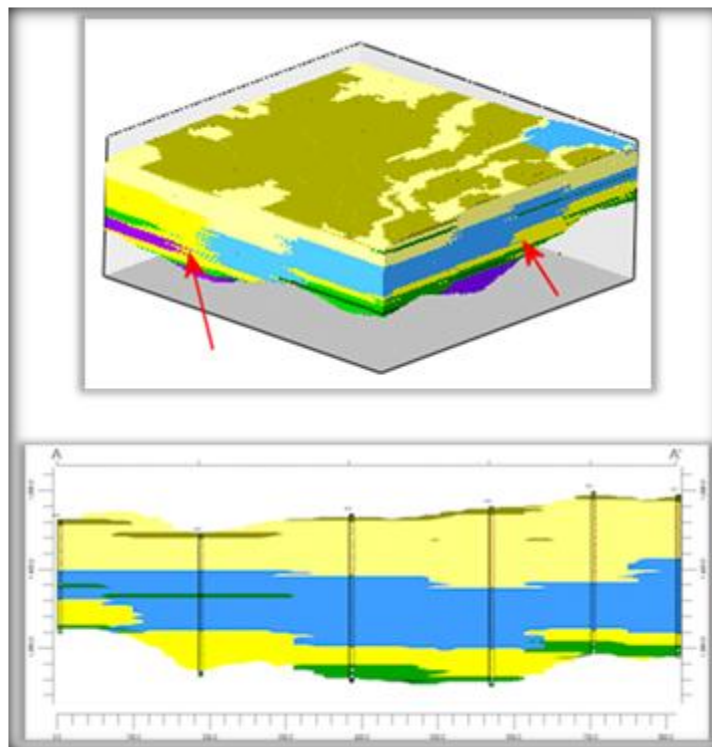
- Μειονεκτήματα: Μπορεί να είναι αργή. Αυτή η μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη την κλίση.

✚ **LATERAL BLENDING:** Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία στερεών μοντέλων λιθολογίας. Αυτή η τεχνική είναι διαθέσιμη για «βυθιζόμενα» ποσοτικά δεδομένα για την παροχή μέσω για τη δημιουργία μοντέλων δεδομένων που είναι οριζοντίως συνεχόμενα αλλά αριθμητικώς διακριτά.

Αυτή η μέθοδος εξετάζει εξωτερικά οριζοντίως από κάθε σημείο δεδομένων, σε αναζήτηση κύκλων με συνεχώς αυξανόμενη διάμετρο. Αντιστοιχίζει πρώτα στα voxels που περιβάλλουν κάθε γεώτρηση την πλησιέστερη λιθολογία ή πραγματική τιμή αριθμού. Στη συνέχεια, κινείται έξω από το voxel, και αντιστοιχίζει στον επόμενο "κύκλο" των voxels τη πλησιέστερη τιμή λιθολογίας.

Σε αντίθεση με την μέθοδο Lateral Extrusion, συνεχίζει κατά αυτόν τον τρόπο μέχρι να φτάσει σε ένα σημείο περίπου στο ένα τρίτο του τρόπου με τα γειτονικά σημεία δεδομένων. Στη συνέχεια, στις κεντρικές περιοχές, εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος τυχαίας κατανομής για να ελαχιστοποιήσει τις απότομες αλλαγές μεταξύ των τύπων των υλικών. Αυτό παράγει ένα πιο ανάμεικτο μοντέλο.

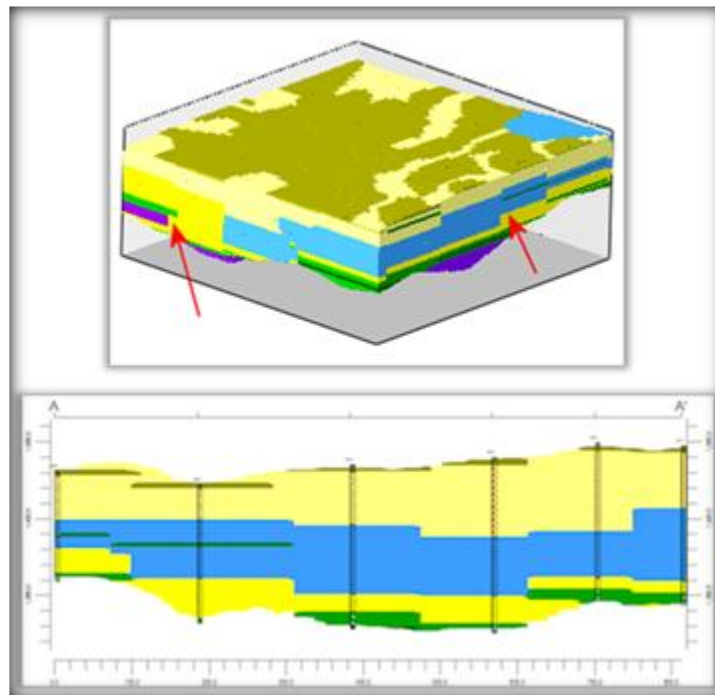
Επειδή είναι μια τυχαιοποιημένη διαδικασία, τα διαδοχικά μοντέλα που θα δημιουργηθούν από τα ίδια δεδομένα, πιθανώς να διαφέρουν ελαφρώς.



✚ **LATERAL EXTRUSION:** Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία στερεών μοντέλων λιθολογίας. Αυτή η τεχνική είναι επίσης διαθέσιμη για «βυθιζόμενα» ποσοτικά δεδομένα για την παροχή μέσων για τη δημιουργία μοντέλων δεδομένων που είναι οριζοντίως συνεχόμενα αλλά αριθμητικώς διακριτά.

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει τους κόμβους voxel του στερεού μοντέλου χρησιμοποιώντας το πλησιέστερο πλευρικό σημείο. Εντοπίζει εξωτερικά οριζοντίως από κάθε σημείο δεδομένων, σε αναζήτηση κύκλων με συνεχώς αυξανόμενη διάμετρο. Αντιστοιχίζει πρώτα στα voxels που περιβάλλουν κάθε γεώτρηση την πλησιέστερη λιθολογία ή πραγματική τιμή αριθμού. Στη συνέχεια, κινείται έξω από το voxel, και αντιστοιχίζει στον επόμενο "κύκλο" των voxels τη πλησιέστερη τιμή λιθολογίας. Συνεχίζει κατά αυτόν τον τρόπο μέχρι να φτάσει στο μέσο μεταξύ των γειτονικών σημείων δεδομένων, ή μέχρι να επιτευχθεί μία μέγιστη απόσταση.

Σε αντίθεση με τον Lateral Blending, μπορεί να δημιουργήσει απότομες μεταβολές στο μέσο των γεωτρήσεων.



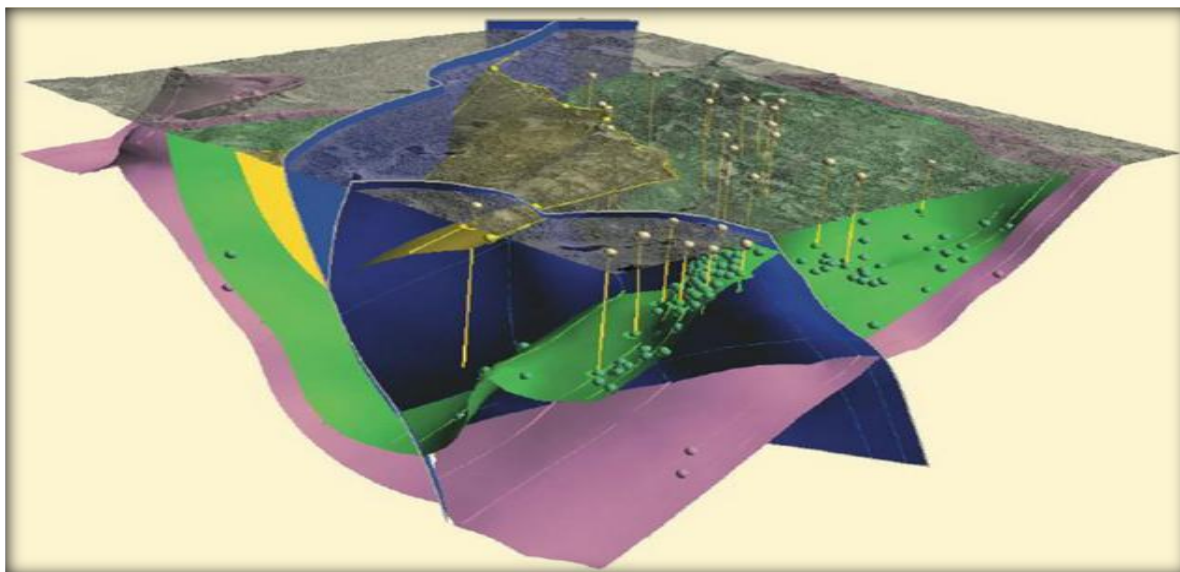
4.3 Γεωλογικά μοντέλα κοιτασμάτων

Ένας από τους στόχους των αρχικών σταδίων της μεταλλευτικής έρευνας είναι η επιλογή υποψήφιων περιοχών για περαιτέρω διερεύνηση. Για να επιτευχθεί όμως αυτό, θα πρέπει να έχουμε κάποια ιδέα για το πώς τα υλικά που ψάχνουμε συνδέονται με γεωλογικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της γεωφυσικής και της γεωχημείας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί καλύτερα, εάν υποθέσουμε ότι είναι γνωστό ένα ή περισσότερα εναλλακτικά μοντέλα για τον τύπο του κοιτάσματος που αναζητούμε.

Σχετικά με το πως ορίζεται το μοντέλο, αν δεχθούμε τον ορισμό του ως λειτουργικής αφαίρεσης μιας κατάστασης του πραγματικού κόσμου που χρησιμεύει στην ανάλυση ενός προβλήματος, ένα γεωλογικό μοντέλο είναι μια σύνθεση όλων των διαθέσιμων δεδομένων και πρέπει να περιλαμβάνει τα πλέον αναγνωρίσιμα και αξιόπιστα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου τύπου κοιτάσματος. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα πρέπει να ορίζονται σε διάφορες κλίμακες και να περιλαμβάνουν οπωσδήποτε τη μέση τιμή και το εύρος καθενός από αυτά. Αυτό βέβαια σημαίνει ότι υπόκεινται σε μεγάλη αβεβαιότητα και συνεχείς αναπροσαρμογές. Κάθε νέα ανακάλυψη κοιτάσματος θα έπρεπε να προστίθεται στη σχετική βάση δεδομένων και να επηρεάζει με τη σειρά της τη δομή του συστήματος.

Στα γεωλογικά μοντέλα μεταλλευτικών κοιτασμάτων υπάρχουν δύο κύριοι τύποι που συνήθως συνδυάζονται μεταξύ τους: ο εμπειρικός τύπος, που βασίζεται στην περιγραφή του κοιτάσματος, και ο γενετικός τύπος, που ερμηνεύει το κοιτάσμα με βάση γενεσιουργές γεωλογικές διαδικασίες. Το γενετικό μοντέλο είναι υποχρεωτικά περισσότερο υποκειμενικό αλλά και δυνάμει πιο ισχυρό, εφόσον μπορεί να αντιπροσωπεύσει κοιτάσματα που δεν περιλαμβάνονται στην περιγραφική βάση δεδομένων.

Ένας τρίτος, αλλά πολύ χρήσιμος για την πρόμη οικονομική αποτίμηση, τύπος γεωλογικού μοντέλου είναι αυτός της περιεκτικότητας και αποθεμάτων. Ο τύπος αυτός περιλαμβάνει συγκεντρωτικά δεδομένα περιεκτικότητας και αποθεμάτων από τα οποία μπορεί να υπολογιστεί κατ' εκτίμηση το μέγεθος και η αναμενόμενη περιεκτικότητα ενός μέσου κοιτάσματος και, κατά συνέπεια, η εκτιμώμενη χρηματοροή που θα προκύψει από την εκμετάλλευσή του.



Εικόνα 18: Γεωλογικό μοντέλο κοιτάσματος.

Τέλος, θα πρέπει να τονίσουμε, προς αποφυγή παρεξήγησης, ότι η χρήση των γεωλογικών μοντέλων κοιτάσματος έχει έννοια μόνον στα αρχικά στάδια της μεταλλευτικής έρευνας, όπου δεν υπάρχουν αριθμητικά δεδομένα από άμεση δειγματοληψία της μεταλλοφορίας με γεωτρήσεις. Τα μοντέλα αυτά, στη συνέχεια, λειτουργούν μόνον υποβοηθητικά για την ανάπτυξη αριθμητικών αντίστοιχων, με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

4.3.1 Συλλογή και διαχείριση των δεδομένων

Η χρήση και η διαχείριση δεδομένων προϋποθέτει τη διαθεσιμότητά τους σε ψηφιακή μορφή. Η γεωλογική πληροφορία, η οποία λαμβάνεται, ταξινομείται και μορφοποιείται κατάλληλα, ώστε να εισαχθεί στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η συλλογή αριθμητικών δεδομένων αποτελεί μια σχετικά απλή διαδικασία, η οποία όμως γίνεται πιο δύσκολη όταν τα εν λόγω δεδομένα είναι γεωχωρικά. Η συλλογή δεδομένων πεδίου, για παράδειγμα, τείνει να τυποποιηθεί μέσω του υπολογιστή, εξαιτίας της χρήσης ανθεκτικών και εύκολα μεταφερόμενων υπολογιστικών συστημάτων. Επί του παρόντος, η εν λόγω διαδικασία χρησιμοποιείται μόνο για πλήρως τυποποιημένες διεργασίες, όπως η συλλογή δειγμάτων από γεωτρήσεις. Τα αριθμητικά δεδομένα, απεναντίας, εισάγονται συνήθως στον υπολογιστή είτε χειροκίνητα είτε με τη βοήθεια των σαρωτών.

Η μορφή της εκάστοτε πληροφορίας καθορίζεται από τον τύπο, τις σχέσεις, τις ιδιότητες, τη γεωμετρία και την ποιότητα των δεδομένων. Τα δεδομένα αποτελούνται γενικά από δύο συνιστώσες: τη χωρική συνιστώσα (χωρικά δεδομένα), η οποία εξαρτάται από τη θέση (π.χ. η θέση ενός σημείου δειγματοληψίας με συντεταγμένες x , y και z), και την αριθμητική συνιστώσα (περιγραφικά δεδομένα), η οποία μπορεί να είναι ανεξάρτητη από τη θέση αλλά συνδέεται άμεσα με τη χωρική συνιστώσα μέσω ενός μοναδικού χαρακτηριστικού (π.χ. ο αριθμός δείγματος, ο αριθμός γεώτρησης και το βάθος της).

Στη συνέχεια, έχουμε την ενοποίησή τους σε βάση δεδομένων και διαχείρισή τους μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ακολούθως, εξετάζεται η χρήση των σχεσιακών και αντικειμενοστραφών βάσεων δεδομένων για τη βελτιστοποίηση του χειρισμού τους. Με εφαρμογή κατάλληλου λογισμικού, από τις βάσεις αυτές μπορούν να προκύψουν αντίστοιχα μοντέλα κοιτασμάτων.

4.3.2. Χωρικά μοντέλα δεδομένων

Τα χωρικά δεδομένα αποθηκεύονται γενικά σε δύο εναλλακτικές μορφές: τη μορφή ψηφιοπλέγματος και την ανυσματική μορφή. Ένα ανυσματικό μοντέλο αποτελείται από χωρικά στοιχεία, τα οποία αναπαρίστανται σε μορφή συντεταγμένων. Αντίθετα, ένα μοντέλο ψηφιοπλέγματος αποτελείται από εικονοστοιχεία, συνήθως τετράγωνου σχήματος. Η μορφή ψηφιοπλέγματος χρησιμοποιείται συνήθως στην τηλεπισκόπηση, ενώ η ανυσματική μορφή χρησιμοποιείται για την απεικόνιση γεωτρήσεων και για τη γεωλογική χαρτογράφηση.

Σε ένα απλό δισδιάστατο ανυσματικό μοντέλο, τα σημεία αντιπροσωπεύονται από τις συντεταγμένες X και Y , οι γραμμές αποτελούν μια σειρά συνδεδεμένων σημείων (κορυφές), ενώ τα πολύγωνα συνιστούν μια σειρά συνδεδεμένων γραμμών ή χορδών.

4.3.3. Μέθοδοι αποθήκευσης δεδομένων

Η απλούστερη λύση για την αποθήκευση δεδομένων είναι η χρήση ενός σειριακού αρχείου, στο οποίο κάθε δεδομένο αποτελείται από συντεταγμένες x, y (και z), καθώς και αριθμητικές τιμές. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί, για παράδειγμα, σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό φύλλο, όπως το Microsoft Excel. Σε αυτή τη μορφή οι διάφορες τιμές αποθηκεύονται σε στήλες οι οποίες αντιστοιχούν σε πεδία, καθώς και σειρές, οι οποίες αντιστοιχούν σε εγγραφές. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο αποθήκευσης όλα τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε έναν πίνακα και κάθε κελί του πίνακα έχει μια μοναδική τιμή, ενώ όμοια δείγματα απαιτούν επιπλέον εγγραφές.

Η παραπάνω μέθοδος είναι ακατάλληλη για την αποθήκευση δεδομένων τα οποία υπόκεινται σε μικρές μεταβολές, όπως, για παράδειγμα, μια αλλαγή στο όνομα της λιθολογίας, η οποία απαιτεί την τροποποίησή της σε όλα τα κελιά του αρχείου. Τα δεδομένα σε αυτή την περίπτωση αποθηκεύονται και υφίστανται επεξεργασία πιο αποτελεσματικά σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων, εντός της οποίας τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια σειρά από πίνακες που συνδέονται με μοναδικά «κλειδιά», όπως οι αριθμοί των δειγμάτων.

Οι δύο προηγούμενες μέθοδοι αποθήκευσης χρησιμοποιούνται ευρύτατα στα Συστήματα Γεωγραφικών πληροφοριών (Σ.Γ.Π) δύο διαστάσεων αλλά και σε άλλα γεωμετρικά μοντέλα. Εντούτοις, η διαχείριση της τρισδιάστατης γεωγραφικής πληροφορίας είναι πολύ δυσκολότερη. Η βασική δυσκολία βρίσκεται στον μετασχηματισμό των πολύπλοκων χωρικών δομών σε αλληλοσυνδεόμενους πίνακες. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται επιτυχώς τα τελευταία χρόνια με τη χρήση αντικειμενοστραφών βάσεων δεδομένων. Σε αυτή τη μέθοδο αποθήκευσης, οι διάφορες δομές δεν χρειάζεται να μετασχηματιστούν, αλλά μπορούν να αποθηκεύονται κατευθείαν ως αυτοτελή αντικείμενα που περιλαμβάνουν όλη τη σχετική πληροφορία. Η μεθοδολογία των αντικειμενοστραφών βάσεων δεδομένων στηρίζεται κατά πολύ στη χρήση μεγάλης μνήμης και γρήγορων επεξεργαστών.

4.3.4 Μοντέλα με μπλοκ

Ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος παρουσίασης και χειρισμού των παραμέτρων αυτών βασίζεται στον χωρισμό και στη διάκριση του χώρου του κοιτάσματος σε στοιχειώδη τμήματα ή μπλοκ, στα οποία καταχωρούνται οι τιμές των παραμέτρων που μελετώνται. Με τον τρόπο αυτό το κοιτάσμα μετατρέπεται από συνεχές φαινόμενο σε διακριτό. Το κέρδος αυτής της μετατροπής είναι η δυνατότητα αριθμητικής επεξεργασίας των παραπάνω παραμέτρων σε ολόκληρο τον χώρο του κοιτάσματος.

Η μείωση των διαστάσεων των στοιχειωδών τμημάτων οδηγεί σε αύξηση του αριθμού τους με παράλληλη αύξηση της ακρίβειας απεικόνισης. Το όριο αυτής της αύξησης καθορίζεται από το πλήθος των διαθέσιμων πληροφοριών, καθώς και την πολυπλοκότητα του φαινομένου που εξετάζεται. Είναι πάντως σημαντικό να υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ των στοιχειωδών τμημάτων και των στοιχειωδών μονάδων εκμετάλλευσης.

Είναι, επίσης, γνωστό ότι ένα από τα πλέον χρονοβόρα στάδια κατά την επίλυση αλγορίθμων εκτίμησης μεταλλευτικών αποθεμάτων είναι εκείνο της προσπέλασης των δεδομένων. Η ανάγκη προσπέλασης ενός συγκεκριμένου δεδομένου μπορεί να υπάρξει πολλές φορές κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των υπολογισμών.

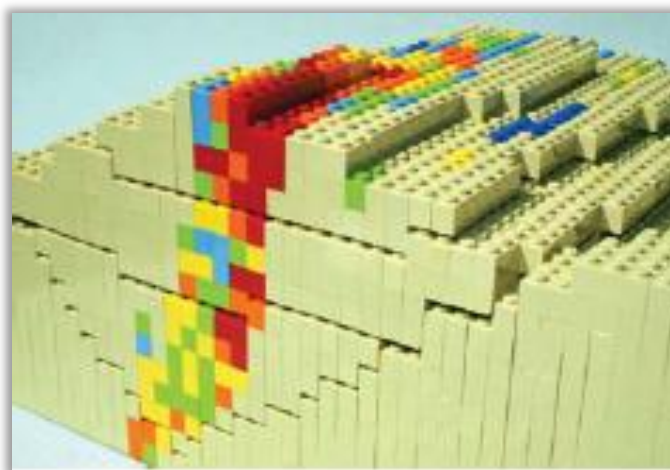
Επιπλέον, η χρησιμοποίηση της αντικειμενοστραφούς μεθοδολογίας αποθήκευσης δεδομένων προσφέρει λύση στο πρόβλημα της πολυπλοκότητας που δημιουργούν οι τρισδιάστατες δομές του μοντέλου.

Μια από τις μεθόδους μοντέλων με μπλοκ είναι η μέθοδος της αντίστροφης δύναμης της απόστασης ($1/h^n$), όπου το κοίτασμα χωρίζεται σε μπλοκ και τα διαθέσιμα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του πάχους του κοιτάσματος στο κέντρο κάθε μπλοκ. Τα δείγματα που βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση χρησιμοποιούνται με μεγαλύτερη βαρύτητα στους υπολογισμούς.

Η επιφάνεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως συνιστώσα του συντελεστή βαρύτητας. Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό της σταθμικής μέσης περιεκτικότητας ενός στρωματοειδούς κοιτάσματος από πολύγωνα διαφορετικής επιφάνειας, η επιφάνεια κάθε πολυγώνου χρησιμοποιείται ως συντελεστής βαρύτητας.

Ο γεωεπιστήμονας θα αποφασίσει πόσα από τα διαθέσιμα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν. Η απόφαση αυτή λαμβάνεται συνήθως με την επιλογή ακτίνας επιρροής για την περιοχή έρευνας, την δύναμη στην οποία υψώνεται η απόσταση (συνήθως τετράγωνο) και από τον αριθμό των δειγμάτων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της τιμής στο κέντρο κάθε μπλοκ. Ο υπολογισμός των τιμών σε όλα τα μπλοκ του κοιτάσματος αποτελεί χρονοβόρα διαδικασία, η οποία απαιτεί τη χρήση υπολογιστή. Με την ανωτέρω πάντως μέθοδο λαμβάνεται υπ' όψιν στους υπολογισμούς και η χωρική κατανομή των δεδομένων (Modis et al. 2008).

Στο Παράρτημα - II της παρούσας εργασίας η διαστασιολογημένη επιφάνεια που αποτελεί τη βάση μέσω της οποίας θα προκύψει η κατασκευή του μοντέλου λιθολογίας των στρωμάτων που θα δημιουργηθεί για τον υπολογισμό του γεωλογικού αποθέματος, βασίζεται στην αρχή της παραπάνω μεθόδου.



Εικόνα 19: Πρόπλασμα κοιτάσματος κατασκευασμένο με παιδικά τούβλα Lego.

4.4 Δημιουργία Μοντέλου Στρωματογραφικής Συσχέτισης για την εκτίμηση του γεωλογικού αποθέματος

Τα στρώματα του λιγνίτη και των περιβαλλόντων ιζημάτων (στείρα) χωρίστηκαν σε 57 διαφορετικές στρωματογραφίες, για κάθε μια από τις 128 γεωτρήσεις, ανά κατηγορία υλικών όπως ορίζει μια σχέση εκμετάλλευσης⁸. Το πάνω στρώμα OB (Overburden) είναι των Υπερκειμένων υλικών ακριβώς πάνω από κάθε πρώτο στρώμα Λιγνίτη. Τα στρώματα C1 έως και C28 είναι στρώματα Λιγνίτη (Coal). Αντίστοιχα από I1 μέχρι I28 είναι τα Ενδιάμεσα (Interbed) στείρα υλικά μεταξύ των λιγνιτικών στρωμάτων.

Τα δεδομένα αυτά μπήκαν σε ξεχωριστό πίνακα στη βάση κι από εκεί στην ενότητα διαχείρισης γεωτρητικών δεδομένων (Borehole Manager) του λογισμικού.

Order	Formation	Pattern	Fill Percent	Density	Show in Legend
1,0	OB		100	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>
2,0	C1		100	1,3	<input checked="" type="checkbox"/>
3,0	I1		100	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>
4,0	C2		100	1,3	<input checked="" type="checkbox"/>
5,0	I2		100	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>
6,0	C3		100	1,3	<input checked="" type="checkbox"/>
7,0	I3		100	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>
8,0	C4		100	1,3	<input checked="" type="checkbox"/>
9,0	I4		100	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>
10,0	C5		100	1,3	<input checked="" type="checkbox"/>
11,0	I5		100	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 20: Στρωματογραφία γεωτρητικών δεδομένων για τη δημιουργία του μοντέλου Στρωματογραφικής Συσχέτισης.

