



Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Διπλωματική Εργασία

*Καθορισμός βέλτιστων ορίων εκμετάλλευσης  
πολυστρωματικών λιγνιτικών κοιτασμάτων*

Βασίλειος Γ. Δεληγιώργης

Χανιά  
Μάρτιος 2017



Copyright © Βασίλειος Δεληγιώργης, Μάρτιος 2017.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης ή τρίτου που συνέβαλε στην εργασία αυτή.

Εξεταστική επιτροπή:

Μιχαήλ Γαλετάκης, Καθηγητής (επιβλέπων)

Γεώργιος Εξαδάκτυλος, Καθηγητής

Γεώργιος Σαράτσης, Διδάκτωρ



Η ιδιαιτερότητα των Ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων σε εμένα έγινε φανερή ήδη από τα πρώτα έτη σπουδών στη σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και συγκεκριμένα στο μάθημα Εκμετάλλευση Ι. Στα πλαίσια των εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος αυτού μας παρουσιάστηκε η διαδικασία αξιολόγησης των λιγνιτικών γεωτρήσεων από όπου φάνηκε η σημαντική επίδραση των κριτηρίων αξιολόγησης στα υπολογιζόμενα απολήψιμα αποθέματα.

Αργότερα κατά την σύντομη εργασία μου στα πλαίσια της πρακτικής άσκησης στη γενική διεύθυνση ορυχείων της ΔΕΗ έγινε αντιληπτό ότι υπήρχαν αρκετοί παράγοντες κατά το σχεδιασμό ενός ορυχείου που επηρέαζαν τα απολήψιμα αποθέματα πέρα από τα κριτήρια αξιολόγησης των γεωτρήσεων. Πιο συγκεκριμένα αναλύοντας τις αποκλίσεις των αποθεμάτων (ποσοτικών και ποιοτικών) του ορυχείου πεδίου Καρδιάς έγινε κατανοητό πως η εκλεκτική μέθοδος εξόρυξης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα αποθέματα του λιγνίτη και σε μία περαιτέρω ανάλυση την ανάκτηση του θερμικού περιεχομένου του κοιτάσματος.

Παράλληλα λόγω της οικονομικής συγκυρίας διατυπώνεται σε δημόσιες συζητήσεις συχνά το ερώτημα του τρόπου εξόδου της χώρας από την κρίση. Βασικό στοιχείο της οικονομίας είναι η βιομηχανική παραγωγή μίας χώρας. Η βιομηχανική παραγωγή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς η μελέτη της δυνατότητας της μείωσης του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της αξιοποίησης των λιγνιτικών κοιτασμάτων σχετίζεται με τα προβλήματα που αντιμετωπίζει καθημερινά η οικονομία κάτι το οποίο επέτεινε το ενδιαφέρον μου.

Ένα άλλο επίκαιρο θέμα που εμφανίζεται στην καθημερινή ειδησεογραφία του ειδικού τύπου της ενέργειας είναι η μετάβαση σε μία ενοποιημένη Ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, μειωμένων εκπομπών αερίων ρύπων. Αυτό μεταφράζεται σε τροποποίηση της λειτουργίας της υπάρχουσας αγοράς και συνεπώς στον τρόπο με τον οποίο η λειτουργία ενός ορυχείου λιγνίτη ανταποκρίνεται στα «ερεθίσματα» της αγοράς κάτι το οποίο δεν έχει διερευνηθεί διεξοδικά.

Με τα παραπάνω ερωτήματα και τις γνώσεις που αποκόμισα από τις σπουδές μου διαμορφώθηκε η ιδέα της εκπόνησης μιας διπλωματικής εργασίας που θα αναπτύξει μια μεθοδολογία εύρεσης των βέλτιστων ορίων εκμετάλλευσης ενός πολυστρωματικού λιγνιτικού κοιτάσματος με βάση οικονομικά κριτήρια.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την μητέρα μου για την υποστήριξη των σπουδών μου καθώς και όλους τους συγγενείς και φίλους. Ακόμα τον Καθηγητή Γιώργο Εξαδάκτυλο και τον Δρ. Γιώργο Σαράτση που δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην εξεταστική επιτροπή καθώς και για τις εύστοχες επισημάνσεις - διορθώσεις τους. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Χρήστο Ρούμπο, Διευθυντή Μεταλλευτικών Μελετών της ΔΕΗ για τις εποικοδομητικές συζητήσεις στο θέμα των ποσοτικών και ποιοτικών αποκλίσεων του ορυχείου Καρδιάς που σχετίζονται με τον υπολογισμό αποθεμάτων των Ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων, τις πολύ εύστοχες και χρήσιμες παρατηρήσεις του ειδικά σε θέματα μεταλλευτικού σχεδιασμού και την παροχή χρήσιμης βιβλιογραφίας που συνέβαλαν καθοριστικά στη διεκπεραίωση της εργασίας αυτής.