⁸ Σχέση εκμετάλλευσης ορίζεται ως ο αριθμός των μονάδων όγκου ή βάρους αγόνων που πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου προϊόντος και δίνεται από τη σχέση:

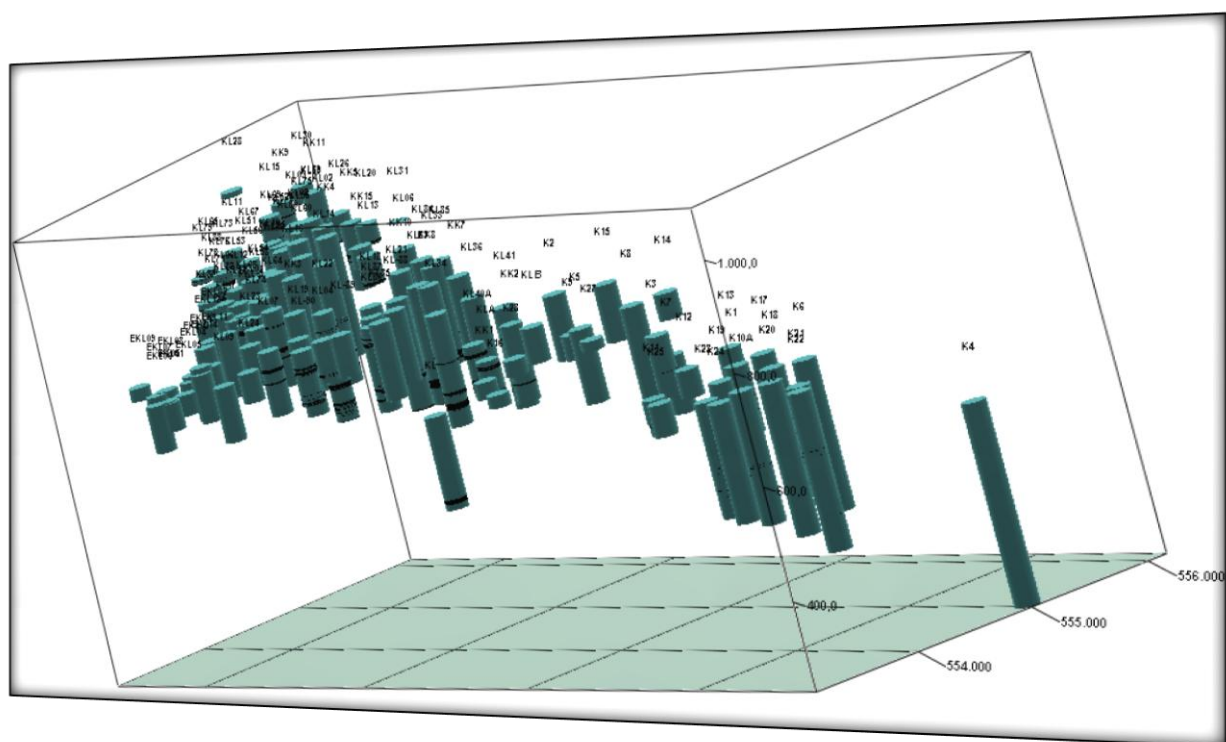
$$\text{Σ.Ε.} = \frac{\text{Άγωνα (m}^3\text{)} (\text{Υπερκείμενα} + \text{Ενδιάμεσα})}{\text{Χρήσιμο συστατικό (ton ή m}^3\text{)}}$$

Μετά την καταχώρηση της στρωματογραφίας, γίνονται κάποιες διορθώσεις, καθώς και τοποθέτηση μηδενικών ζωνών στα στρώματα που δεν συναντώνται, ώστε να γίνει πιο ακριβής παρεμβολή μεταξύ των θέσεων εμφάνισης των σχηματισμών. Η διόρθωση αυτή μπορεί να γίνει με ειδικό γραφικό εργαλείο (stratigraphy missing units), το οποίο δίνει καλύτερη αντίληψη στο χρήστη.

Με λίγα λόγια, αν κάποιο στρώμα λείπει εντελώς από μια συγκεκριμένη γεώτρηση, το πρόγραμμα θα προσπαθήσει να το τοποθετήσει ως διάστημα "μηδενικού πάχους" με βάση τη σχετική σειρά που ορίζεται μέσα στον ειδικό πίνακα Τύπων Στρωματογραφίας.

Αυτή η ρύθμιση απαιτεί να υπάρχει η σωστή σειρά με τους σχηματισμούς (και χωρίς διπλοεγγραφές) και κυρίως σωστή αλληλουχία στρωμάτων από το έδαφος προς τα κάτω.

Αξιοποιώντας πλέον και τα γεωτρητικά δεδομένα που είναι στη βάση, δημιουργούμε μια τρισδιάστατη στρωματογραφία των αγόνων υλικών (υπερκείμενα + ενδιάμεσα) και του λιγνίτη για κάθε γεώτρηση στο χώρο.



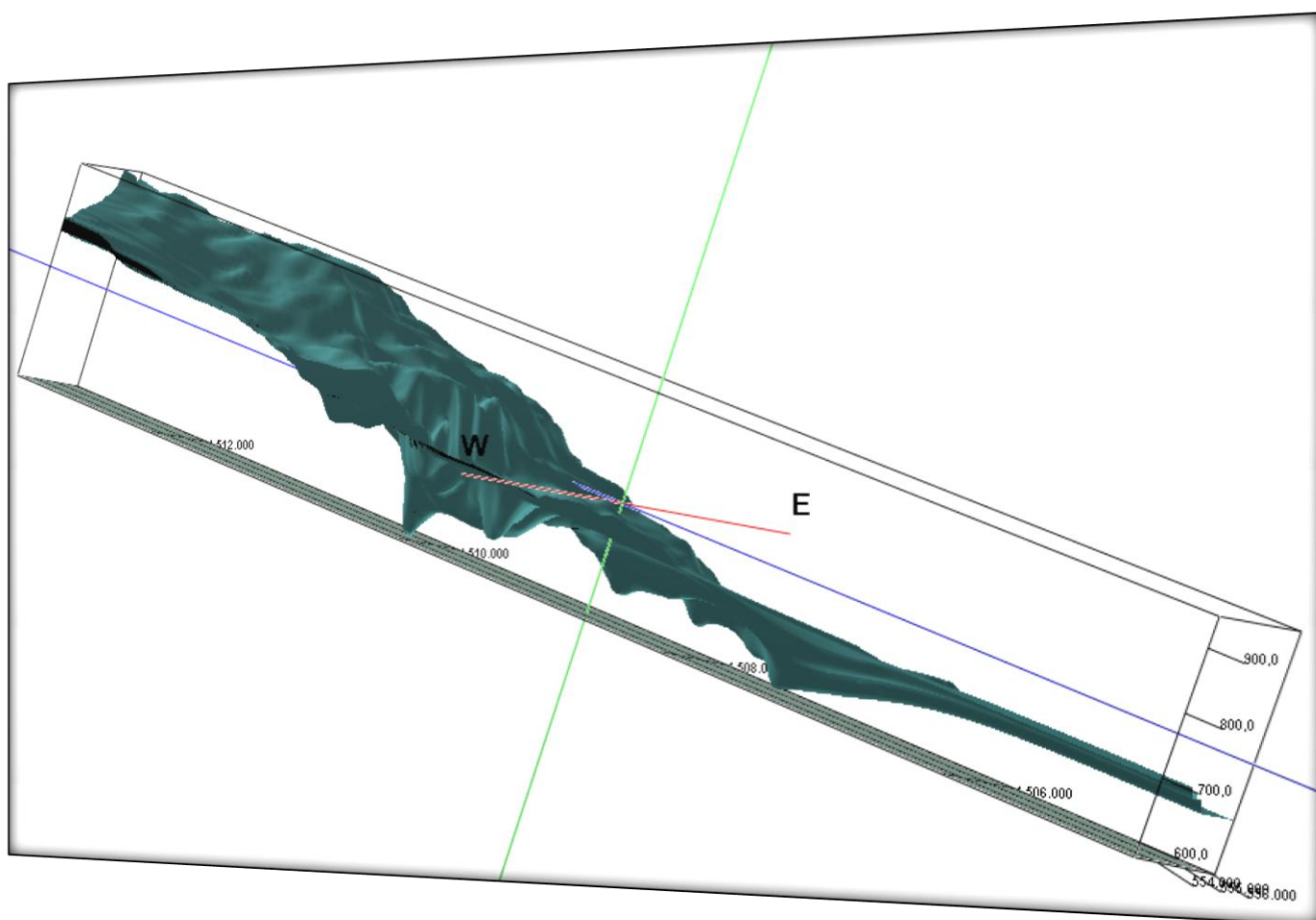
Εικόνα 21: 3-D Στρωματογραφία αγόνων - λιγνίτη των γεωτρήσεων

Με βάση τη δημιουργηθείσα στρωματογραφία των γεωτρήσεων θα προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα που είναι η μοντελοποίηση με βάση τη στρωματογραφική αλληλοσυσχέτιση.

Το παρακάτω παράδειγμα δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Kriging. Όλα τα κελιά του πλέγματος που δεν ήταν μέσα στο 5% της διαγώνιας απόστασης κατά μήκος του συγκεκριμένου έργου τέθηκαν σε μηδενικές τιμές, έτσι ώστε οι περιοχές όπου οι γεωτρήσεις δεν υπάρχουν, να καθίστανται «διαφανείς» (transparent).

Η ογκομέτρηση και ο υπολογισμός της μάζας του γεωλογικού λιγνίτη που θα ακολουθήσει έγινε ξεχωριστά για κάθε στρώμα. Ο όγκος υπολογίζεται με βάση τις μονάδες μέτρησης που

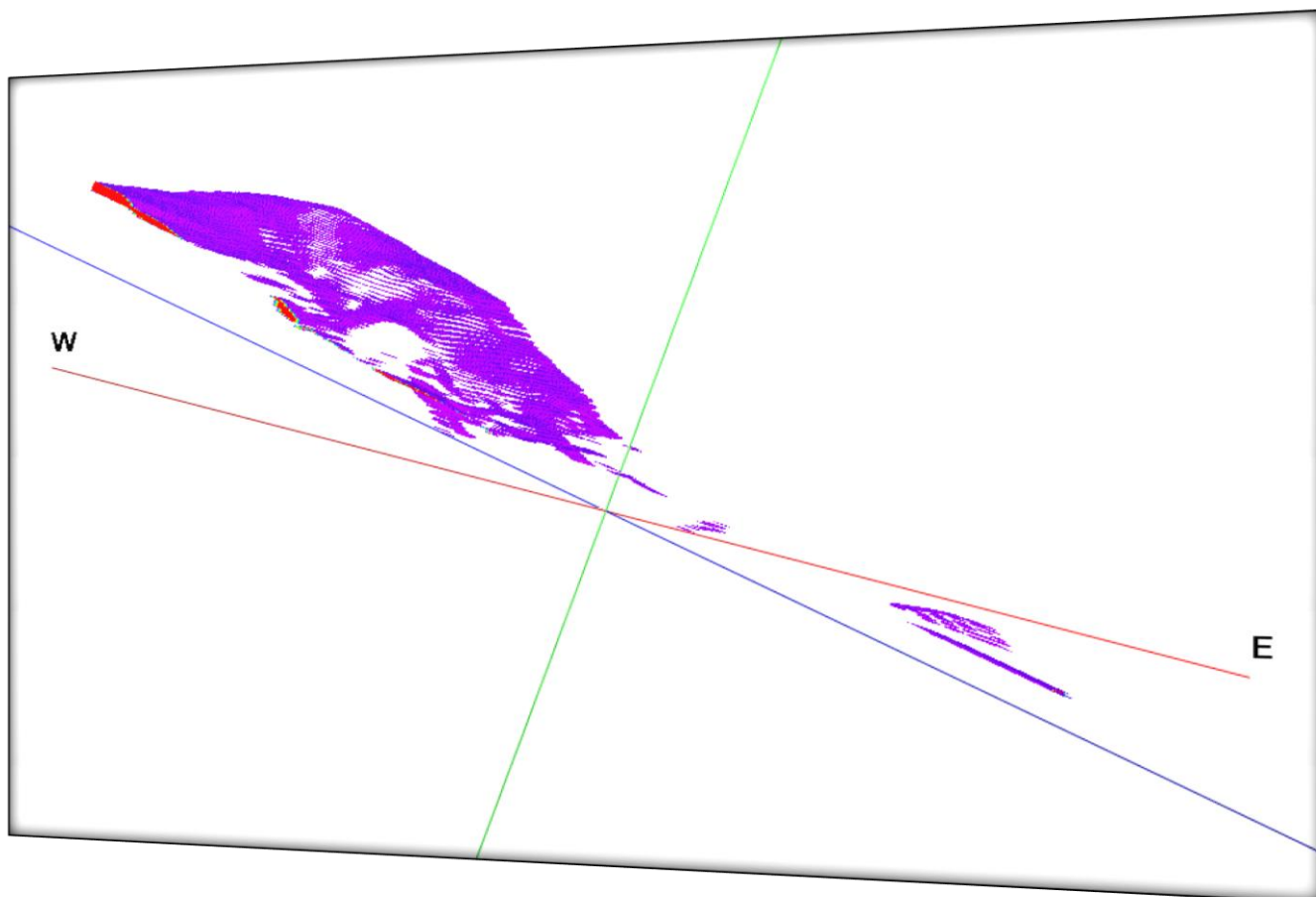
έχουν οριστεί στο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων X, Y, Z. Η μάζα πολλαπλασιάζεται με βάση τη τιμή που έχει δοθεί ως ειδικό βάρος για κάθε γεωλογικό σχηματισμό στο πίνακα Τύπων Στρωματογραφίας.



Εικόνα 22: Μοντέλο Στρωματογραφικής συσχέτισης λιγνιτικών γεωτρήσεων.

Ένα περαιτέρω βήμα θα είναι η δημιουργία μια σειράς από «δυναδικής λογικής» (Boolean) στερεών μοντέλων, που περιέχουν μόνο τιμές «0» και «1» αντίστοιχα για «ψευδή» (false) και «αληθή» (true) (ανάλογα με τη παράμετρο ελέγχου που ορίζεται - αν είναι λιγνίτης ή όχι), για κάθε μοντέλο που δημιουργήθηκε για κάθε διαφορετικό στρώμα λιγνίτη. Κάθε λιγνιτικό στρώμα θα χρειαστεί να φιλτραριστεί ξεχωριστά.

Για το λιγνιτικό στρώμα C1 για παράδειγμα τα κατώτατα όρια (thresholds) του φίλτρου θα είναι 2 και 2 (έχει οριστεί ως δεύτερο (2) στην αρίθμηση της στρωματογραφίας των γεωτρήσεων) για το C4 και 4 κ.ο.κ. Με την ίδια διαδικασία προσαρτούμε ένα-ένα φίλτρο και για τα υπόλοιπα λιγνιτικά στρώματα και συνθέτουμε όλους τους συνδυασμούς των δυναδικών μοντέλων (π.χ. C1+C2 Boolean = C1-C2 Boolean, μετά προσθέτουμε C1-C2 Boolean + C3 = C1-C2-C3 Boolean κ.ο.κ, μέχρι να σχηματισθεί το C1-C2-C3-...-C26). Η σύνθεση όλων των δυναδικών μοντελοποιημένων επιφανειών που εξάγεται από τη παραπάνω διαδικασία φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 23: Αποτέλεσμα σύνθεσης δυαδικών μοντελοποιημένων επιφανειών παρεμβαλλόμενων στρωμάτων λιγνίτη

Προσθέσαμε δυαδικής μορφής μοντέλα κατά την οποία 1=λιγνίτης (True), 0=όχι λιγνίτης (False) σε μια κυψελίδα παρά κυψελίδα (voxel-by-voxel, ενότητα 4.2) βάση. Ως εκ τούτου κάθε κυψελίδα που βρίσκεται στο C1-C2-...-C26 συνολικό μοντέλο, περιέχει λιγνίτη για οποιαδήποτε από τις 26 αυτές μοντελοποιημένες επιφάνειες για τις οποίες ορίστηκε τιμή κόμβου = 1.

Τέλος, χρησιμοποιούμε την έκθεση αναφοράς για τον προσδιορισμό των συνολικών μη-μηδενικών όγκων, για όλα τα στρώματα λιγνίτη. Προφανώς ο όγκος «μη-μηδέν» είναι η ογκομέτρηση για τα Boolean μοντέλα που περιέχουν λιγνίτη (τιμή = 1).

Από την έκθεση αναφοράς προκύπτει ότι το γεωλογικό απόθεμα του λιγνίτη κατά τη δημιουργία μοντελοποίησης στρωματογραφικής συσχέτισης με τη μέθοδο Kriging είναι:

$$41,558 \text{ m}^3 (\text{όγκος}) \times 1,3 \text{ t/m}^3 (\text{ειδικό βάρος λιγνίτη}) = \mathbf{54 \text{ Mt.}}$$

```

Solid Model Statistics
-----
Solid (Block Model) Name ..... C:\Users\dimitris\Documents
\RockWorks17 Data\kleidi\boolean_output_final.RwMod
File date ..... 3/3/2016 12:40:24 μμ

X-Minimum (western-most node) ..... 553.150,0 Meters
X-Maximum (eastern-most node) ..... 556.100,0 Meters
X-Spacing (east/west node spacing) ..... 50,0 Meters
X-Nodes (east/west points) ..... 60

Y-Minimum (southern-most node) ..... 4.504.700,0 Meters
Y-Maximum (northern-most node) ..... 4.513.100,0 Meters
Y-Spacing (north/south node spacing) ..... 50,0 Meters
Y-Nodes (north/south points) ..... 169

Z-Minimum (lowest node) ..... 240,0 Meters
Z-Maximum (highest node) ..... 1.004,8 Meters
Z-Spacing (vertical) ..... 0,8 Meters
Z-Nodes (vertical points aka layers) ..... 957

Voxel Volume ..... 2.000,0 Cubic Meters
Total Voxels ..... 9.703.980
Model Volume ..... 19.407.960.000,0 Cubic Meters
Center of Mass (x y z)..... 554.431,904808 4.511.838,156312
827,457799
Null Voxels..... 0

Minimum node value ..... 0,0
Minimum node value > 0 ..... 1,0
Maximum node value ..... 1,0
Mean node value ..... 0,002141
Mean node value for nodes > 0 ..... 1,0
Sum of all node values ..... 20.779,0
Standard Deviation ..... 0,046224
Non-zero and null nodes ..... 20.779
Non-Zero Volume ..... 41.558.000,0 Cubic Meters
Material Volume ..... 415.580,0 Cubic Meters

Projection Information:

XY (Horizontal) Units ..... UTM Meters
Z (Vertical) Units ..... Meters

UTM (Universal Transverse Mercator):

```

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ
KANNABOY

Εικόνα 23: Έκθεση αναφοράς για την ογκομέτρηση του λιγνιτικού κοιτάσματος.

Αξίζει να τονισθεί ότι μπορεί ένα λογισμικό να προσομοιάζει την πραγματικότητα κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο, αλλά η κρίση του χρήστη είναι αυτή που θα το κάνει πιο ευέλικτο και χρηστικό εργαλείο, παρακάμπτοντας τις ατέλειές του.

Στο Παράρτημα - II που ακολουθεί, υπάρχει αναλυτική βήμα προς βήμα μεθοδολογία επεξεργασίας κι ανάλυσης των γεωτρητικών δεδομένων από το λογισμικό για:

- τη σύνδεση του λογισμικού επεξεργασίας γεωτρητικών δεδομένων με τη PostgreSQL βάση
- τη διαστασιολόγηση πλέγματος για τη μοντελοποίηση των γεωτρητικών δεδομένων
- τη χαρτοσύνθεση θέσεων των λιγνιτικών γεωτρήσεων και την οπτικοποίησή τους στη πλατφόρμα Google Earth,
- τη δημιουργία γεωλογικών μοτίβων στρωματογραφίας
- τη δημιουργία 3-D στρωματογραφίας γεωτρητικών στηλών
- τη δημιουργία 2-D τομής ίχνους πολλαπλών λιθοστρωματογραφικών στηλών
- τη δημιουργία χωρικού μοντέλου λιθολογίας,

για τον υπολογισμό επίσης του όγκου και της μάζας για την εκτίμηση του γεωλογικού αποθέματος του λιγνιτικού κοιτάσματος.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Βακάλη Α., Γιαννόπουλος Η., Ιωαννίδης Ν., Κοίλιας Χ., Μαλάμας Κ., Μανωλόπουλος Ι., Πολίτης Π. (2010 - Έκδοση ΙΑ). «Ανάπτυξη Εφαρμογών σε Προγραμματιστικό Περιβάλλον». Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων - Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, σελ. 25-32.
2. Βεργούλης Παναγιώτης, «Μελέτη των ενδιάμεσων ανόργανων ιζημάτων στα λιγνιτικά κοιτάσματα Κλειδιού, Αμυνταίου και Νοτίου Πεδίου της Δυτικής Μακεδονίας», Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών ΕΜΠ, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Ιούλιος 2011
3. Γαλετάκης Μιχαήλ., «Προσδιορισμός της ποιότητας λιγνίτη που εξορύσσεται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά κοιτάσματα», Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά Ιούνιος 1996
4. Γιάτας Δ., Γώγουλος Γ., Κοτίνη Ι., Κυριακάκη Γ., Μωράκης Δ., Τζελέπη Σ., Φραγκονικολάκης Μ., «Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων και Εφαρμογές τους στο Διαδίκτυο», Σημειώσεις Β' ΕΠΑΛ, Υπουργείο Πολιτισμού Παιδείας και Θρησκευμάτων, Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής.
5. Καβουρίδης Κ. « Η Αξιοποίηση του Λιγνιτικού Κοιτάσματος Πτολεμαΐδας, Σημερινή κατάσταση και προοπτικές των λιγνιτωρυχείων του ΛΚΠ-Α με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας», Δημερίδα του Τ.Ε.Ε «Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα της χώρας μας: Παρούσα κατάσταση και προοπτικές», Αθήνα 13-14 Μαΐου, 1997.
6. Καβουρίδης Κ., Ακύλας Ν., Λεοντίδης Μ., Ρούμπος Χ. (2000) «Η κατανομή της ποιότητας λιγνίτη πολυστρωματικών κοιτασμάτων και οι τεχνολογικές δυνατότητες αναβάθμισής της», 3ο συνέδριο ορυκτού πλούτου, Αθήνα, 22- 24/11/2000.
7. Καβουρίδης Κ.Β., Χαλούλος Κ., Λεοντίδης Μ., Ρούμπος Χ. (2005) «Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Σημερινή κατάσταση και προοπτικές» Δημερίδα «Λιγνίτης και Φυσικό Αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας», 9-10 Ιουνίου 2005, ΤΕΕ
8. Καραμαλίκης Α. Νικόλαος, «Προσδιορισμός και έλεγχος ποιότητας Λιγνιτικών κοιτασμάτων», Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2004
9. Κιούσης Κωνσταντίνος, «Ανάπτυξη παραμέτρων χωρικής ανάλυσης επιφανειακής θερμοκρασίας κι επιφανειακής συγκέντρωσης χλωροφύλλης από δορυφορικές εικόνες», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Επιστήμης της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2003.
10. Κοτσαμπασίδης Δημήτριος, «Συγκριτική Ανάλυση Συστημάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων ως προς την δυνατότητα αποθήκευσης και διαχείρισης χωρικών δεδομένων», Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στα Πληροφοριακά Συστήματα, Θεσσαλονίκη 10/2008.
11. Κούκουζας, Κ., Κούκουζας, Ν. (2000). Κατάταξη των ελληνικών λιγνιτικών αποθεμάτων σύμφωνα με το νέο σύστημα των Ηνωμένων Εθνών, Ορυκτός Πλούτος, τεύχ. 117, σελ.19-36.
12. Κούκουζας Κ., «Η Έρευνα των ορυκτών ανθράκων και τα αποτελέσματα της τα τελευταία 40 χρόνια στον Ελλαδικό χώρο - προοπτικές», Ειδικές δημοσιεύσεις Ε.Γ.Ε. Αθήνα, 1993 σελ. 209-230.
13. Κώτης, Θ., Περγαμάλης, Φ., Καραγεωργίου, Δ. Ε., Κουκούλης, Α. «Εγχώριες Ενεργειακές Πρώτες Ύλες Παράγοντας ανάπτυξης και σταθερότητας», 9ο Συνέδριο Ε.Γ.Ε. Θεσσαλονίκης, 2004.

14. Κώτης Θ., Πλουμίδης Μ., Μεταξάς Α., Βαρβαρούσης Γ. «Κοιτασματολογική μελέτη λιγνιτικού κοιτάσματος περιοχής Κλειδιού Φλώρινας», ΠΜΕ, (1997).

15. Λουρίδας Παναγιώτης, «Μοντελοποίηση με τη UML», σημειώσεις μαθήματος, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας

16. Μόδης Κ., Σταματάκη Σ., «Εισαγωγή στη Μεταλλευτική Έρευνα», Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα-Κάλλιπος

17. Οικονομόπουλος Ι., «Ορυκτολογική, Ανθρακοπετρογραφική, Παλαιοβοτανική Έρευνα του Λιγνιτικού Κοιτάσματος Αχλάδας Ν.Φλωρίνης», Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα Φεβρουάριος 2010.

18. Πεταλωτή Ελένη, Χαραλαμπάκης Εμμανουήλ, «Χρήση εξειδικευμένου λογισμικού στη μελέτη γεωτεχνικών έργων. Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο Κατολιόθησης Κρυσταλλοπηγής», 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, 29/09 - 1/10 2010, Βόλος.

19. Σάββας Κ. Ηλίας, «Αλγόριθμοι & Πολυπλοκότητα (Σημειώσεις για το μάθημα)», Τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, ΤΕΙ Λάρισας, Ιανουάριος 2005.

20. Σαμιώτης Εμμανουήλ, «Μοντελοποίηση και υπολογισμός αποθεμάτων του λιγνιτικού κοιτάσματος Κομνηνών Δ. Μακεδονίας, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά Σεπτέμβριος, 2012

21. Τσούλος Λύσανδρος, Σημειώσεις μαθήματος «Επεξεργασία, Ανάλυση και Απόδοση Χωρικών Δεδομένων», Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Γεωπληροφορική, 2013-14.

22. Φρέντζος Ηλίας, «Εισαγωγή στη PostgreSQL - PostGIS», Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Πληροφορικής, σημειώσεις μαθήματος εργαστηρίου.

Διεθνής βιβλιογραφία

1. C. Papanikolaou, M. Galetakis and A.E. Foscolos, "Quality Characteristics of Greek Brown Coals and their Relation to the Applied Exploitation and Utilization Methods", 230-239, Energy & Fuels Vol. 19 No.1, 2005.

2. ECHMES Ltd. «Βάση γεωχωρικών δεδομένων Λιγνιτωρυχείων και περιοχών Γεωθερμικού ενδιαφέροντος της ΔΕΗ Α.Ε.» Μελέτη, Αθήνα Ιούλιος 2012.

3. Elmasri & Navathe (Μετάφραση: Εκδόσεις ΔΙΑΥΛΟΣ), «Θεμελιώσεις Αρχές Συστημάτων Βάσεων Δεδομένων» (Τόμος Α' - Έκδοση 4η), Κεφάλαιο 3 και μέρος του κεφαλαίου 4.

4. «Modeling a Multi-Seam Coal Reserve using RockWorks», case study of Mining, RockWorks Support, RockWare.

5. Kapageridis I., Apostolikas A., Pappas S. and Zevgolis I., "Use of Mining Planning Software for the evaluation of resources and reserves of a sedimentary nickel deposit", Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XLVII 2013, Proceedings of the 13th International Congress, Chania, Sept.2013.

6. Kapageridis K. Ioannis, Kolovos J. Christos, «Modelling and Resource Estimation of a Thin-Layered Lignite Deposit», APCOM 2009 - Proceedings.

7. Pavlides A., Hristopulos D, Roumpos C., Agioutantis Z. (2015). Spatial modeling of lignite energy reserves for exploitation planning and quality control, Energy, Volume 93, Part 2, 15 December 2015, 1906-1917.

8. Roumpos C., Liakoura K, Barmpas T. (2011). Estimation of Exploitable Reserves in Multilayer Lignite Deposits by Applying Mining Software. The Significant Impact of Geological Strata Correlation, 17th Meeting of the Association of European Geological Societies (MAEGS), Belgrade, Serbia, 14-18 September: 247-250.

9. Roumpos C., Paraskevis N., Galetakis M., Michalakopoulos T. (2014). Mineable lignite reserves estimation in continuous surface mining, 12th International Symposium Continuous Surface Mining (ISCSM), Aachen, Germany, 21-23 September: In book: Proceedings of the 12th International Symposium Continuous Surface Mining - Aachen 2014, Edition: Lecture Notes in Production Engineering 2015, Publisher: Springer International Publishing, Editors: Christian Niemann-Delius, pp.177-194.

Εξωτερικοί σύνδεσμοι

1. [Εργαστήριο Βάσεων Δεδομένων, Entity-Relationship Diagram \(ER\), Πανεπιστήμιο Πάτρας](#)
2. <http://euracoal.eu/library/annual-reports/>
3. <https://gr.boell.org/el/2015/12/15/apothemata-kai-haraktiristika-toy-ellinikoy-ligniti>
4. <http://greenagenda.gr/13197/>
5. http://help.rockware.com/rockworks17/WebHelp/what_would_you_like_to_do.htm
6. <http://help.rockware.com/rockworks17/WebHelp/introduction.htm>
7. <http://www.dmst.aueb.gr/dds/ism/oo/indexw.htm>
8. <http://www.kallipos.gr/>
9. <http://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/20-methodoi-ekmetalleysis>
10. http://www.oryktosploutos.net/2015/07/2014_10.html#.Vs-qDfmLTcs

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο λιγνίτης αποτελεί το εθνικό ενεργειακό καύσιμο που εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή μας αυτοδυναμία. Η μεγάλη του συμβολή στην εθνική οικονομία απαιτεί την πλήρη διερεύνηση όλων των παραμέτρων του, ώστε η εκμετάλλευσή του να γίνει η ορθολογικότερη δυνατή. Τόσο τα γεωλογικά όσο και τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα εν συνεχεία (εφόσον προηγηθεί αξιολόγηση των γεωτρήσεων) θα πρέπει να προσδιορισθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόληψη του κοιτάσματος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό RockWorks 17, το κοιτάσμα έχει αξιόλογες ποσότητες λιγνίτη που ανέρχονται σε 57,1 Mt (γεωλογικό απόθεμα) όπως υπολογίστηκε από το χωρικό μοντέλο λιθολογίας με τη μέθοδο πλευρικής εξώθησης στρωμάτων και 54 Mt σύμφωνα με τη μέθοδο Kriging κατά τη μοντελοποίηση στρωματογραφικής συσχέτισης, βασισμένα σε διαστασιολόγηση καννάβου με τη μέθοδο των Αντιστρόφων του τετραγώνου της απόστασης.

Σύμφωνα με τα απολογιστικά στοιχεία που χρησιμοποίησε στη διδακτορική του διατριβή ο Νικόλαος Καραμαλίκης για το εν λόγω λιγνιτωρυχείο, το γεωλογικό απόθεμα είναι 57,7 Mt και 42 Mt εκμεταλλεύσιμο. Συνεπώς, οι αποκλίσεις στην εκτίμηση δεν διαφέρουν σημαντικά.

Η διαφορά των δυο μεθόδων μοντελοποίησης έγκειται στο γεγονός ότι στη μέθοδο της στρωματογραφικής συσχέτισης οι γεωτρήσεις για τις οποίες δεν είχαμε αρκετά σημεία ώστε να γίνει παρεμβολή των στρωμάτων λιγνίτη και να προκύψει μοντελοποιημένη επιφάνεια (απομονωμένες γεωτρήσεις σε μεγάλο βάθος), δεν λήφθηκαν υπόψη στον υπολογισμό της ογκομέτρησης και κατ' επέκτασης στον υπολογισμό του γεωλογικού αποθέματος, ενώ στη περίπτωση του μοντέλου λιθολογίας με τη μέθοδο της πλευρικής εξώθησης των στρωμάτων κάθε λιγνιτικό στρώμα που είχε πάχος ≥ 35 εκατοστά έχει μοντελοποιηθεί και ληφθεί υπόψη στην εκτίμηση του γεωλογικού αποθέματος.

Το αποτέλεσμα αυτό σε συνδυασμό με τη δυνατότητα του εργαλείου για σύνδεση με ΒχΔ για τη διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση και απόδοση με τη μορφή της μοντελοποίησης της χωρικής πληροφορίας αλλά και τη δυνατότητα για δημιουργία κι απεικόνιση αληθινών και υψηλής απόδοσης τρισδιάστατων γραφημάτων, καθιστά το σύστημά μας ως ένα **ολοκληρωμένο, ασφαλές κι αποδοτικό σύστημα διαχείρισης αντικειμενο-σχεσιακών βάσεων δεδομένων**, με τη προϋπόθεση τα πρωτογενή δεδομένα να είναι επαρκή και αξιόπιστα.

Η επιτυχής χρήση των νέων τεχνολογιών πληροφορικής αποτελεί σήμερα **αναπόσπαστο εργαλείο**. Η χρήση λογισμικών τα οποία συνδέουν γεωλογικά-γεωτεχνικά χωρικά δεδομένα και ταυτόχρονα απεικονίζονται στο χώρο (σε δισδιάστατη και τρισδιάστατη μορφή), **ανεβάζει την παραγωγικότητα και τη δυνατότητα αντίληψης σε υψηλό επίπεδο**.

Παράλληλα όμως, η χρήση μαθηματικών μεθόδων για τη μοντελοποίηση φυσικών φαινομένων ή γεωμορφολογικών εμφανίσεων, περιλαμβάνει και την παγίδα της χρήσης τους χωρίς βαθιά αξιολόγηση από τον επιστήμονα. **Καμία μέθοδος δεν μπορεί να αντικαταστήσει την πολυπλοκότητα του ανθρώπινου μυαλού στο συνδυασμό διαφόρων δεδομένων αλλά και της αίσθησης της φυσικής υπόστασης**.

Τέλος, σε επόμενη φάση κι εφόσον διασαφηνιστούν πλήρως τα στοιχεία όλων των γεωτρήσεων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό ώστε να υπολογίσει και τα όρια των εκσκαφών της εκμετάλλευσης είτε ακόμα λαμβάνοντας υπόψη και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λιγνιτικών στρωμάτων να γίνει αξιολόγηση των γεωτρήσεων για την εκτίμηση του απολήψιμου αποθέματος για το λιγνιτικό κοίτασμα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Ι

Μεθοδολογία Δημιουργίας βάσης δεδομένων PostgreSQL

Υλοποίηση βάσης δεδομένων με τη χρήση της κονσόλας command prompt

Αρχικά έγινε σύνδεση με την postgresQL 9.3 με τη χρήση του κατάλληλου συνθηματικού και την επιλογή του λογισμικού της βάσης μέσω της γραμμής εντολών command prompt. Με το άνοιγμα της κονσόλας βρίσκουμε από το μονοπάτι: **cd C:\Program Files\PostgreSQL\9.3\bin**, όπου υπάρχει εγκατεστημένο το λογισμικό της PostgreSQL και στη συνέχεια, συνδεόμαστε στην Postgres εκτελώντας στην κονσόλα: **psql -U postgres**, οπότε και θα ζητηθεί το συνθηματικό για τον χρήστη 'postgres' ή όποιον άλλον χρήστη έχουμε δημιουργήσει για την σύνδεσή μας.

Πληκτρολογώντας με τη σειρά τις εντολές του παρακάτω πίνακα πετυχαίνουμε τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με όνομα «kleidi», κωδικοσελίδα UTF-8 για την υποστήριξη των ελληνικών χαρακτήρων και ενισχυμένη με την υποστήριξη των λειτουργιών των PostGIS templates:

CREATE DATABASE kleidi
WITH OWNER = postgres
ENCODING = 'UTF-8'
TABLESPACE = pg_default
TEMPLATE = postgres_21_sample;

Η επιλογή της βάσης στην οποία θα εργαστούμε γίνεται με μια εντολή της μορφής: **psql -U postgres -d kleidi**, αφού πρώτα έχουμε εκτελέσει **\q** για την έξοδο απ' το περιβάλλον psql της PostgreSQL.

```

Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Figbis>cd C:\Program Files\PostgreSQL\9.3\bin

C:\Program Files\PostgreSQL\9.3\bin>psql -U postgres
psql (9.3.4)
WARNING: Console code page (737) differs from Windows code page (1253)
         8-bit characters might not work correctly. See psql reference
         page "Notes for Windows users" for details.
Type "help" for help.

postgres=# CREATE DATABASE kleidi
postgres=# WITH OWNER = postgres
postgres=# ENCODING = 'UTF-8'
postgres=# TABLESPACE = pg_default
postgres=# TEMPLATE = postgis_21_sample;
CREATE DATABASE
postgres=# \q

C:\Program Files\PostgreSQL\9.3\bin>psql -U postgres -d kleidi
psql (9.3.4)
WARNING: Console code page (737) differs from Windows code page (1253)
         8-bit characters might not work correctly. See psql reference
         page "Notes for Windows users" for details.
Type "help" for help.

kleidi=#

```

Στιγμιότυπο 1: Δημιουργία ΒΔ μέσω της γραμμής εντολών command prompt.

Η βάση δεδομένων **kleidi** θα πρέπει τώρα να ενισχυθεί με τις λειτουργίες του PostGIS, ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεση των εντολών. Το PostGIS απαιτεί την επέκταση με εντολές της γλώσσας PL/pgSQL, η οποία θα πρέπει να είναι διαθέσιμη για την συγκεκριμένη βάση δεδομένων. Αυτό μπορεί να γίνει έπειτα από σύνδεση στο περιβάλλον psql (από το μενού **Start → Programs → PostgreSQL 9.3 → SQL Shell (psql)** και πληκτρολογώντας στην κονσόλα:

createlang plpgsql kleidi

Κατόπιν πρέπει να φορτωθούν στην βάση δεδομένων (kleidi) οι ορισμοί των αντικειμένων και των συναρτήσεων του PostGIS με την εντολή από περιβάλλον psql:

psql -d kleidi -f lwpostgis.sql

Αν επιπλέον τα δεδομένα αναφέρονται σε ένα γνωστό σύστημα αναφοράς (λ.χ. WGS84, ΕΓΣΑ'87) θα πρέπει να οριστούν συστήματα αναφοράς στον πίνακα SPATIAL_REF_SYS της συγκεκριμένης βάσης (geodb) με την εντολή από περιβάλλον psql:

psql -d kleidi -f spatial_ref_sys.sql

Στο σημείο αυτό, έχει δημιουργηθεί μια σωστά ρυθμισμένη βάση δεδομένων σε PostgreSQL με υποστήριξη του PostGIS.

Μετά τη δημιουργία της βάσης, μπορούμε να προχωρήσουμε στη δημιουργία μιας «ομπρέλας» οντοτήτων («schema»), μέσα στην οποία στη συνέχεια θα φτιάξουμε τους πίνακες οντοτήτων (tables) και στο τέλος τις στήλες (columns) με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των οντοτήτων που θα περιέχουν τα δεδομένα.

Με την ίδια διαδικασία όπως και προηγουμένως, μέσω της κονσόλας του command prompt και της γραμμής εντολών πληκτρολογούμε τις εντολές του παρακάτω πίνακα:

CREATE SCHEMA drillhd
AUTHORIZATION postgres;
GRANT ALL ON SCHEMA drillhd TO postgres;
GRANT ALL ON SCHEMA drillhd TO public;

```
kleidi=# CREATE SCHEMA drillhd
kleidi=# AUTHORIZATION postgres;
CREATE SCHEMA
kleidi=# GRANT ALL ON SCHEMA drillhd TO postgres;
GRANT
kleidi=# GRANT ALL ON SCHEMA drillhd TO public;
GRANT
kleidi=#
```

Στιγμιότυπο 2: Δημιουργία ομπρέλας οντοτήτων («schema») στη ΒΔ μέσω της γραμμής εντολών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, όλα τα δεδομένα μπορούν να εισαχθούν -εναλλακτικά- στο υπάρχον σχήμα public, προκειμένου να είναι αναγνωρίσιμα και εκτός περιβάλλοντος PostGIS (λ.χ. μέσω του λογισμικού uDIG). Σε περιβάλλον uDIG αλλά και σε οποιοδήποτε χαρτογραφικό λογισμικό ανοικτού κώδικα, για την βάση kleidi, δεδομένα σε WGS '84 θα ήταν αναγνωρίσιμα από οποιοδήποτε σχήμα. Ατυχώς όμως, δεδομένα σε ΕΓΣΑ'87 είναι προσβάσιμα μόνο από το σχήμα public. Εναλλακτικά, όλα τα δεδομένα μπορούν να φορτωθούν στο αντίστοιχο public schema της default βάσης **postgis_sample** που δημιουργείται κατά την εγκατάσταση του PostGIS. Αυτός είναι κι ένας από τους σημαντικούς λόγους που προχωρήσαμε εξ'αρχής στο μετασχηματισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων. (Σημαντικό: Για τη καλύτερη ασφάλεια, στη συνέχεια της εργασίας η εισαγωγή, οργάνωση και επεξεργασία για την αξιοποίηση των γεωτρητικών αυτών δεδομένων θα γίνει από τη default βάση postgis_sample που είναι έτοιμα ενισχυμένη με τις λειτουργίες της επέκτασης του PostGIS κατά την εγκατάστασή του.)

Εισαγωγή Δεδομένων στη Βάση

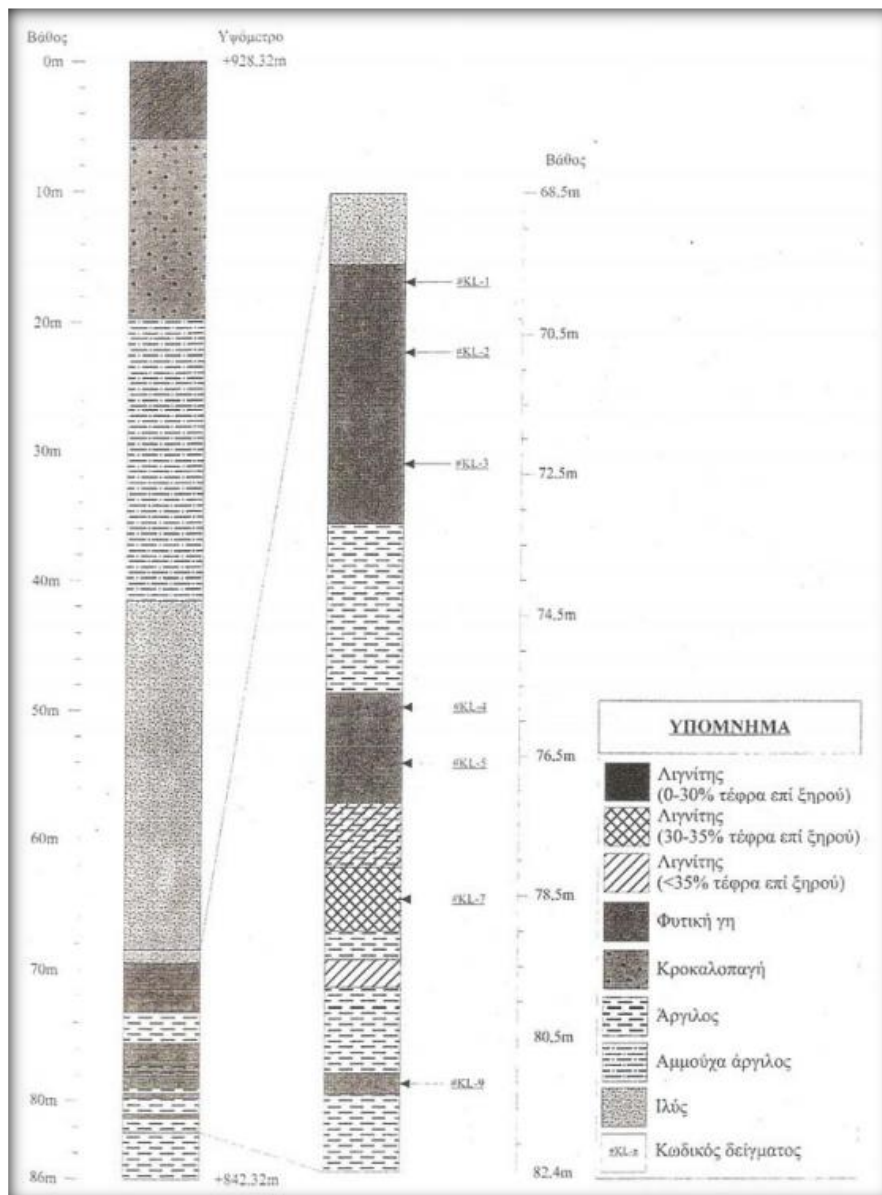
Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκαν να εισαχθούν στη βάση ως πρωτογενή δεδομένα, γεωτρητικά δεδομένα από το εν λόγω λιγνιτωρυχείο, με σκοπό την μοντελοποίηση των γεωτρητικών δεδομένων για την εκτίμηση των λιγνιτικών αποθεμάτων.

Τα γεωτρητικά δεδομένα από 128 γεωτρήσεις που αφορούσαν στο πρωτογενές αρχείο δεδομένων που λήφθηκε, ήταν αρχικώς δομημένα με την ακόλουθη μορφή:

X 15522	Y 1175	Z 917.05	κωδική	0.0	0.0	0.0	0
		KL69	ονομασία	41.0	2.767.9	623	
			γεώτρησης	50.0	1.220.62059		
0	T 4640	AL	λιθostrωματο- γραφία	50.0	1.117.02158		
4640	4800	CO		44.320.033.31215			
4800	4900	CO		0.0	0.0	0.0	0
4900	β 5000	CO		44.0	5.844.61256		
5000	α 5080	CO		34.7	2.465.8	524	
5080	α 5320	AL		0.0	0.0	0.0	0
5320	θ 5400	CO		44.0	1.942.01464		
5400	ο 5430	CO		0.0	0.0	0.0	0
5430	ο 5490	AL		44.0	1.942.01464		
5490	ς 5580	CO		0.0	0.0	0.0	0
5580	5620	AL		42.8	4.745.71281		
5620	5650	CO		45.0	1.247.41242		
5650	5700	CO		38.5	1.831.22116		
5700	5800	CO		0.0	0.0	0.0	0
5800	9870	AL		0.0	0.0	0.0	0
9870	10200	LT					

χρονική στιγμή εκτέλεσης 280803230903
υγρασία CO2 τέφρα ΚΘΙ

Από τη μελέτη της λιθostrωματογραφικής στήλης χωρίζουμε σε τέσσερα λιθostrωματογραφικά επίπεδα από την οροφή προς το δάπεδο, ως εξής:



Λιθostrωματική στήλη της γεώτρησης KL-75

✚ Ως τεχνική οροφή λαμβάνεται η επιφάνεια που βρίσκεται ορισμένα εκατοστά (συνήθως 10cm) κάτω από το πρώτο απολήψιμο λιγνιτικό στρώμα.

✚ Τεχνικά υπερκείμενα θεωρούνται τα προς απόρριψη στείρα υλικά ή και τα μη απολήψιμα λιγνιτικά στρώματα, που βρίσκονται πάνω από την τεχνική οροφή.

✚ Τεχνικό δάπεδο είναι η επιφάνεια που βρίσκεται ορισμένα εκατοστά (συνήθως 10cm) ψηλότερα από το τελευταίο (βαθύτερο) απολήψιμο λιγνιτικό στρώμα.

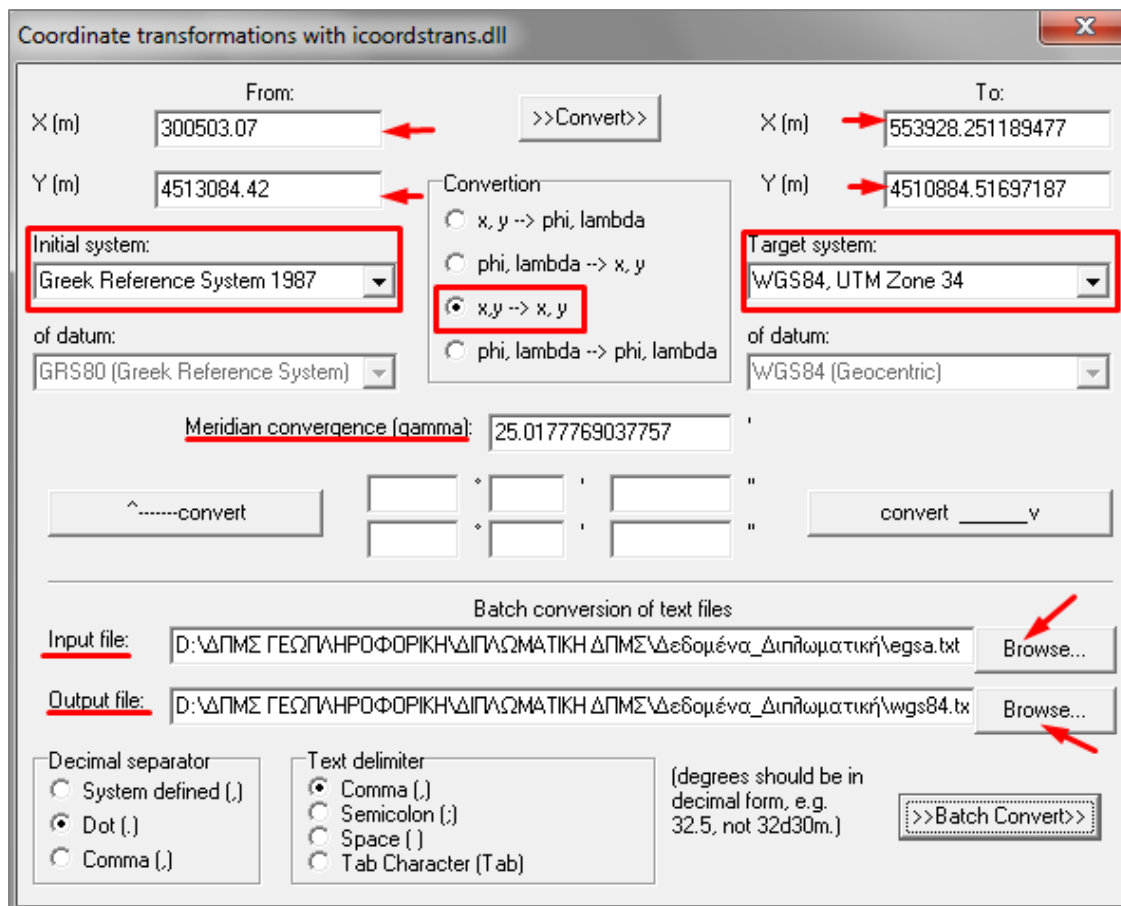
✚ Λιγνιτοφόρα στοιβάδα είναι αυτή που βρίσκεται ανάμεσα στην τεχνική οροφή και στο τεχνικό δάπεδο.

Σε όλα τα δεδομένα υπήρξε ένας αρχικός μετασχηματισμός των συστημάτων αναφοράς για τη μετατροπή των συντεταγμένων θέσης από Hatt σε ΕΓΣΑ '87 κι εν συνεχεία από ΕΓΣΑ '87 σε WGS '84 για να υπάρχει απόλυτη συμβατότητα με όλα τα χαρτογραφικά λογισμικά που θα χρησιμοποιηθούν μέχρι τη τελική μοντελοποίηση του λιγνιτικού κοιτάσματος.

Η πρώτη μετατροπή των συντεταγμένων των γεωτρητικών δεδομένων έγινε σε φύλλο Excel όπου υπάρχει ο μαθηματικός μετασχηματισμός των συστημάτων αναφοράς Hatt σε ΕΓΣΑ για τη μετατροπή των συντεταγμένων.

ΕΡΓΟ:		A	B	
	ΦΛΩΡΙΝΑ	0	286135,29 4513884,8	
		1	0,9997525 -0,0288922	
Φ_0	40,45	2	0,0288945 0,9997499	
Λ_0	-2,15	3	-2,58E-09 2,7E-10	
ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΥΛΛΟΥ	372	4	2,63E-09 -2E-10	
ΟΝΟΜΑ ΦΥΛΛΟΥ	ΦΛΩΡΙΝΑ	5	-5E-11 -5,14E-09	
	μετασχηματισμός			
ΟΝΟΜΑ ΣΗΜΕΙΟΥ	→ HATT		→ ΕΓΣΑ	
	X	Y	X	Y
1				
2				
3				
ΣΗΜΕΙΟ 4	15522.00	1175.00	301686.78	4514611.01
	KL69			

Η δεύτερη μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων έγινε με ένα εξειδικευμένο εργαλείο μετασχηματισμών συστημάτων αναφοράς, το 7 Geodetic Transforms. Όλες οι συντεταγμένες θέσης των γεωτρήσεων μετασχηματίστηκαν στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή επί του WGS '84 (Zone 34 αντιστοιχεί στην Ελλάδα).



Οι συντεταγμένες θέσης πλέον, για όλες τις γεωτρήσεις έχουν μετατραπεί στο Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς Συντεταγμένων για τη καλύτερη αξιοποίησή τους και συμβατότητα με τα περισσότερα χαρτογραφικά εργαλεία υποστήριξης χωρικής πληροφορίας.