Τέλος οφείλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα μου, Καθηγητή Μιχάλη Γαλετάκη για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ειδικά για την αποδοχή της εισαγωγής στην εργασία της επιπρόσθετης δουλειάς πάνω στην ανάλυση και την παραμετροποίηση του συστήματος ορυχείου - ΑΗΣ - αγοράς που διαμορφώνει το μοναδιαίο κόστος εξόρυξης, αλλά κυρίως για τον υπομονετικό σχολιασμό, τις διορθώσεις, τις παρατηρήσεις του κειμένου και για την επεξήγηση των μεθόδων εύρεσης των βέλτιστων ορίων ενός ορυχείου.

Χανιά, Μάρτιος 2017

Β.Γ. Δεληγιώργης







Σκοπός της εργασίας είναι να καθοριστούν τα βέλτιστα τελικά όρια εκσκαφής του ορυχείου ενός λιγνιτικού πολυστρωματικού κοιτάσματος με οικονομικά κριτήρια. Τα κοιτάσματα αυτού του τύπου παρουσιάζουν δυσκολία στην προσομοίωσή τους λόγω της περίπλοκης γεωλογικής δομής τους (δυσκολία στην κατασκευή του ψηφιακού τους ομοιώματος) αλλά και των σύνθετων μεθόδων που απαιτούνται για την εκμετάλλευσή τους (ειδικές τεχνικές εκτίμησης των εκμεταλλεύσιμων στρωμάτων). Αρχικά αναλύονται οι παράγοντες και ο τρόπος που επιδρούν στον καθορισμό των ορίων του κοιτάσματος και στην συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο υλοποιούνται τα ψηφιακά ομοιώματα αλλά και οι δυσκολίες-ιδιαιτερότητες που υπάρχουν στα πολυστρωματικά κοιτάσματα. Προτείνεται μία νέα μεθοδολογία κατασκευής ψηφιακών ομοιωμάτων η οποία έχει ως βασικά μέρη της την χρήση της αξίας ως ιδιότητας και την διαφορική διαμέριση του χώρου. Το ομοίωμα αυτό χρησιμοποιείται σε μεθόδους βελτιστοποίησης όπως ο αλγόριθμος Lerchs-Grossman για τον καθορισμό των ορίων της εκσκαφής και της οικονομικής αξίας της εκμετάλλευσης. Η ορθότητα της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας επαληθεύτηκε με την εφαρμογή της σε ένα υποθετικό κοιτάσμα απλής γεωμετρίας με προκαθορισμένα γεωμετρικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά, του οποίου τα βέλτιστα τελικά όρια εκσκαφής είναι γνωστά. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε σε πολυστρωματικό λιγνιτικό κοιτάσμα από την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας και εκτιμήθηκε η τελική μορφή του ορυχείου καθώς και η καθαρή παρούσα αξία της εκμετάλλευσης. Με βάση αυτή, εφόσον υπάρξουν οι κατάλληλες συνθήκες, είναι δυνατόν να αυξηθούν σημαντικά τα μεταλλευτικά αποθέματα και η προστιθέμενη αξία της εκμετάλλευσης. Τέλος συμπεραίνεται ότι οι συνθήκες ανταγωνισμού της κοινής Ευρωπαϊκής αγοράς μειώνουν την αποδοτικότητα του πόρου αυτού (λιγνίτη) και συνολικά την ανταγωνιστικότητα του συνόλου της εγχώριας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.



## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	IV
Σύνοψη .....	VIII
Περιεχόμενα .....	X
Κατάλογος σχημάτων .....	XII
Κατάλογος πινάκων.....	XVII
Κατάλογος βραχυγραφιών.....	XVIII
Κατάλογος συμβόλων και μονάδων .....	XIX
Κεφάλαιο 1 : Αλληλεπιδράσεις λιγνιτωρυχείων - ηλεκτροπαραγωγής - εγχώριας οικονομίας .....	1
1.1 : Πηγές ενέργειας και τρόποι παραγωγής ηλεκτρισμού .....	1
1.2 : Επίδραση των λιγνιτωρυχείων στην εγχώρια και τοπική οικονομία .....	3
1.3 : Ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα.....	8
1.3.1 : Η αλληλεπίδραση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με τα λιγνιτωρυχεία .....	8
1.3.2 : Η αλληλεπίδραση των κανόνων της ΕΕ και της αγοράς ΗΕ με τα λιγνιτωρυχεία.....	8
1.3.3 : Ενεργειακός και μεταλλευτικός σχεδιασμός .....	10
Κεφάλαιο 2 : Παράγοντες εκμεταλλευσιμότητας κοιτασμάτων .....	13
2.1 : Μεταλλευτική – Τεχνική της εξόρυξης και αξιοποίησης του λιγνίτη .....	13
2.1.1 : Μέθοδοι εξόρυξης υπαίθριων λιγνιτωρυχείων .....	13
2.1.2 : Μέθοδοι ορυκτουργίας λιγνίτη.....	14
2.1.3 : Μέθοδοι εκμετάλλευσης υπαίθριων λιγνιτωρυχείων .....	16
2.1.4 : Τεχνολογία καύσης.....	17
2.2 : Γεωμορφολογία της περιοχής, υφιστάμενες υποδομές και χρήσεις γης.....	17
2.3 : Συνοπτικά γεωλογικά στοιχεία του λιγνιτικού κοιτάσματος του Νοτιοδυτικού Πεδίου .....	18
2.4 : Λιθολογία, πετρολογία.....	18
2.4.1: Πολυστρωματική δομή Ελληνικών λιγνιτών .....	19
2.4.2 : Επίδραση στη μεταλλευτική .....	22
2.5 : Βασικά γεωχημικά χαρακτηριστικά λιγνιτών.....	24
2.6 : Θερμογόνος ικανότητα, τέφρα, υγρασία, πτητικά .....	25
2.7 : Επίδραση των ιδιοτήτων του καυσίμου στον ΑΗΣ.....	26
2.8 : Τεκτονική και υδρογεωλογία .....	27
2.9 : Οικονομικές σχέσεις.....	27
2.9.1 : Δαπάνες διαδικασίας παραγωγής .....	28
2.9.2 : Τιμή πώλησης – ρυθμιστικές δαπάνες.....	29
2.9.3 : Ποσοστό κέρδους και πληθωρισμός.....	30
Κεφάλαιο 3 : Εκτίμηση αποθεμάτων κοιτασμάτων .....	33
3.1 : Ομοιογένεια και διακριτοποίηση.....	33
3.1.1 : Προσδιορισμός της ακρίβειας της διακριτοποίησης .....	33
3.1.2 : Βέλτιστη διακριτοποίηση σε πολυστρωματικά κοιτάσματα .....	35
3.1.3 : Διακριτοποίηση στις εφαρμοσμένες μεθοδολογίες .....	35
3.2 : Στοιχεία μεθόδων απόδοσης τιμής.....	35
3.2.1 : Βασικές μέθοδοι παρεμβολής .....	36
3.2.2 : Το πρόβλημα της παρεμβολής στα πολυστρωματικά κοιτάσματα .....	37
3.2.3 : Εφαρμοσμένοι τρόποι παρεμβολής σε πολυστρωματικά κοιτάσματα .....	38
3.3 : Βασικά στοιχεία μεθόδων αξιολόγησης .....	38
3.3.1 : Παρουσίαση ευρετικών μεθόδων.....	39
3.3.2 : Ιδιότητες για την αξιολόγηση πολυστρωματικών κοιτασμάτων .....	39
3.3.3 : Εφαρμοσμένοι τρόποι αξιολόγησης σε πολυστρωματικά κοιτάσματα .....	40
3.4 : Μέθοδοι ολοκλήρωσης (ογκομέτρησης) .....	42
3.6 : Αλγόριθμος Lerchs – Grossman .....	43
3.4 : Νέα μεθοδολογία .....	47
3.4.1 : Καθορισμός της ιδιότητας.....	48
3.4.2 : Δημιουργία ομοιώματος στρώματος και στρώσεων .....	48
3.4.3 : Σύμπτυξη διαφορικών στοιχείων .....	49
3.4.4 : Αξιολόγηση – Τελική βελτιστοποίηση.....	50
Κεφάλαιο 4 : Εφαρμογή μεθόδων σε πολυστρωματικά κοιτάσματα.....	51
4.1 : Λογισμικό και περιορισμοί του Η/Υ .....	51