Η βάση PostgreSQL/PostGIS γεωχωρικών δεδομένων παρέχει τις ακόλουθες δομές:

- Η δομή Table χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει χωρικά και μη χωρικά δεδομένα.
- Το Schema αποτελεί μία δομή με μορφή καταλόγου που διευκολύνει την οργάνωση και τη διαχείριση των πινάκων και των άλλων στοιχείων της βάσης.
- Η δομή Spatial Index αποτελεί το χωρικό ευρετήριο.
- Η δομή Constraint χρησιμοποιείται για να επιβάλει δεσμεύσεις στις τιμές ενός πεδίου π.χ. επιτρέπεται (ή όχι) η μη λήψη τιμών, οι τιμές πρέπει να είναι μοναδικές, οι τιμές πρέπει να βρίσκονται εντός ενός εύρους το οποίο προσδιορίζεται από την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή, ένα πεδίο λειτουργεί ως πρωτεύον κλειδί, ένα πεδίο λειτουργεί ως δευτερεύον κλειδί κ.ά.

Η εισαγωγή των δεδομένων προϋποθέτει το να οριστούν πρώτα οι πίνακες οντοτήτων.

Για τη δημιουργία των πινάκων οντοτήτων που έχουν συμπεριληφθεί στο εννοιολογικό σχήμα της βάσης σύμφωνα με το διάγραμμα UML οντοτήτων - συσχετίσεων ακολουθούμε την ίδια τακτική μέσω της γραμμής εντολών command prompt.

- Δημιουργούμε πίνακα οντοτήτων με στήλες γνωρισμάτων που θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση γεωμετρίας **3-διαστάσεων σημείων**, όπως τελικώς θα θεωρηθούν οι γεωτρήσεις. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί πως το PostGIS θεωρεί «εσφαλμένο» (invalid) τα άκρα μιας 3-διαστάσεων γραμμής να έχουν ίδιες συντεταγμένες X,Y και διαφορετικό Z, όπως συμβαίνει σε μια κατακόρυφη γεώτρηση στο χώρο. Γι' αυτό το λόγο θα προτιμηθεί να επιλεγεί ως είδος γεωμετρίας της χωρικής πληροφορίας το σημειακό αρχέτυπο για τις γεωτρήσεις και το γραμμικό για τα ρήγματα που δεν έχουν το πρόβλημα με τις κοινές τετμημένες και τεταγμένες.

Για να είμαστε ασφαλείς, θα δημιουργήσουμε τους πίνακες οντοτήτων με τα δεδομένα στη βάση `postgis_sample` που έχει εγκατασταθεί `by default`, ώστε να είμαστε σίγουροι ότι τα δεδομένα μας θα είναι αναγνωρίσιμα από οποιοδήποτε σχήμα και σε οποιοδήποτε Σύστημα Αναφοράς. Επομένως για την εισαγωγή του πίνακα οντοτήτων `Location`, πληκτρολογούμε στη κονσόλα (έχοντας πλέον συνδεθεί με τη βάση `postgis_sample`):

```
create table public.location (hole_id integer PRIMARY KEY, borehole VARCHAR(30), easting FLOAT, northing FLOAT, elevation FLOAT, collar_elevation FLOAT, total_depth FLOAT);
```

```
postgis_sample=# create table public.location (hole_id integer PRIMARY KEY, borehole VARCHAR(30), easting FLOAT, northing FLOAT, elevation FLOAT, collar_elevation FLOAT, total_depth FLOAT);
CREATE TABLE
postgis_sample=#
```

Στιγμιότυπο 3: Δημιουργία πίνακα οντοτήτων στη `by default` βάση `postgis_sample` μέσω της γραμμής εντολών `command prompt`.

- Προσθέτουμε τη στήλη της γεωμετρίας στον πίνακα που μόλις δημιουργήσαμε για την αναγνώριση της χωρικής πληροφορίας. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να ορίσουμε και τον αριθμό των διαστάσεων. Πληκτρολογούμε στη κονσόλα:

```
SELECT AddGeometryColumn ('public', 'location', 'geom', 4326, 'POINT', 3);
```

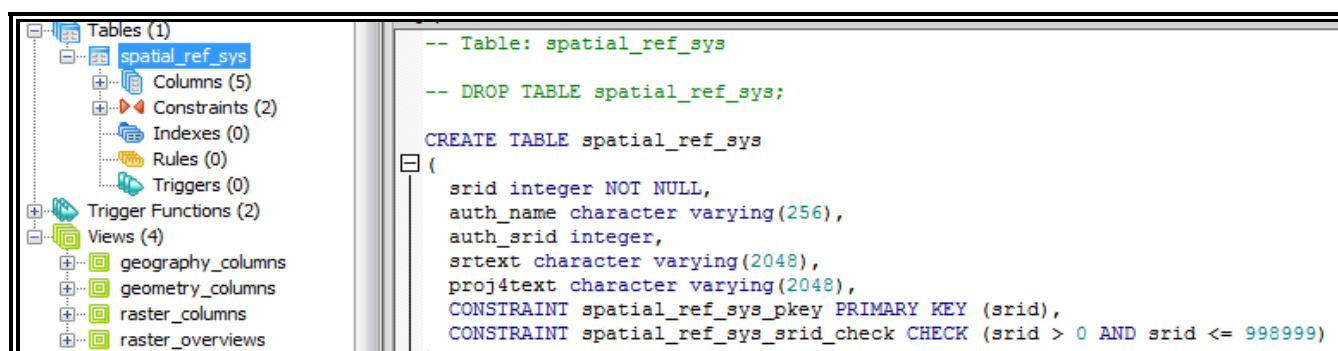
Προσθέσαμε μια στήλη «geom» δεδομένων στον πίνακα «location» του σχήματος «public», με σύστημα αναφοράς γεωγραφικών συντεταγμένων με SRID 4326 του WGS '84 (βλέπε ενότητα 2.1.4), είδος γεωμετρίας «σημείο» και αριθμό διαστάσεων 3.

```
postgis_sample=# SELECT AddGeometryColumn ('public', 'location', 'geom', 4326, 'POINT', 3);
addgeometrycolumn
-----
public.location.geom SRID:4326 TYPE:POINT DIMS:3
<1 row>
postgis_sample=# _
```

Στιγμιότυπο 4: Εισαγωγή στήλης γεωμετρίας `geom` στον πίνακα οντοτήτων `location`.

Το PostGIS μας παρέχει τη δυνατότητα για χωρικές πράξεις στην αντικειμενο-σχεσιακή βάση δεδομένων PostgreSQL, επεκτείνοντας την PostgreSQL ώστε να μπορεί να διαχειρίζεται χωρικά δεδομένα. Με τη δημιουργία της χωρικής βάσης, *αυτομάτως* και βάσει προδιαγραφών της PostGIS υπάρχουν εισηγμένες πληροφορίες για υπαρκτά χωρικά συστήματα αναφοράς συντεταγμένων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μέσω του πίνακα μεταδεδομένων

«spatial_ref_sys». Επίσης, η θέαση «geometry_columns» ενημερώνει την PostGIS, ποιοι πίνακες περιέχουν χωρική πληροφορία. Αυτά μας επιβεβαιώνουν πως πλέον έχουμε μια χωρική βάση.



```
-- Table: spatial_ref_sys
-- DROP TABLE spatial_ref_sys;

CREATE TABLE spatial_ref_sys
(
  srid integer NOT NULL,
  auth_name character varying(256),
  auth_srid integer,
  srtext character varying(2048),
  proj4text character varying(2048),
  CONSTRAINT spatial_ref_sys_pkey PRIMARY KEY (srid),
  CONSTRAINT spatial_ref_sys_srid_check CHECK (srid > 0 AND srid <= 998999)
)
```

Στιγμιότυπο 5: Σχηματισμός πίνακα της Postgis_sample μου επιβεβαιώνει την επέκταση για επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων.

Παρατηρούμε πως τα χωρικά συστήματα αναφοράς (srid) δε μπορούν να πάρουν τη τιμή 0 και πρακτικά η τιμή αυτή καθορίζεται σύμφωνα με τις μοναδικές τιμές της κάθε μιας χώρας, όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί από την Ευρωπαϊκή Ερευνητική Ομάδα Πετρελαίου (EPSG) (<= 998999).

- Για το καθορισμό του ελέγχου εγκυρότητας της γεωμετρίας, πληκτρολογούμε στη γραμμή εντολών της κονσόλας:

ALTER TABLE location ADD CONSTRAINT location_geom_check CHECK (ST_IsValid(geom));

Πλέον θα μπορούμε μόλις εισάγουμε τα δεδομένα στις στήλες (γνωρίσματα) των πινάκων να κάνουμε τον απαραίτητο έλεγχο σε όλες τις γεωμετρίες των δεδομένων.

```
postgis_sample=# ALTER TABLE location ADD CONSTRAINT location_geom_check CHECK (
ST_IsValid(geom));
ALTER TABLE
postgis_sample=# _
```

Στιγμιότυπο 6: Προσθήκη πεδίου για τον έλεγχο εγκυρότητας της γεωμετρίας στο πίνακα location.

- Δημιουργία χωρικού ευρετηρίου με γενικευμένα δένδρα αναζήτησης (GiST) για τις γεωμετρίες με σημεία, πληκτρολογούμε αντίστοιχα:

CREATE INDEX location_idx ON public.location USING GIST (geom);

```
postgis_sample=# CREATE INDEX location_idx ON public.location USING GIST (geom);
CREATE INDEX
postgis_sample=# _
```

Στιγμιότυπο 7: Δημιουργία χωρικού ευρετηρίου.

Με την ίδια διαδικασία δημιουργούμε όλους τους πίνακες οντοτήτων μαζί με τα γνωρίσματά τους, με ιδιαίτερη προσοχή όπου χρειάζεται να εισαχθεί η στήλη γεωμετρίας.

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας ενός από τους βασικούς πίνακες οντοτήτων, θα προσπαθήσουμε να εισάγουμε μέσα στις στήλες των πινάκων οντοτήτων τα πρωτογενή δεδομένα από τις λιγνιτικές γεωτρήσεις. Για να γίνει αυτό, θα χρειαστεί η οργάνωση των πρωτογενών δεδομένων σε ένα υπολογιστικό φύλλο Excel.

Με την εισαγωγή της SQL εντολής: **insert into schema.table (...columns from Excel...) values (...data of each column in Excel...);**

εισάγουμε στον πίνακα οντοτήτων table της ομπρέλας οντοτήτων schema για κάθε γνώρισμα του πίνακα τις τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε στήλη στο Excel.

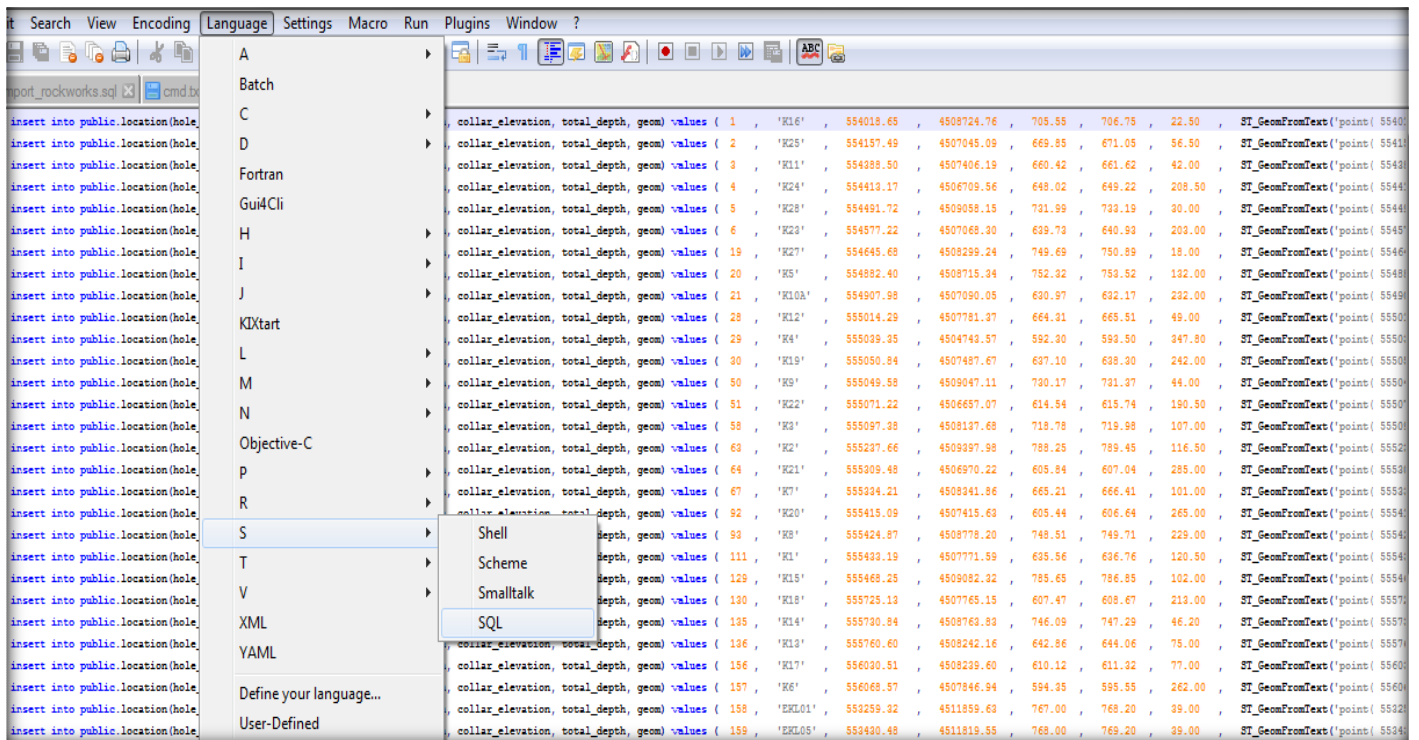
	hole_id	borehole	easting	northing	elevation	collar elevation	Total Depth	geom
insert into public.location(hole_id, borehole, easting, northing, e	1	"K16"	554018.65	4508724.76	705.55	706.75	22.50	, ST_GeomFromText('point(554018.65 4508724.76 705.55),4326));
insert into public.location(hole_id, borehole, easting, northing, e	2	"K25"	554157.49	4507045.09	669.85	671.05	56.50	, ST_GeomFromText('point(554157.49 4507045.09 669.85),4326));
insert into public.location(hole_id, borehole, easting, northing, e	3	"K11"	554388.50	4507406.19	660.42	661.62	42.00	, ST_GeomFromText('point(554388.50 4507406.19 660.42),4326));
insert into public.location(hole_id, borehole, easting, northing, e	4	"K24"	554413.17	4506709.56	648.02	649.22	208.50	, ST_GeomFromText('point(554413.17 4506709.56 648.02),4326));
insert into public.location(hole_id, borehole, easting, northing, e	5	"K28"	554491.72	4509058.15	731.99	733.19	30.00	, ST_GeomFromText('point(554491.72 4509058.15 731.99),4326));
insert into public.location(hole_id, borehole, easting, northing, e	6	"K23"	554577.22	4507068.30	639.73	640.93	203.00	, ST_GeomFromText('point(554577.22 4507068.30 639.73),4326));
insert into public.location(hole_id, borehole, easting, northing, e	19	"K27"	554645.68	4508299.24	749.69	750.89	18.00	, ST_GeomFromText('point(554645.68 4508299.24 749.69),4326));
insert into public.location(hole_id, borehole, easting, northing, e	20	"K5"	554882.40	4508715.34	752.32	753.52	132.00	, ST_GeomFromText('point(554882.40 4508715.34 752.32),4326));

Στιγμιότυπο 8: Οργάνωση πρωτογενών δεδομένων γεωτρήσεων σε φύλλο Excel.

Κάθε μια τέτοιας μορφής εντολή αντιπροσωπεύει κι ένα χωρικό ερώτημα στη βάση όπου μετά την επιτυχή υποβολή του θα εισάγει σε όλες τις στήλες των γνωρισμάτων του εκάστοτε πίνακα οντοτήτων τα δεδομένα από τις στήλες του φύλλου Excel.

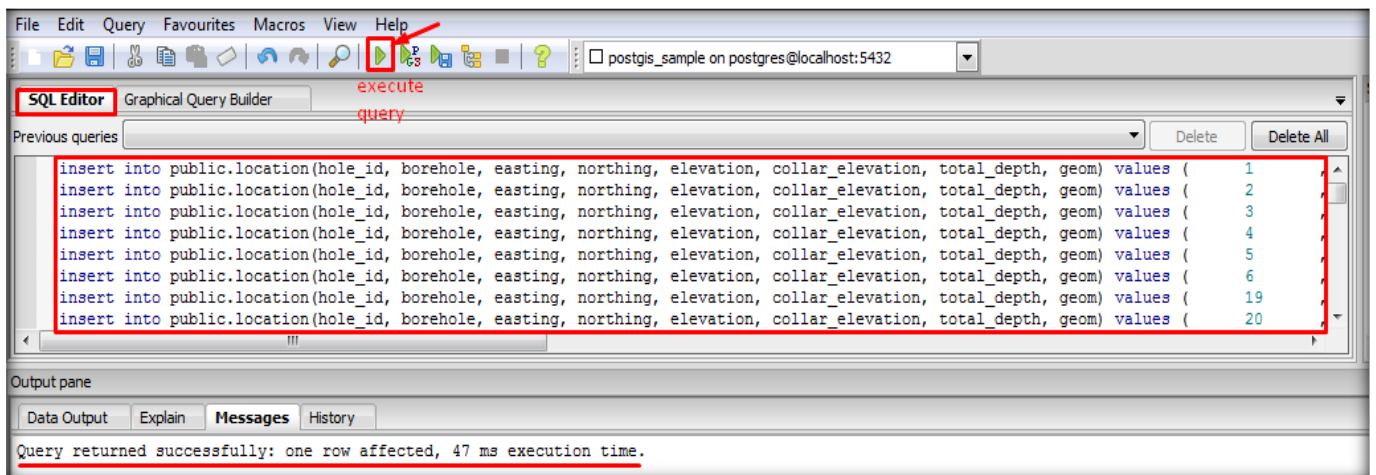
Η συνάρτηση ST_GeomFromText('point(X Y Z)', 4326) χρησιμοποιείται για να μετατρέψει μια γεωμετρία Well Known Text σε μια γεωμετρία PostGIS, ώστε να είναι αναγνωρίσιμη από το λογισμικό της βάσης, για τη μετατροπή από μια μορφοποίηση κειμένου που δίνει τις συντεταγμένες και ένα κωδικό από ένα χωρικό σύστημα αναφοράς. Έτσι, με αυτό το τρόπο η γεωμετρία για τα σημεία θα περαστεί στη στήλη των γεωμετρικών ενός γνωρίσματος.

Τα δεδομένα μετέπειτα εισέρχονται στο notepad ++ για την ορθότερη οργάνωση, δομή και αναπαράσταση του χωρικού ερωτήματος σε γλώσσα SQL, για την τελική μεταφορά του χωρικού αυτού ερωτήματος εκτέλεσή του στο μενού της εκτέλεσης αυθαίρετων SQL ερωτημάτων από το περιβάλλον pgAdmin με σκοπό την τελική εισαγωγή των δεδομένων στις στήλες ιδιοτήτων που μόλις πριν δημιουργήσαμε.



Στιγμιότυπο 9: Ανάλυση του χωρικού ερωτήματος σε notepad ++ για την αποτελεσματικότερη επεξεργασία και κατανόησή του σε γλώσσα SQL.

Αφού εισάγουμε στο μενού SQL το χωρικό ερώτημα που θα δώσει την εντολή για την εισαγωγή όλης της χωρικής πληροφορίας στις στήλες των πινάκων-οντοτήτων, εκτελούμε το ερώτημα με την εντολή **Execute query**. Αν δε προκύψει κάποιο σφάλμα με τη κωδικοποίηση του ερωτήματος, τότε θα πρέπει να έχει σταλεί ως απαντητικό μήνυμα στο παράθυρο εξόδου το εξής: «*Query returned successfully*». Η πρωταρχική εισαγωγή χωρικών δεδομένων στη βάση, έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία.



Στιγμιότυπο 10: Εκτέλεση του χωρικού ερωτήματος απο το μενού SQL του pgAdmin για την εισαγωγή των δεδομένων στους πίνακες οντοτήτων της βάσης.

Για την επαλήθευση, ο πιο απλούστερος τρόπος για να δούμε τις στήλες γνωρισμάτων με τα δεδομένα που περιέχει ένας πίνακας οντοτήτων επιλέγουμε **View Data >> View All**

ROWS από τις επιλογές του πίνακα οντοτήτων σε παραθυρικό περιβάλλον. Επισημαίνεται ότι, σε κάθε στήλη αναφέρεται και ο τύπος των δεδομένων (integer, varchar, float, κ.λπ.) που έχουμε ορίσει κατά τη δημιουργία των πινάκων καθώς επίσης και το αν έχει οριστεί ως πρωτεύον κλειδί (PK → primary key) ένα γνώρισμα του πίνακα οντοτήτων.

	hole_id [PK] integer	borehole character vai	easting double precis	northing double precis	elevation double precis	collar_elevat double precis	total_depth double precis	geom geometry(PointZ,4326)
1	1	K16	554018.65	4508724.76	705.55	706.75	22.5	01010000A0E6100000CDCCCC4C45E8204
2	2	K25	554157.49	4507045.09	669.85	671.05	56.5	01010000A0E6100000AE47E1FA5AE9204
3	3	K11	554388.5	4507406.19	660.42	661.62	42	01010000A0E61000000000000029EB204
4	4	K24	554413.17	4506709.56	648.02	649.22	208.5	01010000A0E6100000713D0A575AEB204
5	5	K28	554491.72	4509058.15	731.99	733.19	30	01010000A0E61000000AD7A370F7EB204
6	6	K23	554577.22	4507068.3	639.73	640.93	203	01010000A0E61000000AD7A370A2EC204
7	19	K27	554645.68	4508299.24	749.69	750.89	18	01010000A0E6100000C3F5285C2BED204
8	20	K5	554882.4	4508715.34	752.32	753.52	132	01010000A0E6100000CDCCCCC04EF204
9	21	K10A	554907.98	4507090.05	630.97	632.17	232	01010000A0E61000005C8FC2F537EF204
10	28	K12	555014.29	4507781.37	664.31	665.51	49	01010000A0E610000048E17A940CF0204
11	29	K4	555039.35	4504743.57	592.3	593.5	347.8	01010000A0E6100000333333B33EF0204
12	30	K19	555050.84	4507487.67	637.1	638.3	242	01010000A0E6100000E17A14AE55F0204
13	50	K9	555049.58	4509047.11	730.17	731.37	44	01010000A0E61000008FC2F52853F0204
14	51	K22	555071.22	4506657.07	614.54	615.74	190.5	01010000A0E6100000AD7A3707EF0204
15	58	K3	555097.38	4508137.68	718.78	719.98	107	01010000A0E6100000295C8FC2B2F0204
16	63	K2	555237.66	4509397.98	788.25	789.45	116.5	01010000A0E61000001F85EB51CBF1204
17	64	K21	555309.48	4506970.22	605.84	607.04	285	01010000A0E61000005C8FC2F55AF2204
18	67	K7	555334.21	4508341.86	665.21	666.41	101	01010000A0E6100000B81E856B8CF2204
19	92	K20	555415.09	4507415.63	605.44	606.64	265	01010000A0E6100000E17A142E2EF3204
20	93	K8	555424.87	4508778.2	748.51	749.71	229	01010000A0E6100000D7A370B41F3204

Στιγμιότυπο 11: Καταγραφές δεδομένων στις στήλες του πίνακα της βάσης.

Έλεγχος εγκυρότητας γεωμετρίας των δεδομένων

Τελειώνοντας, αξίζει να σημειωθεί πως κρίνεται επιτακτικά απαραίτητο να γίνει ο έλεγχος στην εγκυρότητα των γεωμετριών σε όσους πίνακες υπάρχουν στήλες με γεωμετρίες (location, faults) με τη χρήση της ακόλουθης συνάρτησης-εντολής, εισάγοντάς την από το μενού SQL Editor του διαχειριστικού εργαλείου PgAdmin, όπως και οποιαδήποτε άλλη εντολή:

ST_IsValidReason()

SELECT my_key , ST_IsValidReason(my_geom) AS validity_info

FROM my_table;

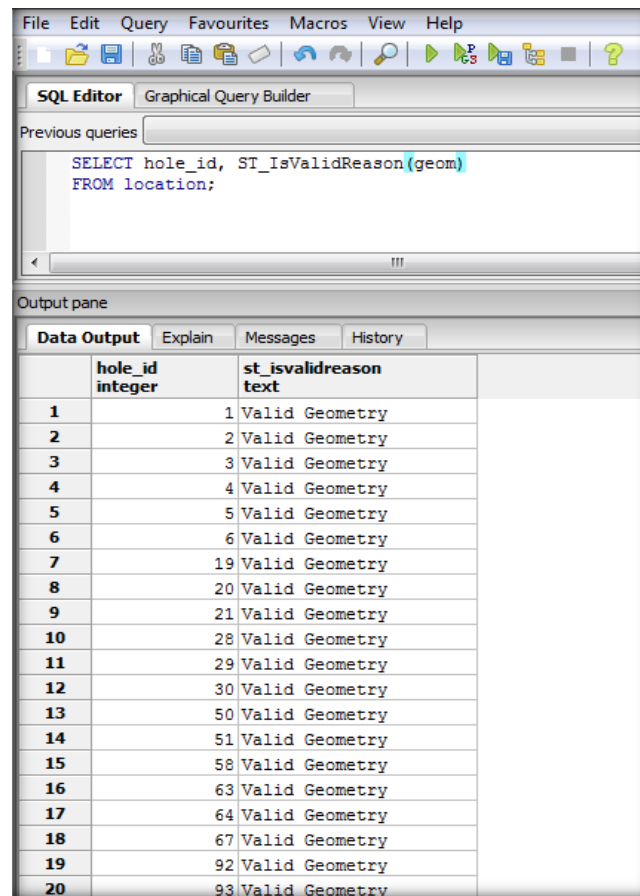
,όπου my_geom είναι το γεωμετρικό πεδίο στον πίνακα my_table και my_key το πεδίο που αντιστοιχεί στο πρωτεύον κλειδί των εγγραφών του πίνακα,

είτε ακόμα πιο συνοπτικά για την εγκυρότητα όλων των γεωμετριών, ακολούθως από την συνάρτηση-εντολή:

SELECT id, ST_IsValidReason(geom)

FROM location;

Με αυτό το τρόπο εξασφαλίζουμε την αναγνωρισιμότητα της γεωμετρίας των χωρικών δεδομένων της βάσης από οποιοδήποτε χαρτογραφικό λογισμικό που υποστηρίζει χωρικού τύπου δεδομένα.



```
SELECT hole_id, ST_IsValidReason(geom)
FROM location;
```

hole_id integer	st_isvalidreason text
1	Valid Geometry
2	Valid Geometry
3	Valid Geometry
4	Valid Geometry
5	Valid Geometry
6	Valid Geometry
7	Valid Geometry
8	Valid Geometry
9	Valid Geometry
10	Valid Geometry
11	Valid Geometry
12	Valid Geometry
13	Valid Geometry
14	Valid Geometry
15	Valid Geometry
16	Valid Geometry
17	Valid Geometry
18	Valid Geometry
19	Valid Geometry
20	Valid Geometry

Στιγμιότυπο 12: Έλεγχος εγκυρότητας στις γεωμετρίες σε κάθε πίνακα οντοτήτων.

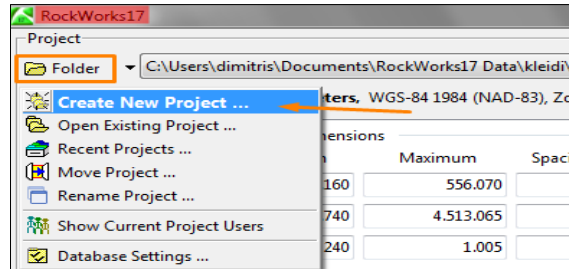
Η βάση αντικειμενο-σχεσιακού μοντέλου χωρικών δεδομένων είναι πλέον έτοιμη για τη μοντελοποίηση των γεωτρητικών της δεδομένων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΙΙ

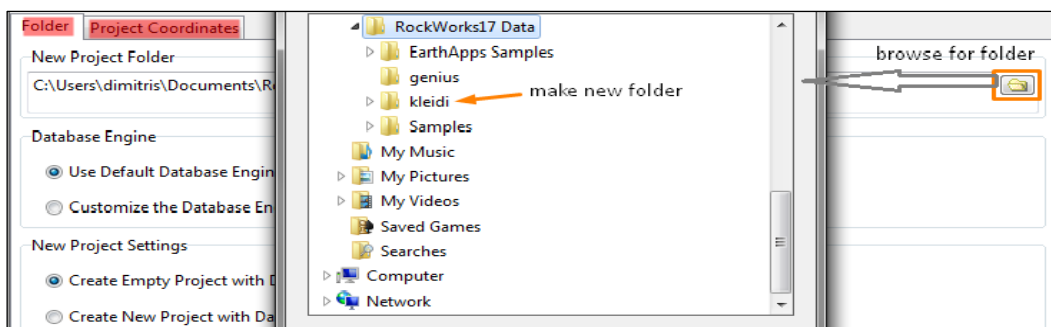
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Δημιουργία νέου έργου προς μοντελοποίηση

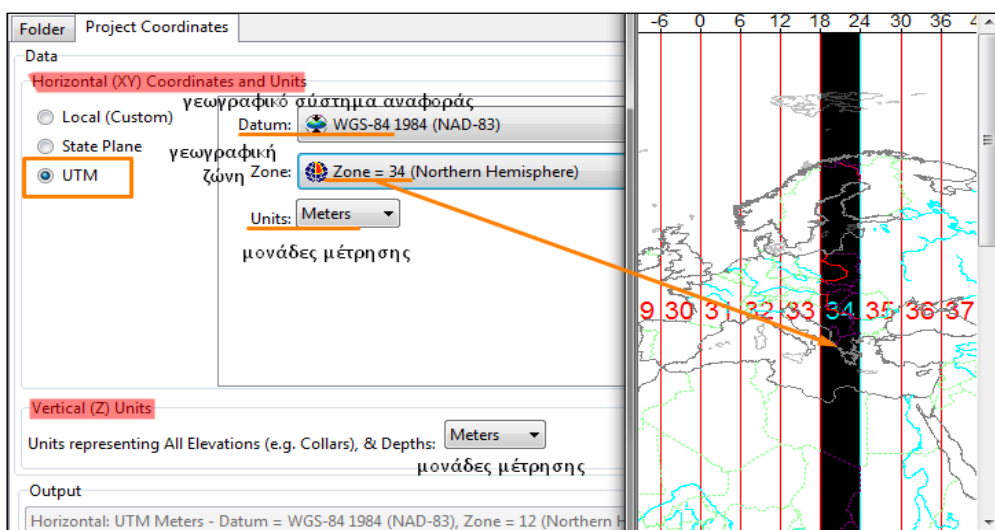
-- Ξεκινώντας, επιλέγουμε τη δημιουργία νέου έργου:



➤ Στο αναδυόμενο παράθυρο στη καρτέλα Folder, δημιουργούμε το φάκελο στον οποίο θα αποθηκεύονται όλα τα αρχεία που θα επεξεργαστούμε και θα εξάγουμε από το λογισμικό:



➤ Στην καρτέλα Project Coordinates, καθορίζουμε το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (datum), τη γεωγραφική ζώνη καθώς και τις μονάδες μέτρησής του, έχοντας επιλέξει ως προβολικό σύστημα την Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική (UTM) που θα έχει το έργο:

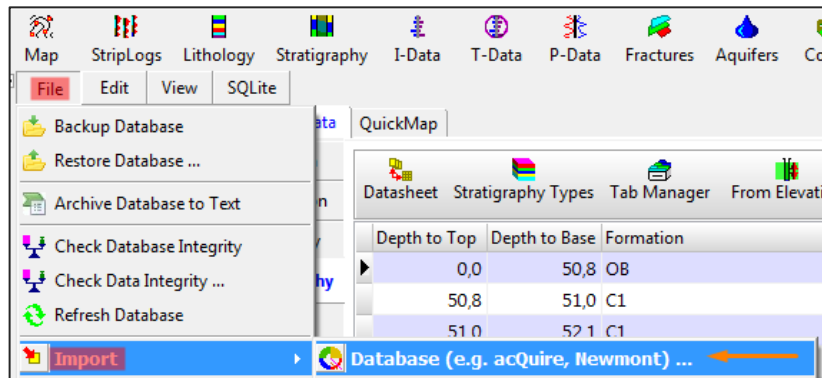


Σύνδεση βάσης δεδομένων PostgreSQL με το λογισμικό

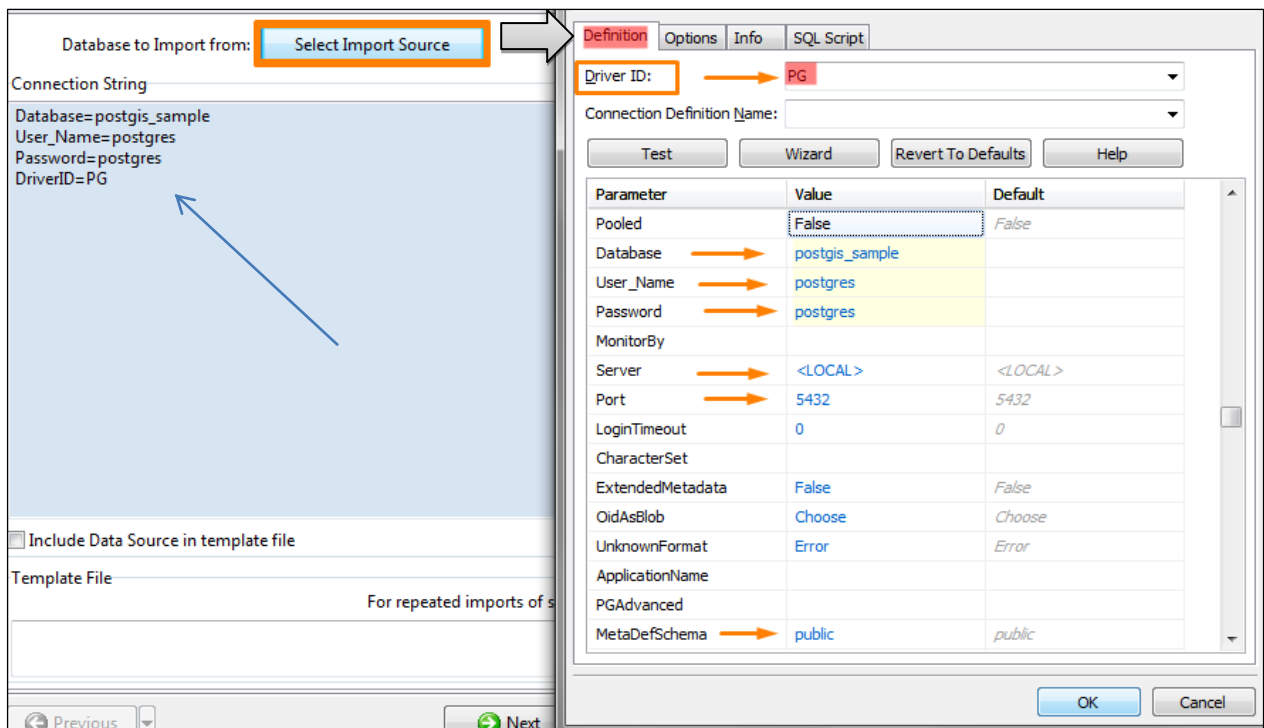
Για τη καλύτερη αξιοποίηση της χωρικής πληροφορίας θα δημιουργήσουμε σύνδεση της δημιουργηθείσας βάσης PostgreSQL Με το λογισμικό RockWorks 17, μιας και αυτή η δυνατότητα είναι εφικτή από τη τελευταία έκδοση του εν λόγω εμπορικού λογισμικού.

-- Σύνδεση με postgresql βάση και εισαγωγή χωρικών δεδομένων στην ενότητα Borehole Manager, καθώς η υποστήριξη των βάσεων δεδομένων PostgreSQL και κατ' επέκταση η διαχείριση της χωρικής πληροφορίας, είναι διαθέσιμη μέσω της συγκεκριμένης έκδοσης λογισμικού:

- επιλογή τρόπου εισαγωγής δεδομένων από Database:



➤ από το εμφανιζόμενο παράθυρο επιλέγουμε τη πηγή (**PG:PostgreSQL**) από την οποία θα γίνει η σύνδεση με τη βάση χωρικών δεδομένων για την εισαγωγή των δεδομένων και ορίζουμε στη καρτέλα Definition τις παραμέτρους σύνδεσης με την ήδη εγκατεστημένη Postgresql βάση μας:



➤ στη καρτέλα Data Coordinates, επιλέγουμε ομοίως -όπως και προηγουμένως- για τα δεδομένα εισαγωγής από ποιο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς, γεωγραφική ζώνη και μονάδες μέτρησης αυτών, χαρακτηρίζονται:

The screenshot shows the 'Data Coordinates' tab with the following settings:

- Imported Data Coordinate System:** UTM (Meters)
- Project Values:** UTM Meters, WGS-84 1984 (NAD-83), Zone: 34
- Horizontal Coordinate System Settings:**
 - Datum:** WGS-84 1984 (NAD-83)
 - Zone:** 34 (Northern Hemisphere)
- Vertical Values Settings:**
 - Imported Values:** Meters
 - Project Values:** Meters

➤ δημιουργία αντίστοιχων «πινάκων δεδομένων» (επιλογή Location table) στον Borehole Manager ανάλογα με τη θεματική περιοχή των δεδομένων εισαγωγής, με τους πίνακες των χωρικών δεδομένων της Postgresql βάσης, από τη καρτέλα Block Selection:

The 'Select Location Information Table' dialog box contains the following elements:

- Title:** Select Location Information Table
- Instruction:** Map the Borehole location information (it should all come from the same table.)
- Dropdown:** Choose the table for Location data: (indicated by a red arrow)
- Button:** New RW Field
- Table:**

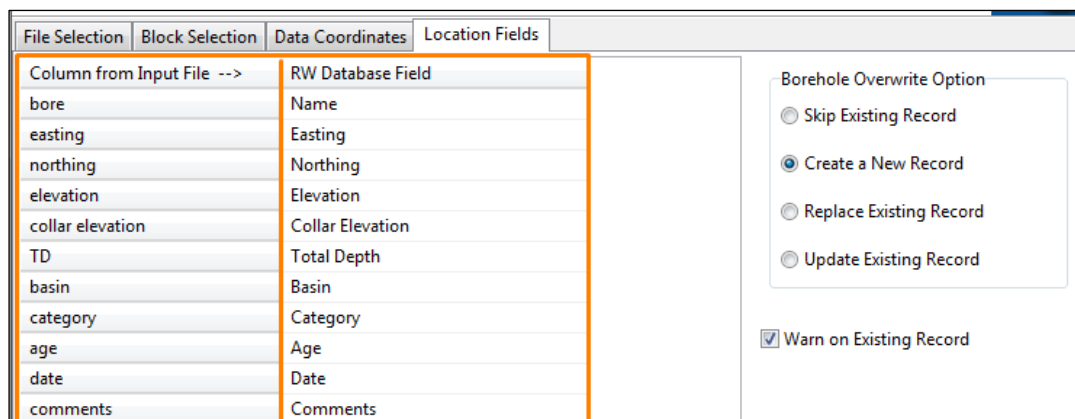
Required RW Fields	Field to Import
Name	
Enabled	
Easting	
Northing	
Elevation	
TotalDepth	
Longitude	
- Available Fields:** A list of fields with left and right arrow buttons.

➤ επιλογή πρωτεύοντος κλειδιού για τον πίνακα:

The screenshot shows a table configuration interface with the following details:

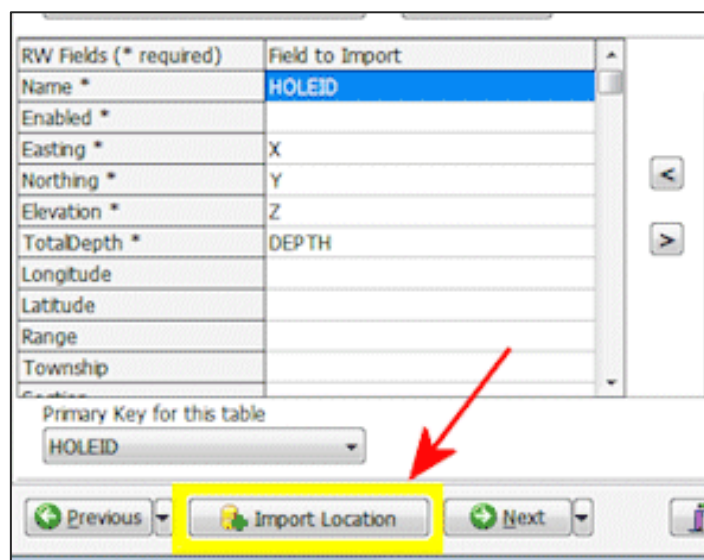
- Table Columns:** Section, Legal, Meridian, API, Project, Comments.
- Buttons:** Clear Import Fields, View Table Data.
- Primary Key:** Primary Key for this table: HOLEID (indicated by a red arrow).

➤ αντιστοιχίζουμε από τα διαθέσιμα πεδία (Available Fields) τα πεδία που αντιπροσωπεύουν τις στήλες των δεδομένων των πινάκων της βάσης με τις στήλες των πινάκων του Borehole Manager



➤ αν για κάποιο λόγο θέλουμε να εισάγουμε νέο πεδίο (σχετικό με το δικό μας project π.χ. λεκάνη σχηματισμού), επιλέγουμε New RW Field

➤ μόλις ολοκληρωθεί η αντιστοίχιση των στηλών με τα δεδομένα της βάσης στον Borehole Manager, για να χαρτογραφηθούν τα δεδομένα αλλά και για να επικυρωθεί η εισαγωγή του πίνακα οντοτήτων στο πρόγραμμα, επιλέγουμε το κουμπί Import Locations (το ίδιο βήμα θα επαναληφθεί για όλους τους πίνακες δεδομένων που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα):



Ακολουθούμε την ίδια τακτική εισαγωγής αντιστοιχων στηλών πινάκων βάσης γεωχωρικών δεδομένων με στήλες πινάκων δεδομένων Borehole Manager.

Διαστασιολόγηση Πλέγματος για τη Μοντελοποίηση των γεωτρητικών Δεδομένων

Τα δεδομένα πλέον έχουν εισαχθεί στην ενότητα Borehole Manager και μπορούμε να ξεκινήσουμε την ανάλυση, επεξεργασία κι αξιοποίησή τους μέσω των εργαλείων του λογισμικού RW17.

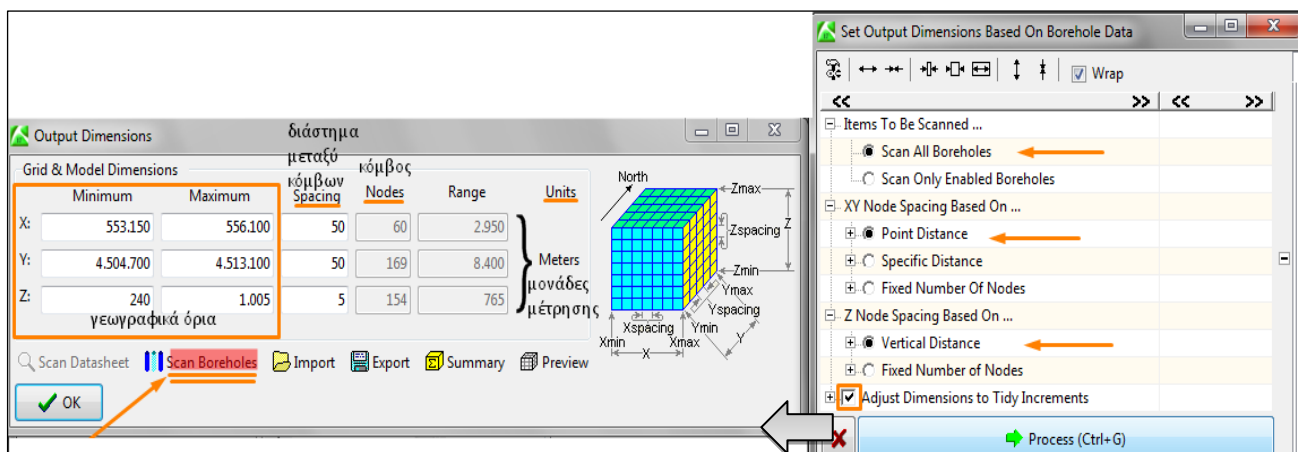
Προτού προχωρήσουμε με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των εργαλείων του Borehole Manager, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό να γίνει η διαστασιολόγηση του καννάβου καθώς έτσι θα μπορεί το λογισμικό να ορίσει:

- ii) τα όρια των συντεταγμένων της περιοχής μελέτης,
- iii) τη διαστασιολόγηση του χωρικού μοντέλου (model dimensions) – τα άκρα τους (Xmax/Xmin, Ymax/Ymin, Zmax/Zmin) και τη πυκνότητα των κόμβων (node spacing) του πλέγματος, τα οποία επηρεάζουν τη ποιότητα της παρεμβολής και το χρόνο επεξεργασίας της μοντελοποίησης,
- iv) τον τύπο των γεωγραφικών συντεταγμένων,
- v) τις μονάδες μέτρησης των γεωγραφικών συντεταγμένων των οποίων αναφέρονται.

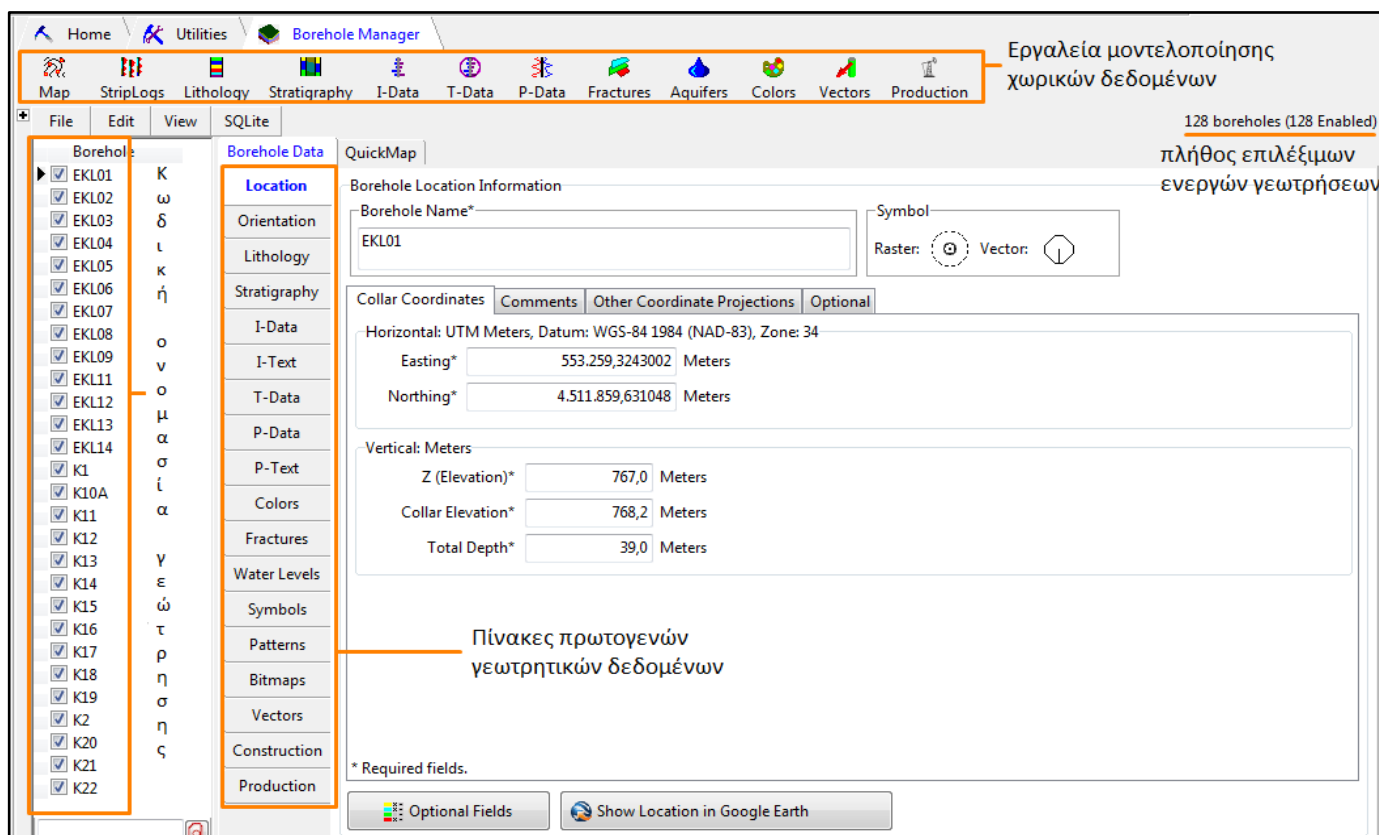
-- Η διαστασιολόγηση του καννάβου επιτυγχάνεται με την εντολή **Scan Boreholes** της καρτέλας Dimensions από το μενού Project.

Από το αναδυόμενο υπομενού επιλέγουμε:

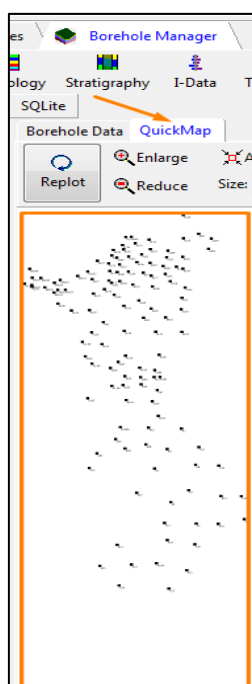
- ❖ να σαρωθούν όλες οι γεωτρήσεις, ώστε να οριστεί το γεωγραφικό πλαίσιο,
- ❖ να ορίσουμε τον τρόπο με τον οποίο η οριζόντια και κατακόρυφη ανάλυση του χωρικού μοντέλου θα πρέπει να καθοριστεί με βάση:
 - **Point Distance** → η απόσταση μεταξύ των κόμβων βασίζεται στη μέση ελάχιστη απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων.
 - **Vertical Distance** → η πραγματική απόσταση μεταξύ των κόμβων κατά μήκος του άξονα z.
- ❖ να είναι τσεκαρισμένο το **Adjust Dimensions to Tidy Increments**, έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ των κόμβων να στρογγυλοποιηθεί σε εύλογο αριθμό και τα όριά τους θα πρέπει να αυξηθούν τόσο ώστε να είναι πολλαπλάσια της απόστασης μεταξύ των κόμβων, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζεται ότι όλα τα σημεία περικλείονται από τα νέα γεωγραφικά όρια.



Εφόσον ολοκληρωθεί η διαστασιολόγηση του καννάβου, αξίζει να αναφερθεί ο τρόπος με τον οποίο έχουν οργανωθεί, πλέον, τα δεδομένα εισαγωγής των λιγνιτικών γεωτρήσεων στην ενότητα διαχείρισης Borehole Manager:

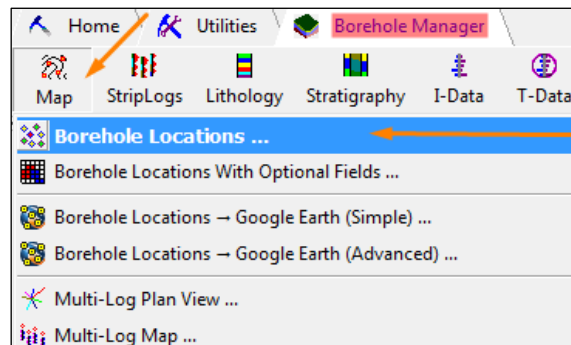


Σε μια πρώτη επαλήθευση για τα χαρτογραφικά μας δεδομένα εάν έχουν την ορθή γεωμετρία και γεωγραφική εντοπιότητα, μπορούμε να κάνουμε μια γρήγορη προεπισκόπηση μέσω της υποενότητας QuickMap από το μενού εργαλείων του Borehole Manager:



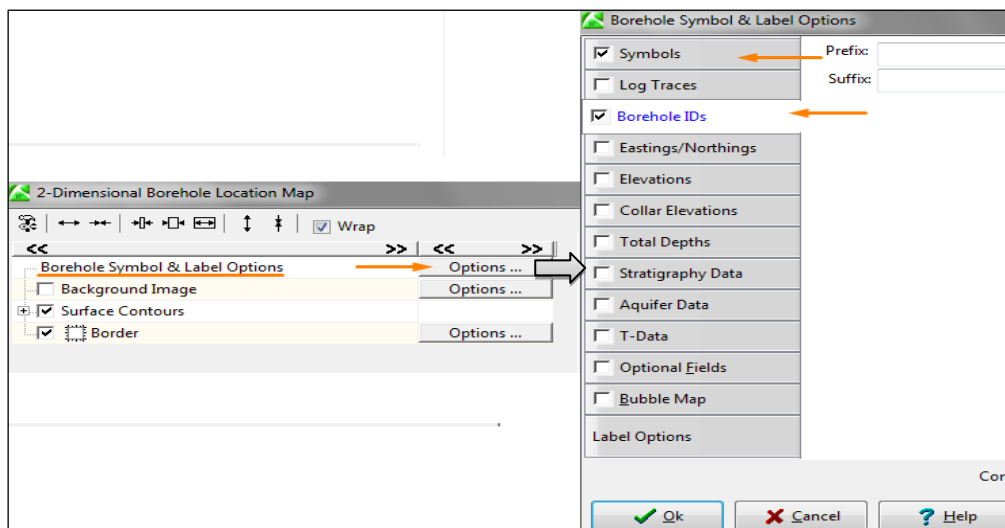
Χαρτοσύνθεση Θέσεων Λιγνιτικών Γεωτρήσεων – Οπτικοποίηση και Σύνδεση με Google Earth

-- Χρήση του εργαλείου Borehole's Manager Map | Borehole Locations για τη χαρτοσύνθεση 2-διαστάσεων της κάτοψης της τοποθεσίας των γεωτρήσεων:

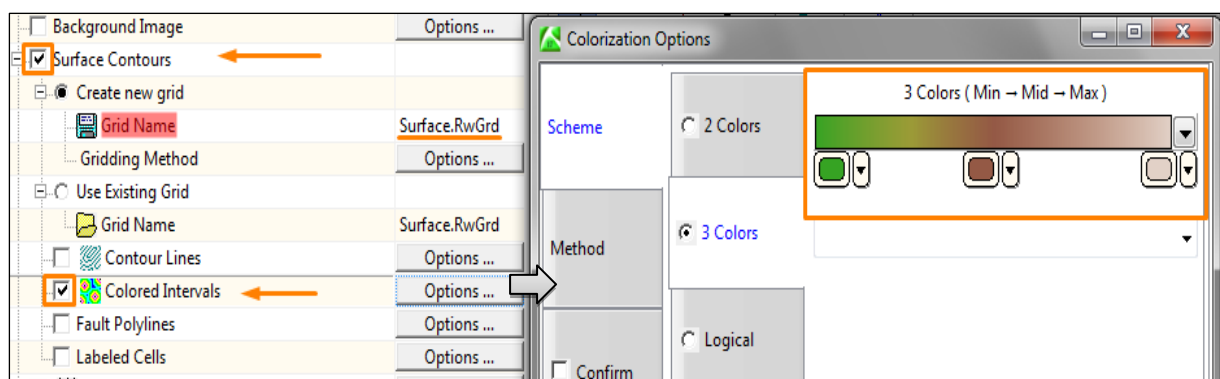


❖ Από το εμφανιζόμενο παράθυρο:

α) ενεργοποιούμε μέσω των ετικετών την εμφάνιση των συμβόλων και της κωδικοποίησης της ονομασίας των γεωτρήσεων στο χάρτη:

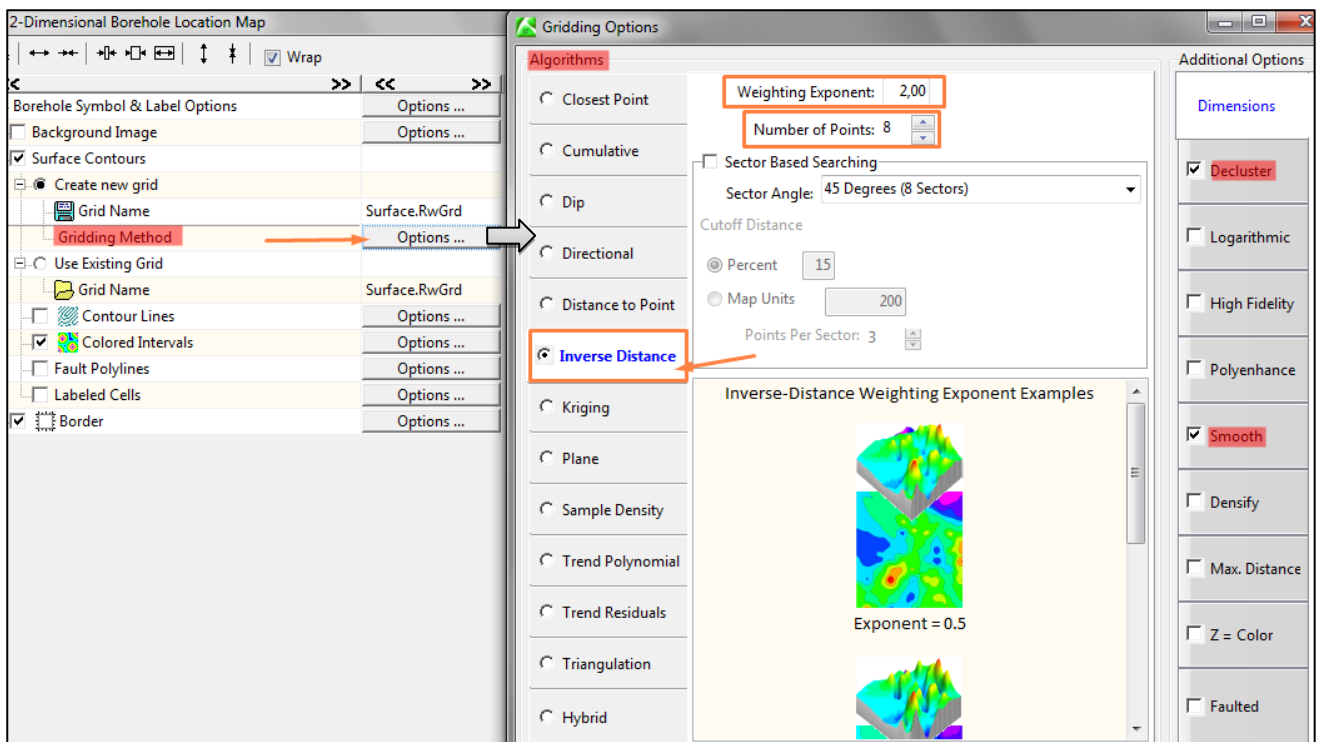


β) παράγουμε ένα μοντέλο κανάβου για τη δημιουργία χάρτη ισοϋψών των υψομέτρων που έχουν δηλωθεί στις γεωτρήσεις και για την ορθότερη οπτικοποίηση επιλέγουμε colored intervals, με κατάλληλη χρωματική διαβάθμιση:

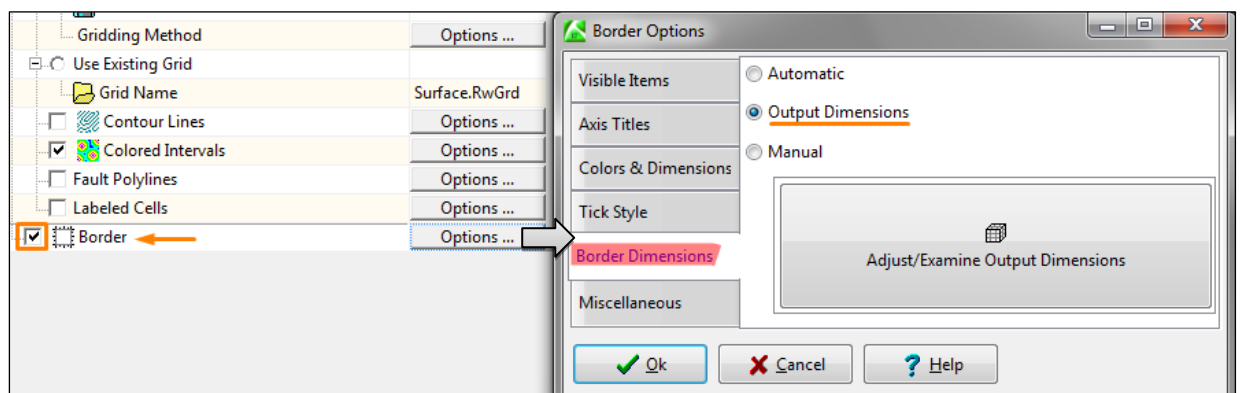


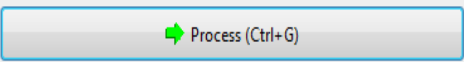
Σε αυτό το σημείο σημασία έχει να επισημάνουμε πώς η κατάληξη του ονόματος του επιφανειακού μοντέλου που θα εξαχθεί από τη παραπάνω διαδικασία θα πρέπει να είναι πάντα με επέκταση ονόματος αρχείου **.RwGrd** καθότι θα αποτελέσει τη βάση και για τη δημιουργία όλων των επόμενων επιφανειακών μοντέλων καθώς και τη μεταξύ τους σύγκριση.

Επιλέγεται ως διαδικασία κανναβοποίησης ο αλγόριθμος των Αντιστρόφων Αποστάσεων (Inverse Distance) με εισηγμένο εκθέτη «2» (Αντιστρόφων του τετραγώνου της απόστασης) και αριθμό σημείων ελέγχου για τη παρεμβολή των κόμβων «8» καθώς επίσης και με επιρόσθετες παραμέτρους την αποσυσταδοποίηση (Decluster) και την απλοποίηση (Smooth), με βάση τη διαστασιολόγηση του πλέγματος που έχει γίνει.

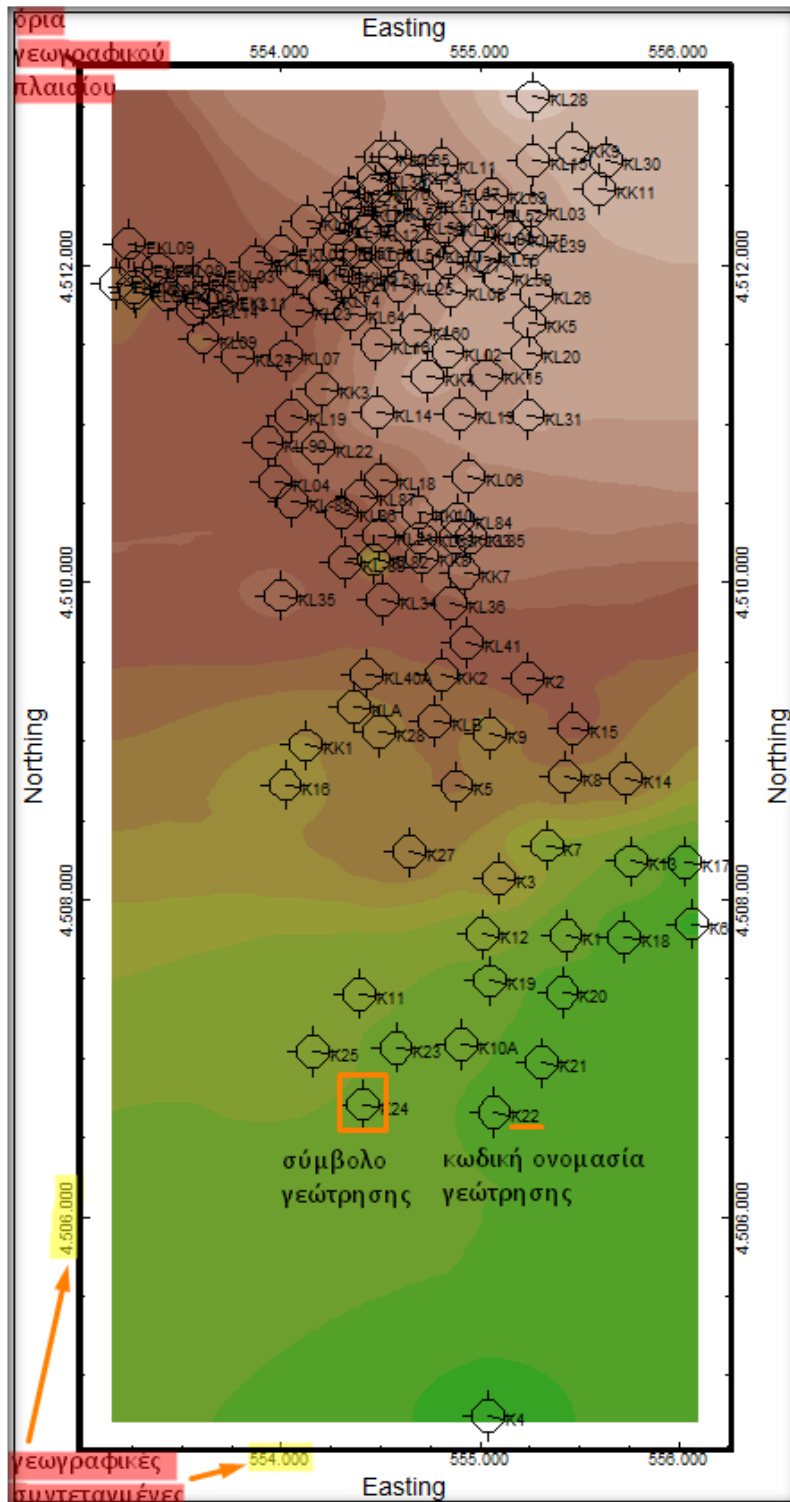


γ) ορίζουμε γεωγραφικό πλαίσιο συντεταγμένων, μονάδες μέτρησης και διαστασιολόγηση των συστημάτων αναφοράς των συντεταγμένων στο χάρτη:



Πατώντας το κουμπί της διεργασίας  έχουμε τη δημιουργία ενός επιφανειακού δισδιάστατου μοντέλου με τα υψόμετρα το οποίο έχει

δημιουργήσει ένα χάρτη με τη τοποθεσία των γεωτρήσεων, διαβάζοντας τις πληροφορίες τοποθεσίας, το στυλ του συμβόλου, και την κωδική ονομασία της κάθε γεώτρησης από τη καρτέλα Location και απεικονίζεται στο παράθυρο RockPlot2D, όπως όλα τα επίπεδα και 2-διαστάσεων μοντέλα που παράγονται:

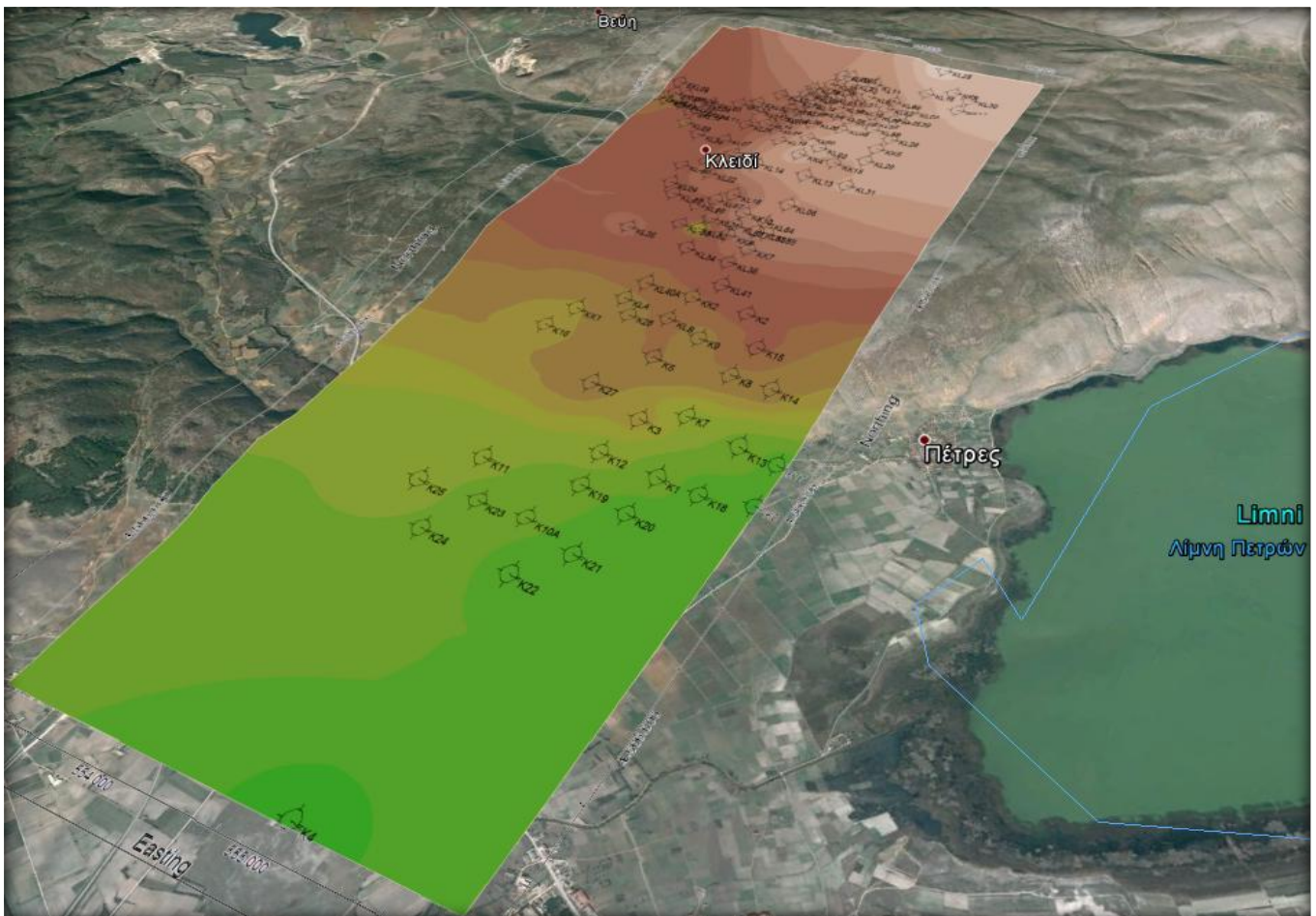
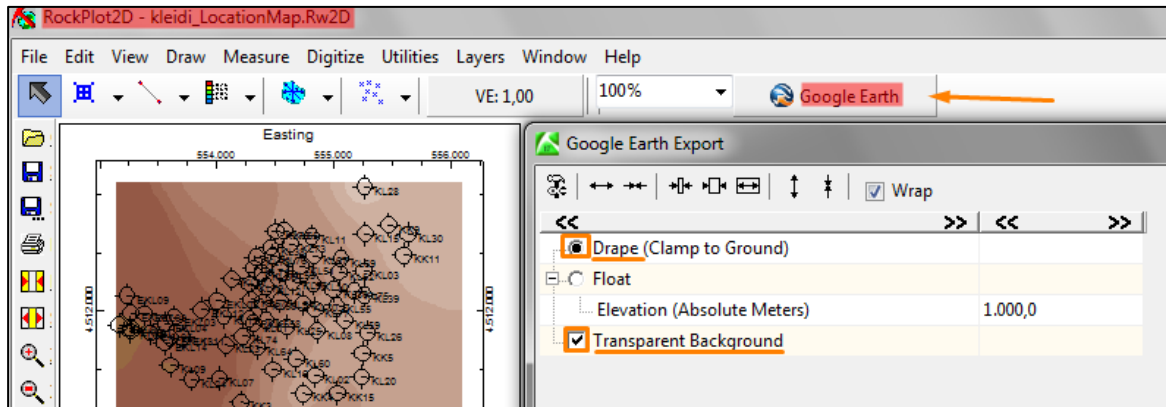


Η επιλογή της συγκεκριμένης χρωματικής διαβάθμισης έγινε για την ορθότερη απεικόνιση, δηλαδή για να γίνεται περισσότερο αντιληπτή η αίσθηση της εναλλαγής της πληροφορίας των υψομέτρων που είναι εισηγμένη στις στήλες των πινάκων των δεδομένων.

-- Για την αποθήκευση του χάρτη (KMZ αρχείο) στον υπολογιστή μας και για τη δημοσίευσή του μέσω της Google Earth,

από το παράθυρο RockPlot2D, επιλέγουμε το κουμπί της Google Earth κι από το εμφανιζόμενο παράθυρο:

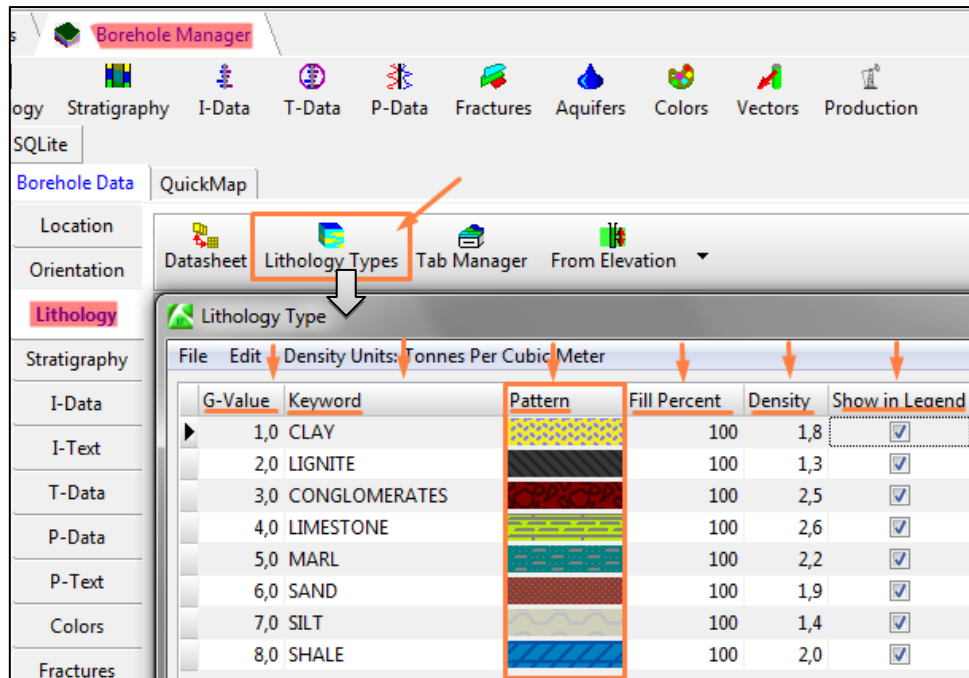
❖ Επιλέγουμε **Drape**, ούτως ώστε ο χάρτης να ξεδιπλωθεί κατά μήκος του εδάφους, τσεκάρουμε την επιλογή **Transparent Background**, έτσι ώστε τα λευκά τμήματα του χάρτη να γίνονται αόρατα και εκτελούμε τη διαδικασία με το κουμπί Process.



Δημιουργία γεωλογικών Μοτίβων Στρωματογραφίας

Αρχικά κι εφόσον έχει εισαχθεί η πληροφορία της λιθολογίας των στρωμάτων στον πίνακα δεδομένων Lithology, δημιουργούμε κι επεξεργαζόμαστε τα μοτίβα με τα οποία θα οπτικοποιούνται τα στρώματα των λιθολογικών σχηματισμών.

-- Από το μενού εργαλείων Borehole Manager, επιλέγουμε τη καρτέλα με τον πίνακα δεδομένων Lithology κι ανοίγουμε τον πίνακα **Lithology Types**, για να επεξεργαστούμε τα μοτίβα λιθολογίας:



Η καθεμία από τις στήλες του πίνακα Lithology Types μας δίνουν την εξής πληροφορία:

❖ **G-Value** → Απαριθμεί μια μοναδική αριθμητική τιμή ώστε να υπάρχει ταξινόμηση σε κάθε τύπο πετρώματος. Δεδομένου ότι το RockWorks δημιουργεί ένα στερεό μοντέλο των γεωλογικών σχηματισμών, οι κόμβοι θα αντιστοιχιστούν σε αυτές τις αριθμητικές τιμές αντί για τις λέξεις «άργιλος» ή «χώμα». Στο τελικό μοντέλο, τότε, όλες οι ζώνες «χώμα» θα κωδικοποιούνται με ένα "6.0", οι ιλύες με ένα "8.0", η άργιλος με το "1.0", και ούτω καθεξής. Είναι πολύ σημαντικό, εάν πρόκειται να συγκριθούν τα μοντέλα διαφόρων έργων, θα πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι σε κάθε διαφορετικό γεωλογικό σχηματισμό αλλά ταυτόχρονα και κοινό για κάθε διαφορετικό έργο, να αντιστοιχεί η ίδια αριθμητική τιμή G.

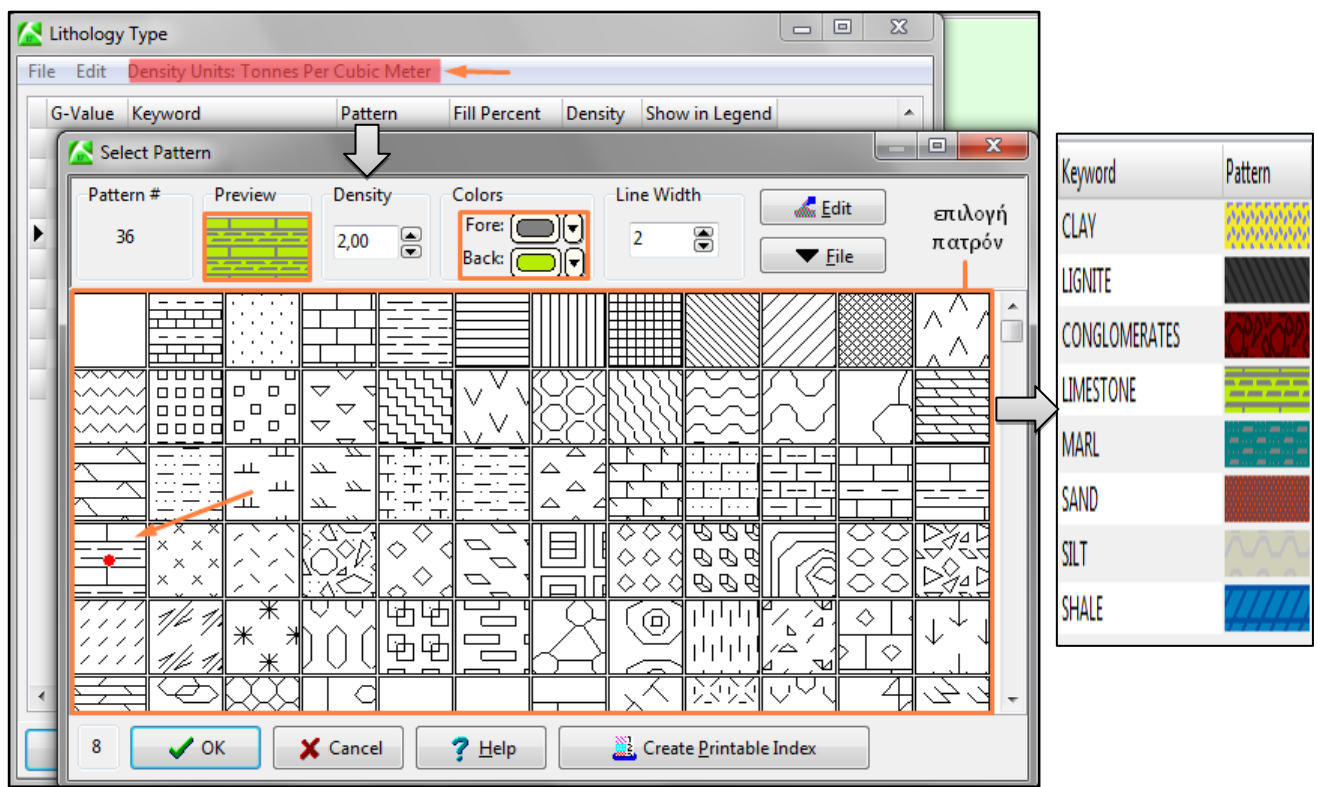
❖ **Keyword** → Απαριθμεί την ονομασία του κάθε πετρώματος ή ονόματα τύπων εδάφους.

SAND	Χώμα
SILT	Ιλύες
LIGNITE	Λιγνίτης
LIMESTONE	Ασβεστόλιθος
CLAY	Άργιλος
CONGLOMERATES	Κροκαλοπαγές
SHALE	Σχιστόλιθος
MARL	Μάργα

- ❖ Pattern → Ορίζει ένα συγκεκριμένο μοτίβο με συγκεκριμένα χρώματα και τύπο (πατρών) για κάθε συγκεκριμένο τύπο πετρώματος.
- ❖ Fill Percent → Καθορίζει πόσο από το διαθέσιμο χώρο το μπλοκ (λιθόστρωμα) του μοτίβου θα πρέπει να καταλάβει στη καταγραφή της γεωτρητικής στήλης (λιγότερο από 100% σημαίνει ότι μπορεί να εμφανίζεται διάβρωση/αποσάθρωση).
- ❖ Density → Η πυκνότητα του πετρώματος - χρησιμοποιείται μόνο για τον υπολογισμό της μάζας/όγκου.
- ❖ Show in Legend → Χρησιμοποιείται για να καθορίσουμε αν ο αντίστοιχος λιθολογικός σχηματισμός πρόκειται να συμπεριληφθεί στα υπομνήματα σε κάθε διάγραμμα.

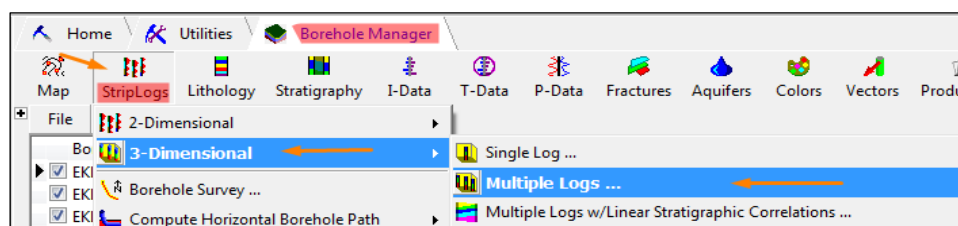
➤ Καθορισμός μοτίβων για κάθε τύπο πετρώματος.

Εφόσον ορίσουμε τις μονάδες μέτρησης για τη πυκνότητα των πετρωμάτων, διαλέγουμε σε ποιον τύπο πατρών θα αντιστοιχεί κάθε μοτίβο λιθολογικού σχηματισμού:



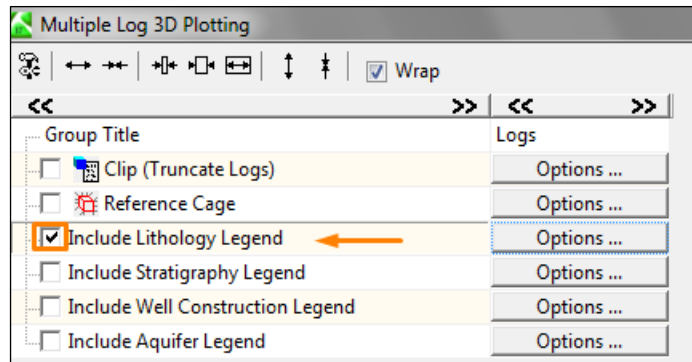
Δημιουργία 3-D Στρωματογραφίας Γεωτρητικών Στηλών

-- Από το μενού εργαλείων Borehole Manager, επιλέγουμε το εργαλείο **Striplogs** και ακολούθως την εντολή **3-Dimensional | Multiple Logs**.



➤ Από το αναδυόμενο παράθυρο, διακρίνουμε αρκετά τμήματα:

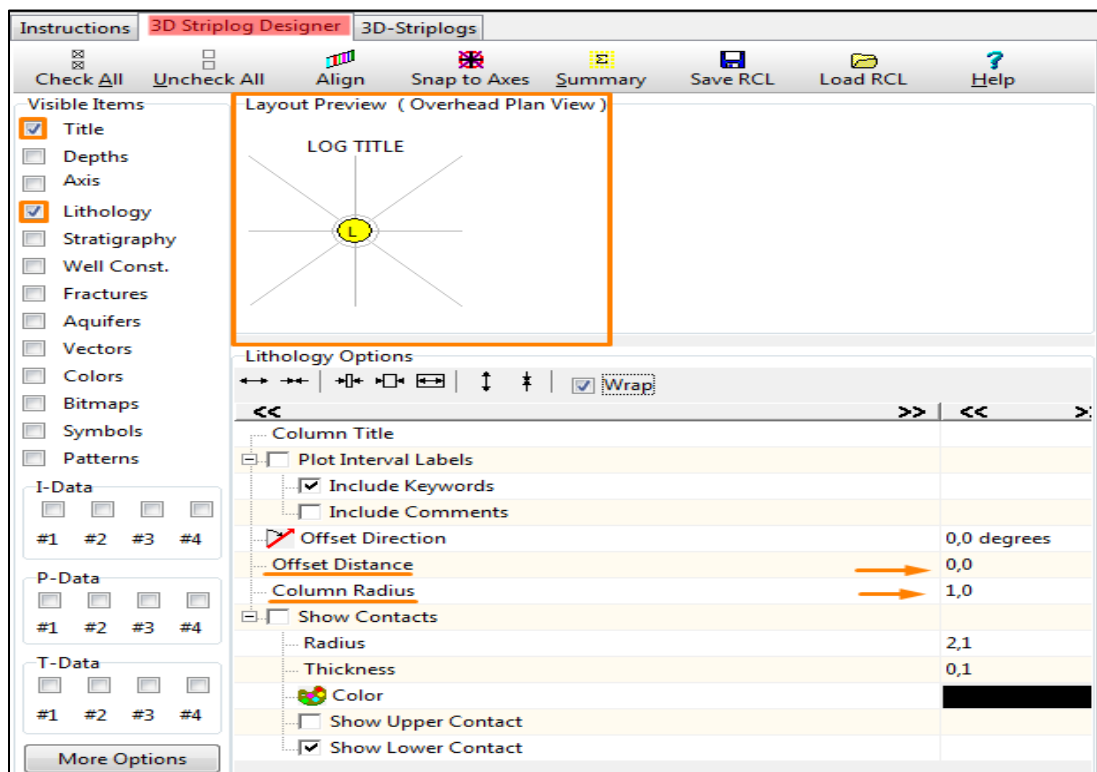
- Στο αριστερό μέρος, όπου εισάγουμε τις παραμέτρους κατασκευής του διαγράμματος, τσεκάροντας μόνο την επιλογή **Include Lithology Legend**, για την εισαγωγή των χρωμάτων από τα μοτίβα και της κωδικής ονομασίας των λιθολογικών σχηματισμών στο υπόμνημα του διαγράμματος.



- Στο κύριο μέρος, επιλέγοντας τη καρτέλα **3D Striplog Designer** τσεκάρουμε από την ενότητα Visible items εκείνα τα στοιχεία μόνο που θέλουμε να φαίνονται στη λιθωστρωματογραφική στήλη γεώτρησης:

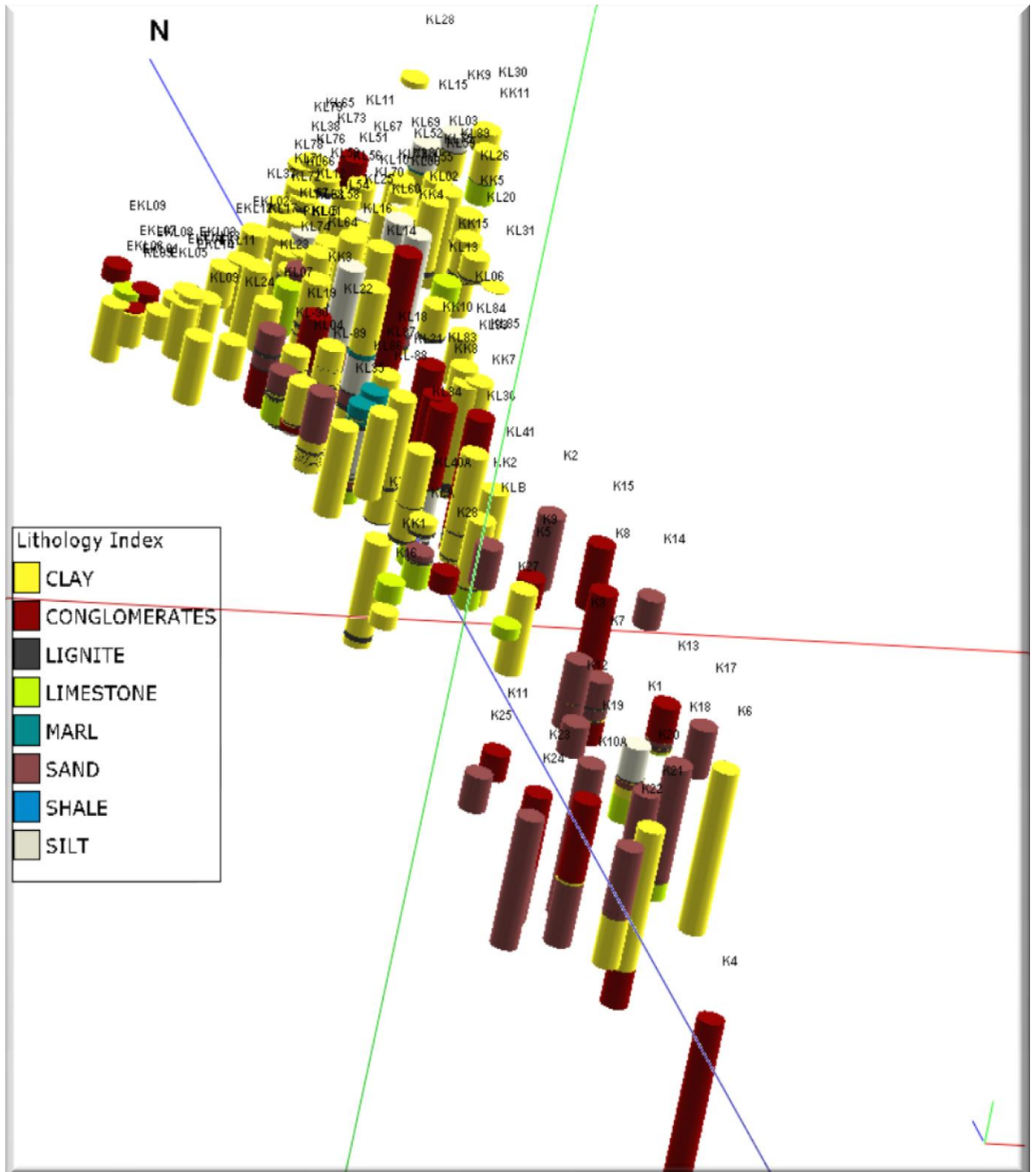
- ✓ Title: κωδική ονομασία γεώτρησης
- ✓ Lithology: λιθολογικοί σχηματισμοί

Ρυθμίζουμε το μέγεθος της γεωτρητικής στήλης ορίζοντας την ακτίνα της στήλης να είναι ίση με «1.0» και ρυθμίζουμε την τοποθέτηση (offset distance=0.0) της στήλης σε σχέση με τον άξονα της λωρίδας (strip)



➤ Εκτελώντας τη διαδικασία, το πρόγραμμα θα δημιουργήσει ένα γράφημα από «λωρίδες-κορμών» για κάθε στρωματογραφική στήλη γεώτρησης, συμπεριλαμβανομένου της ονομασίας και της στήλης λιθολογίας κάθε γεώτρησης. Αυτά τα αρχεία καταγραφής θα εμφανίζονται στη καρτέλα RockPlot3D και κάθε φορά που θα κάνουμε κλικ στο κουμπί της

διαδικασίας (αλλάζοντας τυχόν παραμέτρους), η δημιουργηθείσα ενότητα 3D-Striplogs θα ανανεώνεται.



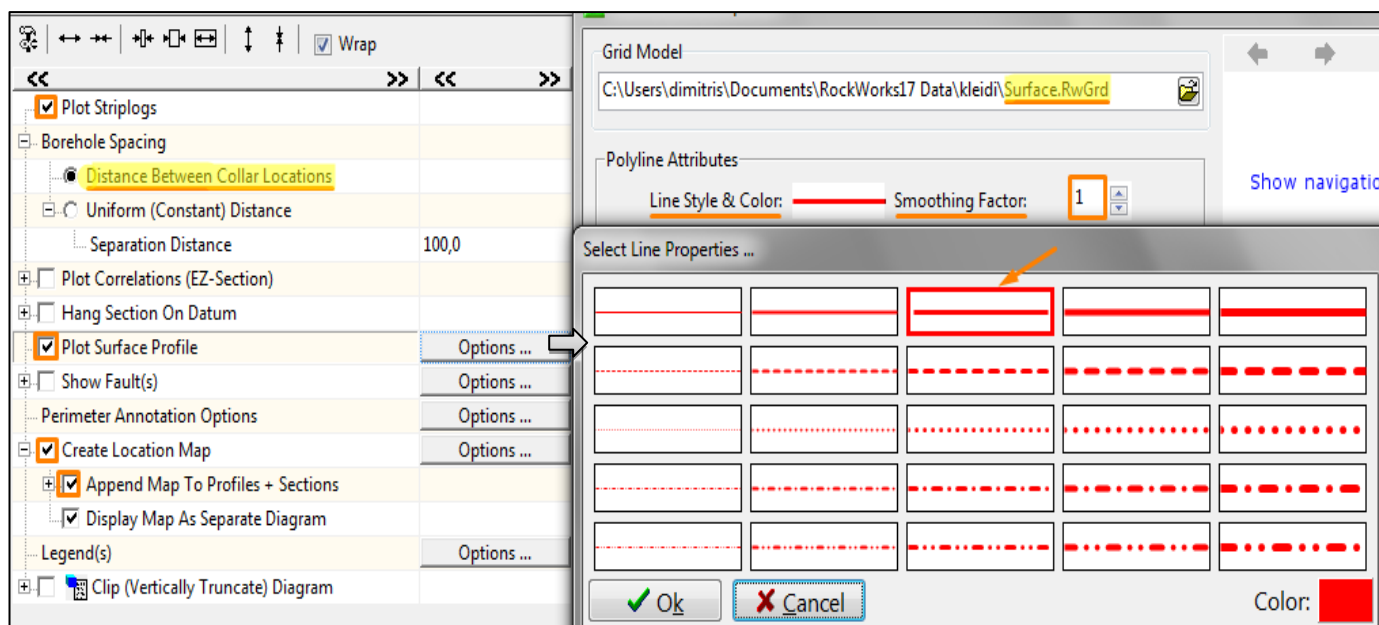
Δημιουργία ίχνους πολλαπλών Λιθοστρωματογραφικών Γεωτρητικών Στηλών σε 2-D τομή

Δημιουργούμε ένα σχεδιάγραμμα που αντιπροσωπεύει τα δεδομένα των στρωμάτων λιθολογίας σε πολλαπλά αρχεία καταγραφής των γεωτρητικών στηλών, επιλέγοντας κατά μήκος ενός άξονα ένα ίχνος πολυ-καταγραφής διατομών.

-- Από το μενού εργαλείων Borehole Manager, επιλέγουμε το εργαλείο **Striplogs** και ακολούθως την εντολή **2-Dimensional | Section**.

➤ Καθορίζουμε τις επιλογές στην ενότητα που βρίσκονται στο αριστερό τμήμα του παραθύρου Hole-to-Hole Section:

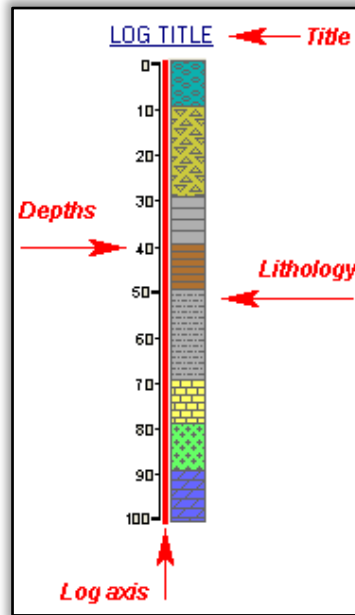
- Τσεκάρουμε το **Plot Striplogs** για τον σχεδιασμό των γεωτρητικών στηλών.
- Ορίζουμε την επιλογή **Distance between Collar Locations** για το Borehole Spacing
- Τσεκάρουμε το **Plot Surface Profile** για να εμφανίσει την επιλεγμένη επιφάνεια διατομής και από τις επιλογές ορίζουμε όνομα για την επιφάνεια του φυσικού εδάφους «surface» με επέκταση ονόματος αρχείου **.RwGrd**, μεσαίου πάχους και Smoothing factor = 1.
- Τσεκάρουμε την επιλογή **Create Location Map** ώστε να δημιουργήσουμε ένα μικρό χάρτη που θα δείχνει το ίχνος των επιλεγμένων γεωτρήσεων από τη περιοχή μελέτης και ενεργοποιούμε την υποεπιλογή **Append Map to Properties + Sections**.
- Ορίζουμε υπόμνημα με τους λιθολογικούς σχηματισμούς.



➤ Θα πρέπει να ρυθμίσουμε το πώς θα φαίνονται εντός της διατομής οι γεωτρητικές στήλες. Από τη καρτέλα **2D Striplog Designer**:
Επιλέγουμε τα στοιχεία που θέλουμε να εμφανιστούν στις στήλες των γεωτρήσεων από την ενότητα **Visible items**:

- ❖ Title: η ονομασία της κάθε γεώτρησης
- ❖ Depths: οι ετικέτες με τα βάθη των λιθοστρωμάτων
- ❖ Lithology: τύποι με τα μοτίβα σε κάθε λιθόστρωμα (ορίζουμε εμφανιζόμενο πλάτος μοτίβου = 1)

Ρυθμίζουμε τη διάταξη των ορατών στοιχείων που απαρτίζουν τα μέρη των γεωτρητικών στηλών στο γράφημα που θα σχεδιαστεί, αλλάζοντας τη σειρά διάταξης, από την ενότητα Layout Preview, των στοιχείων: τίτλος, βάθος, άξονας καταγραφής, μοτίβα λιθολογίας.



➤ Ορίζουμε το ίχνος των γεωτρητικών στηλών σε διατομή, από τη καρτέλα **Section Selection Map**:

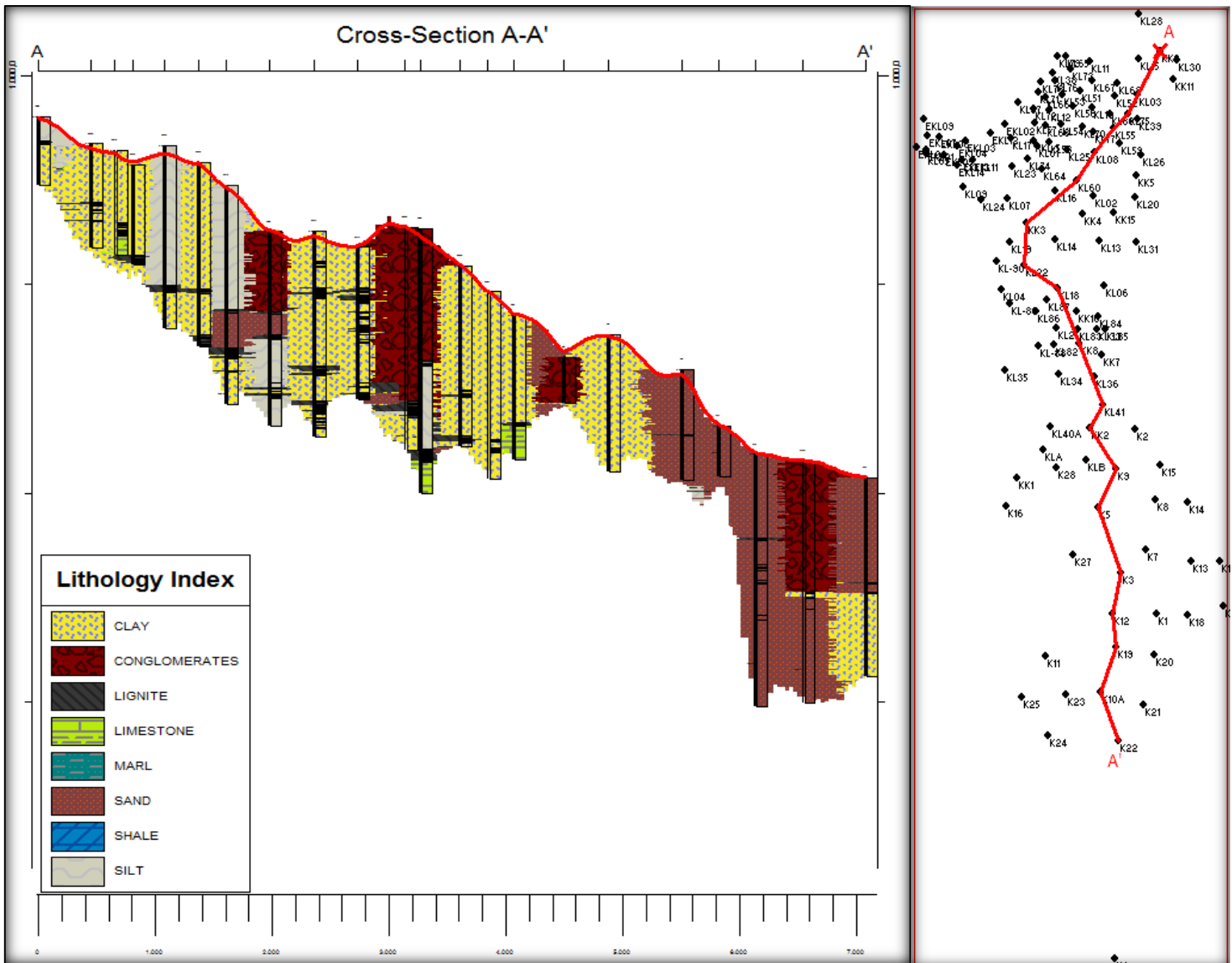
✚ Καθαρίζουμε από τη μνήμη του προγράμματος παλιότερα ίχνη επιλογής πατώντας το κουμπί Clear.

✚ Εντοπίζουμε τη γεώτρηση «ΚΚ3» και την επιλέγουμε. Ένα X με κόκκινο χρώμα θα εμφανιστεί ορίζοντας έτσι το σημείο εκκίνησης της διαδρομής.

✚ Συνεχίζουμε με τη γεώτρηση ΚΛ03 κ.ο.κ προσπαθώντας να καλύψουμε όσο το δυνατόν το μήκος όλου του κοιτάσματος, έτσι ώστε να φαίνεται η αλληλουχία και διαδοχή της λιθολογίας από περιοχή σε περιοχή, καταλήγοντας στη γεώτρηση με κωδική ονομασία «Κ22».

✚ Το ίχνος αποτυπώνεται με μια κόκκινη γραμμή θεωρώντας τον, ως άξονα διατομής τα σημεία του οποίου αντιστοιχούν στο υψόμετρο των σημείων των γεωτρήσεων του φυσικού εδάφους.

Εκτελώντας τη διαδικασία, το πρόγραμμα θα δημιουργήσει «κορμούς» γεωτρητικών στηλών των επιλεγμένων γεωτρήσεων, χρησιμοποιώντας τις επιλεγμένες ρυθμίσεις. Οι κορμοί αυτοί θα απέχουν ανάλογα με την μεταξύ τους απόσταση στο έδαφος:

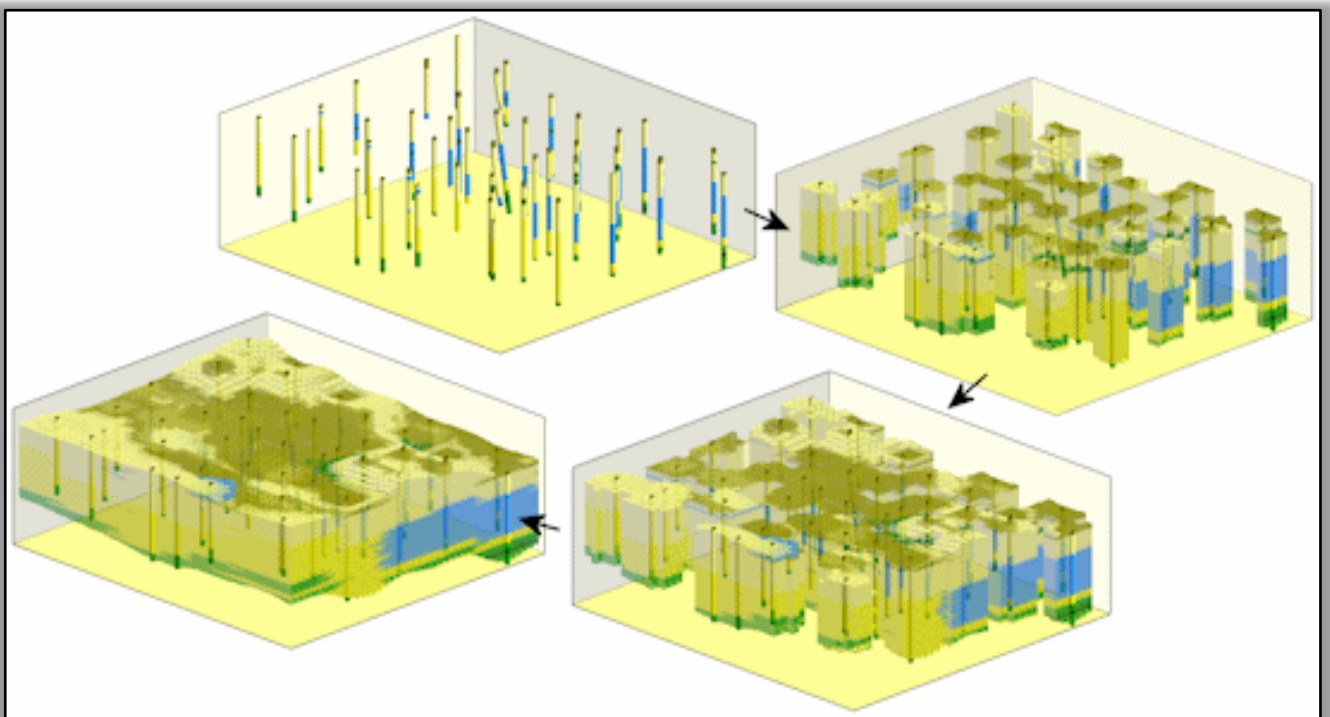


Αυτό που έχει αξία να ερμηνευτεί στη παραπάνω γράφημα της διατομής των λιγνιτικών γεωτρήσεων κατά μήκος του άξονα A-A' με βάση το φυσικό έδαφος, είναι το πως κινείται η μεταλλοφορία στις λιγνιτοφόρες στοιβάδες μεταξύ των επαφών των λιθολογικών σχηματισμών και για το λόγο αυτό το ίχνος πάρθηκε κατά μήκος και πλάτος όλης της διασποράς των εκτελέσιμων γεωτρήσεων ώστε να είναι πιο αντιπροσωπευτικό στην απεικόνιση της αλληλοδιαδοχής των γεωλογικών σχηματισμών που υπάρχουν στο υπέδαφος, αλλά κυρίως της κατανόησης της οριζόντιας εξάπλωσης της πολυλεπτοστρωματικότητας του λιγνιτικού κοιτάσματος.

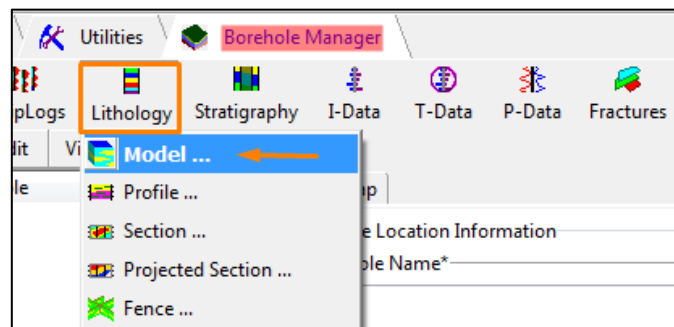
Επίσης, είναι ορατό το «μέγεθος» της παρεμβολής από τη πλευρική εξώθηση της στρωματογραφίας της λιθολογίας των σχηματισμών για κάθε λιθόστρωμα, αποτυπώνοντας ακόμα και τη παρεμβολή για εκείνα τα πολύ λεπτά στρώματα λιγνίτη.

Δημιουργία 3-D χωρικού Μοντέλου Λιθολογίας

Στα δεδομένα της λιθολογίας θα γίνει παρεμβολή σε ένα συνεχές χωρικό μοντέλο. Θα δημιουργηθεί ένα στερεό μοντέλο και ένα 3-διαστάσεων γράφημα των μπλοκ λιθολογίας. Το πρόγραμμα θα εξετάσει τα παρατηρούμενα διαστήματα στη λιθολογία των στρωμάτων, που έχουν προβληθεί (στα δύο προηγούμενα σχεδιαγράμματα) στα αρχεία καταγραφής των κορμών των γεωτρητικών στηλών, ήδη και θα γίνει παρεκβολή στη λιθολογία σε ολόκληρο το σχέδιο, έξω από τις γεωτρήσεις. Αυτή η διαδικασία μοντελοποίησης, βασικά, "γεμίζει τα κενά" μεταξύ αυτών των κορμών. Χρησιμοποιείται ένας ειδικός αλγόριθμος μοντέλων λιθολογίας για να κάνει αυτή τη παρεκβολή. Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν πώς θα μπορούσε να γίνει αντιληπτή η μετατροπή μεταξύ των παρατηρούμενων δεδομένων, τα οποία προβάλλονται ως κορμοί γεωτρητικών στηλών και στα δεδομένων που παρεμβάλλονται, τα οποία προβάλλονται ως ένα στερεό γράφημα.



-- Με τα πρωτογενή γεωτρητικά δεδομένα να είναι φορτωμένα στην ενότητα Borehole Manager, επιλέγω Lithology | Model.



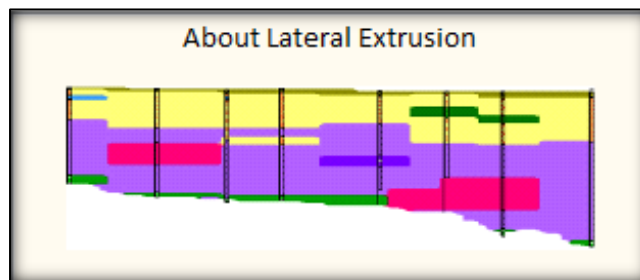
➤ Καθορίζουμε τις ρυθμίσεις διαμόρφωσης:

❖ **Create New Model** → Δημιουργούμε ένα νέο -προς παρεμβολή- στερεό μοντέλο λιθολογίας.

❖ **Lithology Model Name** → Ορίζουμε ως όνομα στο μοντέλο «*lithology*» και πατάμε Save. Το αρχείο που θα δημιουργηθεί θα έχει επέκταση ονόματος αρχείου *.RwMod*.

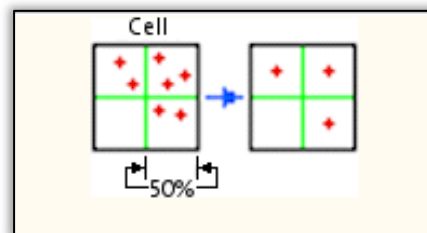
❖ **Lithologic Modeling Options** → Ορίζουμε τις παραμέτρους δημιουργίας του μοντέλου λιθολογίας, μέσα από τις διαθέσιμες επιλογές:

- **Algorithm** → Επιλέγουμε ως αλγόριθμο μοντελοποίησης τον **Lateral Extrusion**. Αυτός ο αλγόριθμος εξωθεί οριζόντια τα δεδομένα από κάθε σημείο ελέγχου στο μεσαίο (κεντρικό) σημείο μεταξύ του πλησιέστερου, πλευρικά-παρακείμενου (γειτονικού) σημείου ελέγχου.



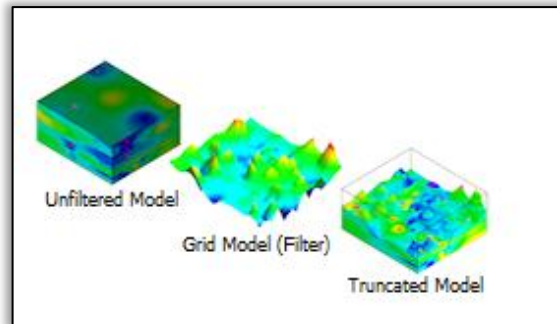
- **Model Dimensions**: θα πρέπει να ρυθμιστεί στο **Based on Output Dimensions**, έτσι ώστε το μοντέλο που θα παράγεται να χρησιμοποιεί τη διαστασιολόγηση που έχουμε δημιουργήσει

- **Decluster**: Ενεργοποιούμε την επιλογή **Decluster** (*αποσυσταδοποίηση*) και ορίζουμε ως μέθοδο την επιλογή *closest point*. Με αυτό το τρόπο γίνεται η μετατροπή των συγκεντρωμένων (ομαδοποιημένων) και των διπλότυπων σημείων σε ενιαία σημεία με την προ-κατασκευή πλέγματος. Εξαλείφει τα διπλότυπα σημεία και συγχωνεύει τις συστάδες σημείων.

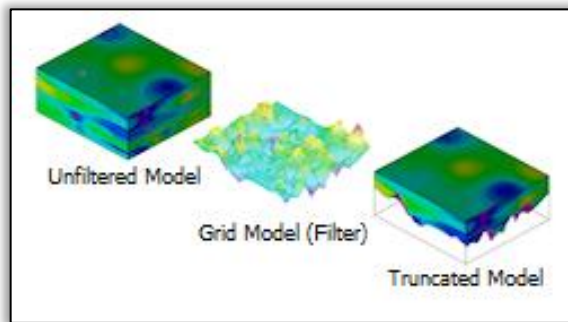


- **Smoothing**: Ενεργοποιούμε την επιλογή **Smoothing**, με σκοπό την εξομάλυνση των δεδομένων.

- **Surface**: Ενεργοποιούμε την επιλογή *Surface*, οπότε το πρόγραμμα θα δημιουργήσει αυτόματα μια επιφάνεια που αντιπροσωπεύει την οροφή της κάθε γεώτρησης (π.χ. επιφάνεια του εδάφους) και θα την χρησιμοποιήσει για να κρύψει (εφόσον έχουμε ορίσει τους απροσδιόριστους κόμβους να είναι 0) τους κόμβους του μοντέλου λιθολογίας που βρίσκονται πάνω από το έδαφος.

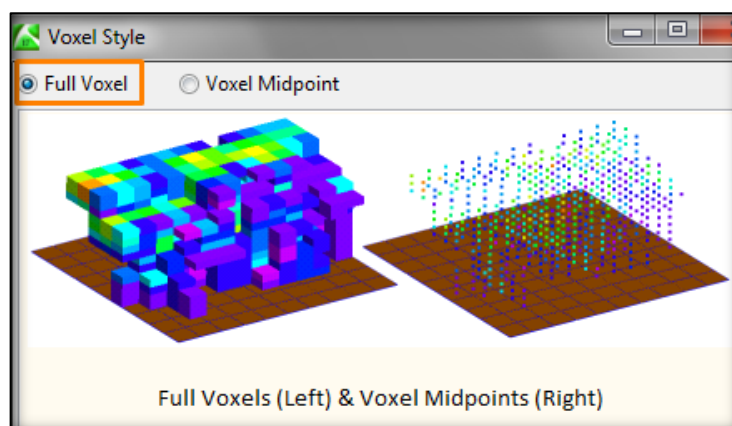


- **Subface:** Ενεργοποιούμε την επιλογή Subface, οπότε το πρόγραμμα θα δημιουργήσει αυτόματα μια επιφάνεια που αντιπροσωπεύει τα δάπεδα της κάθε γεωτρύσης και θα την χρησιμοποιήσει για να κρύψει του κόμβους του μοντέλου λιθολογίας που βρίσκονται κάτω από τα δάπεδα των γεωτρήσεων.

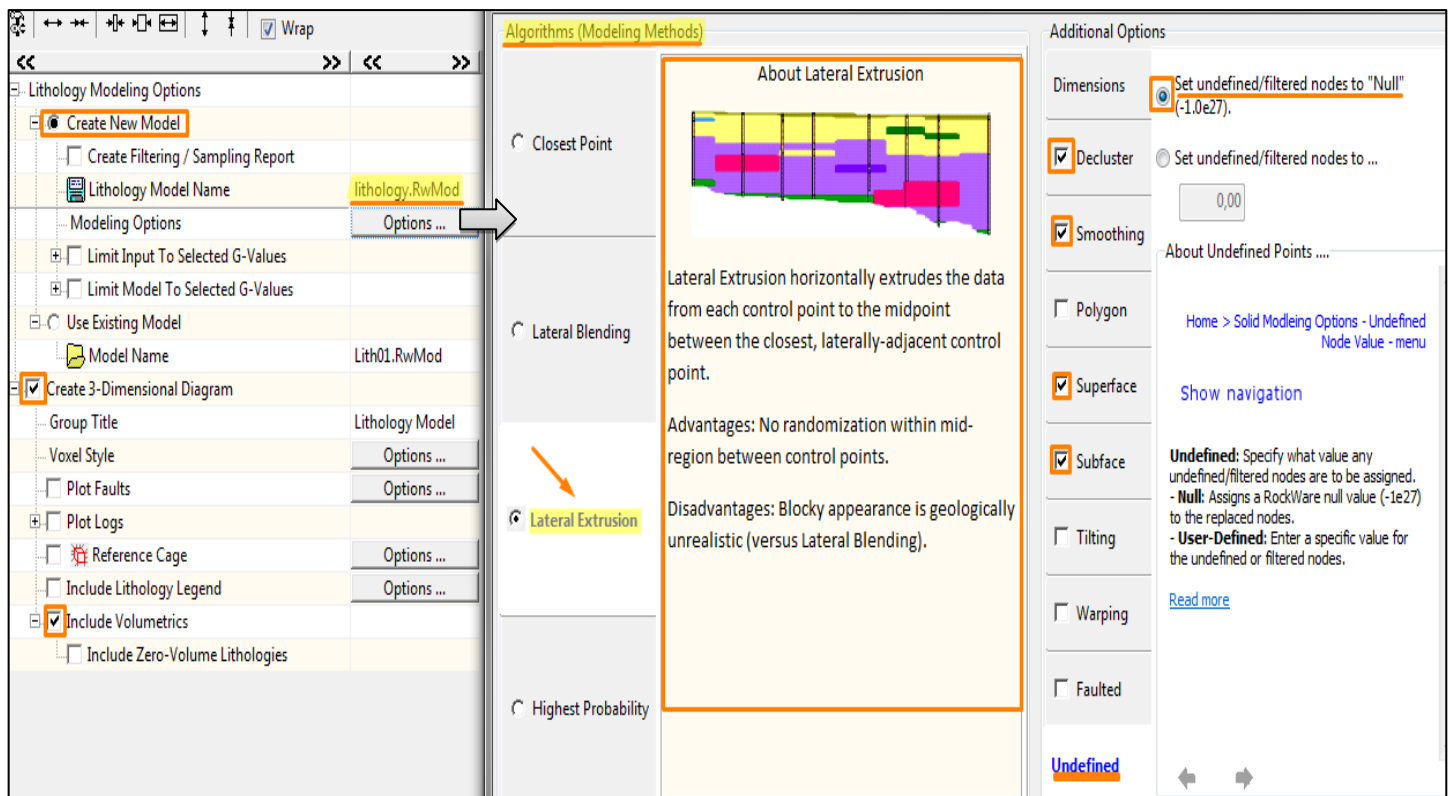


➤ Δημιουργία 3-διαστάσεων γράφημα του μοντέλου λιθολογίας, με ταυτόχρονη επιλογή των παρακάτω ρυθμίσεων:

- ❖ **Voxel Style:** Ορίζουμε τη μορφή των voxel γραφικών στοιχείων μοντελοποίησης.



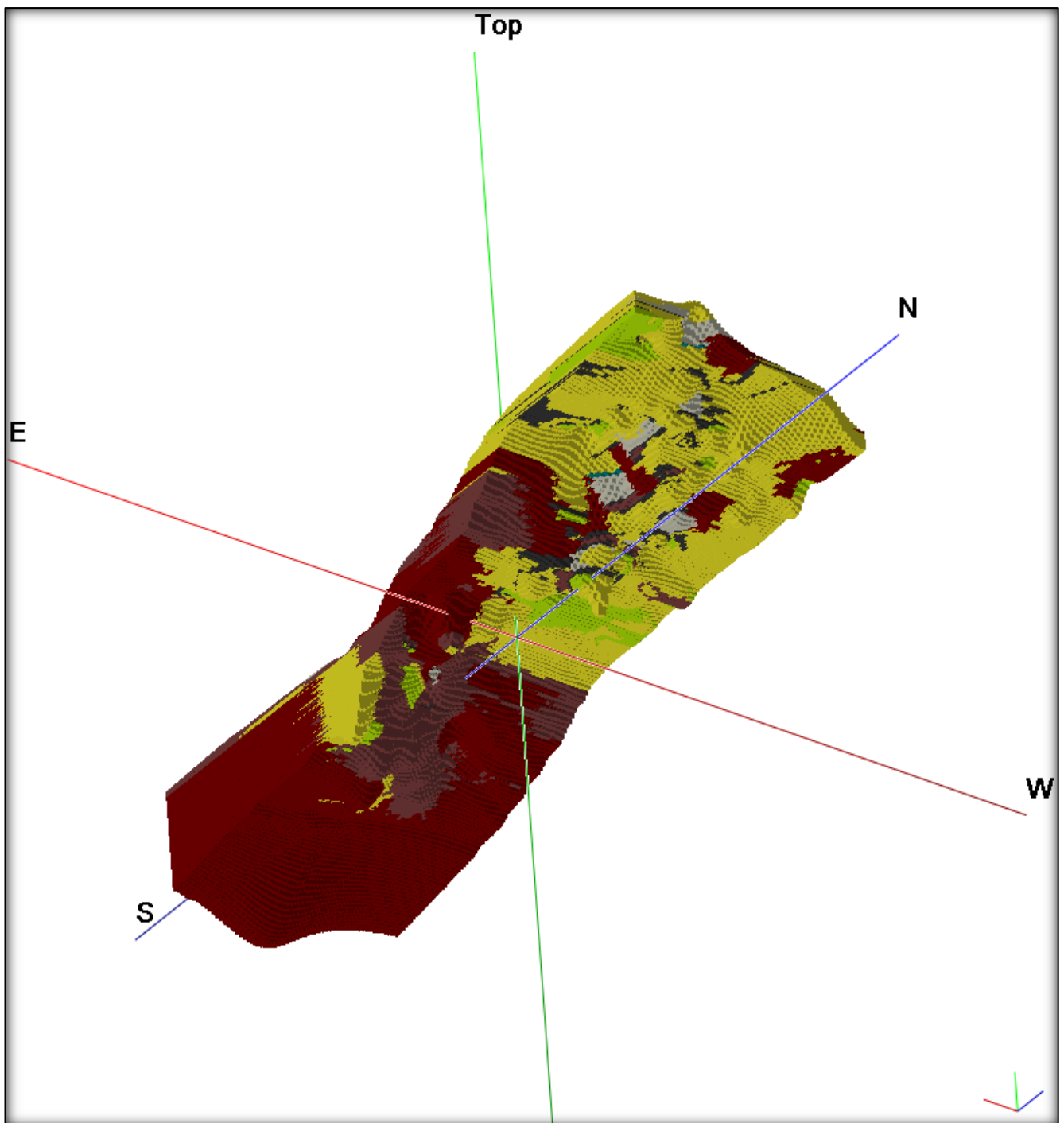
- ❖ **Include Volumetrics** → Θα συμπεριλάβει τους υπολογισμούς της ογκομέτρησης και της μάζας των λιθολογικών σχηματισμών κατά το σχεδιασμό του λιθολογικού μοντέλου.



Το RockWorks θα κατασκευάσει ένα στερεό μοντέλο, χρησιμοποιώντας την προκαθορισμένη διαστασιολόγηση. Αρχικά, θα θέσει εκείνους τους κόμβους πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και κάτω από την επιφάνεια των δαπέδων της γεώτρησης σε μηδέν. Θα καθορίσει στη συνέχεια, τους τύπους λιθολογίας κατά μήκος κάθε γεώτρησης στο έργο, και θα αντιστοιχίσει εκείνους τους κόμβους κατά μήκος των γεωτρήσεων την τιμή "G" για την εν λόγω λιθολογία όπως παρατίθενται στον πίνακα Lithology Types. Θα χρησιμοποιήσει τη μέθοδο της «προηγμένης πλευρικής εξώθησης» (advanced lateral extrusion) για να αντιστοιχίσει τη λιθολογία στους κόμβους που βρίσκονται μεταξύ των γεωτρήσεων. Όταν το μοντέλο ολοκληρωθεί θα αποθηκευτεί στο δίσκο με το όνομα "lithology.RwMod."

Το πρόγραμμα θα διαβάσει τα περιεχόμενα του αρχείου από το στερεό μοντέλο λιθολογίας και θα δημιουργήσει ένα 3-διαστάσεων γράφημα με όλες τις ζώνες λιθολογίας που εμφανίζονται στο «full voxel» σχεδιάγραμμα. Το ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα θα εμφανιστεί στη καρτέλα RockPlot3D.

Σημειώνεται επίσης πως κάθε φορά που θα εκτελούμε τη διαδικασία, το μοντέλο θα αναπαράγεται σύμφωνα με τις εκάστοτε ρυθμίσεις.



Μοντέλο λιθολογίας γεωλογικών σχηματισμών με βάση τη χωρική παρεμβολή.

Για να υπολογίσουμε τον όγκο και τη μάζα από το λιγνιτικό κοίτασμα θα πρέπει να απομονώσουμε τη τιμή «G» που το μοντέλο αντιστοιχίζει στον λιγνίτη. Επομένως, από τον πίνακα περιεχομένων διαλέγουμε την ενότητα Lithology Model και από το αναδυόμενο παράθυρο, ενεργοποιούμε την επιλογή **Filter** ορίζοντας ως ελάχιστο μια τιμή μικρότερη του «2» και ως μέγιστο μια τιμή μεγαλύτερη του «2» (υπενθυμίζεται ότι η τιμή «G» για το λιγνίτη είναι ίσον με «2»). Με αυτό το τρόπο το μοντέλο λιθολογίας θα απομονώσει το λιγνιτικό κοίτασμα που βρίσκεται εντός του χωρικού μοντέλου και αυτομάτως θα υπολογίσει τον όγκο και τη μάζα του στο χώρο, χωρίς τη χρήση στοιχείων όπως όρια εκσκαφών, κλίσεις πρανών, γεωμετρικά στοιχεία βαθμίδων κ.λπ.

Legend

Data

- Lithology Model
- Lithology Model Volumetrics
- Perimeter Cage

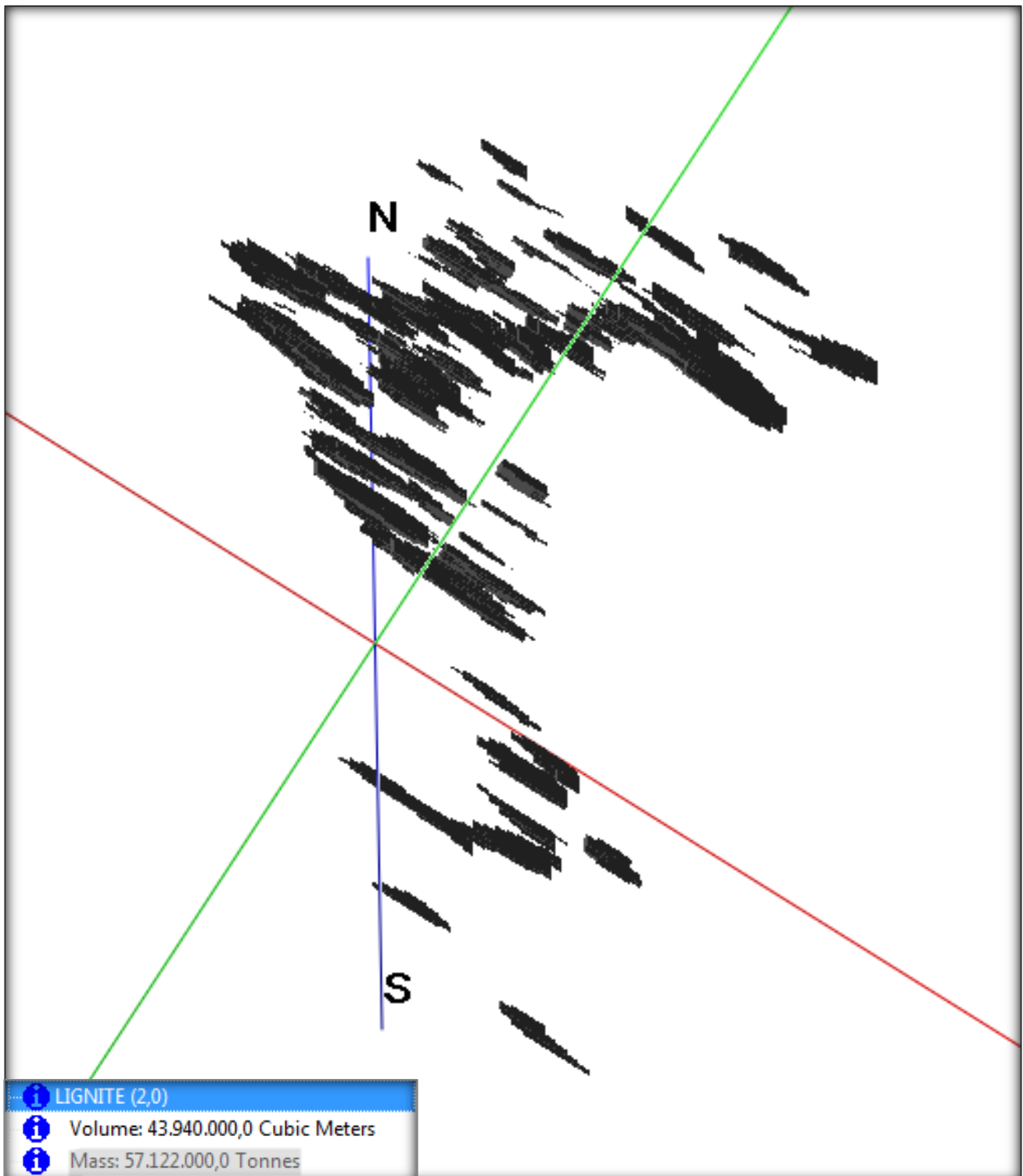
Filter

Low 1,7

High 2,4

1,00 8,00

Show Volume 43.940.000,0



Το μοντελοποιημένο λιγνιτικό κοίτασμα και η συνολικά υπολογιζόμενη μάζα και όγκος.