4.2 : Επαλήθευση της νέας μεθόδου στο υποθετικό κοίτασμα .....	52
4.2.1 : Ημιεμπειρικός τρόπος υπολογισμού .....	52
4.2.2 : Υπολογισμός με το σχεδιαστικό λογισμικό .....	53
4.2.3 : Εφαρμογή της νέας μεθοδολογίας .....	54
4.3 : Εφαρμογή νέας μεθοδολογίας στο υποθετικό κοίτασμα .....	56
4.4 : Εφαρμογή στο πραγματικό κοίτασμα .....	57
Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα και προτάσεις .....	65
Αναφορές .....	Ixvii
Παράρτημα Α: Αναπτυχθέντες κώδικες σε C και VBA Excel για τις ανάγκες της μεθοδολογίας.....	Ixxi
Παράρτημα Β: Διαδικασία υλοποίησης νέας μεθοδολογίας.....	Ixxvii
Παράρτημα Γ: Αποτελέσματα, τομές και κατόψεις του λογισμικού UPL.....	Ixxix
Παράρτημα Δ: Προοπτικά σχέδια του υποθετικού κοιτάσματος.....	xcι
Παράρτημα Ε: Σχέδια πραγματικού κοιτάσματος .....	xcviii

Σχήμα 1.1: Παγκόσμια γεωλογικά και μεταλλευτικά αποθέματα ορυκτών καυσίμων και παραγωγή ενέργειας μετρημένα σε EJ (BGR 2016). ....	2
Σχήμα 1.2: Ελληνικά μεταλλευτικά αποθέματα λιγνίτη (4.5 Gt) ανά περιοχή (upatras). ....	2
Σχήμα 1.3: Κατανομή παραγωγή ΗΕ ανά καύσιμο (ΑΔΜΗΕ, 2004-2016). ....	4
Σχήμα 1.4: Διαχρονική παραγωγή λιγνίτη 1970-2012. ....	5
Σχήμα 1.5: Εμπορικό ισοζύγιο ΗΕ Ελλάδας 2004-2015 (ΕΛΣΤΑΤ 2015). ....	5
Σχήμα 1.6: ΑΕΓΠ Ελλάδας, Αττικής, Κοζάνης και Φλώρινας ετών 2000-2014 (ΕΛΣΤΑΤ 2017b), *Προσωρινά στοιχεία). ....	5
Σχήμα 1.7: Κατά κεφαλήν ΑΕΓΠ Ελλάδας, Αττικής, Κοζάνης και Φλώρινας ετών 2000-2014 (ΕΛΣΤΑΤ 2017d),*Προσωρινά στοιχεία). ....	5
Σχήμα 1.8: Προστιθέμενη αξία ορυχείων περιοχής Κοζάνης - Φλώρινας (ΕΛΣΤΑΤ 2017a), *Προσωρινά στοιχεία). ....	5
Σχήμα 1.9: Αριθμός απασχολούμενων ανά κλάδο στην Ελλάδα και την Δυτική Μακεδονία (ΕΛΣΤΑΤ 2016; ΕΛΣΤΑΤ 2017c; ΔΕΗ 2014). ....	6
Σχήμα 1.10: Βασικά μεγέθη μεσαίων και μεγάλων βιομηχανιών ετών 2003-2013 (ΕΛΣΤΑΤ). ....	7
Σχήμα 1.11: Βασικά μεγέθη υποκλάδου παροχής ενέργειας ετών 2000-2007 (ΕΛΣΤΑΤ). ....	7
Σχήμα 1.12: Βασικά μεγέθη υποκλάδου εξόρυξης λιγνίτη και πετρελαίου ετών 2002-2007 (ΕΛΣΤΑΤ). ....	7
Σχήμα 1.13: Κατανάλωση ΗΕ κατά κατηγορία χρήσης ετών 1993-2012 (ΕΛΣΤΑΤ 1993). ....	7
Σχήμα 1.14: Κατανάλωση ΗΕ κατά κατηγορία χρήσης ετών 2004-2016 (ΑΔΜΗΕ 2017). ....	7
Σχήμα 1.15 Παραγωγή και ειδική κατανάλωση λιγνίτη 2004-2015.(ΑΔΜΗΕ 2017) ....	9
Σχήμα 1.16 Μηνιαία χρηματιστηριακή τιμή δικαιωμάτων CO <sub>2</sub> . (ΛΑΓΗΕ). ....	9
Σχήμα 1.17: Ετήσιο κόστος μη κατανεμόμενων ΑΠΕ 2012-2016. (ΛΑΓΗΕ). ....	10
Σχήμα 1.18: Μηνιαία ΟΤΣ 2011-2016. (ΛΑΓΗΕ) ....	10
Σχήμα 1.19: Ορυχείο Νοτίου Πεδίου με βάση την μελέτη που εκπονήθηκε το 1970 (κόκκινο) και ορυχείο πεδίου καρδιάς (αριστερά) και Νοτίου Πεδίου (δεξιά) βάσει της αναθεώρησης εκμετάλλευσης του ΛΚΔΜ το 2010 (πράσινο). ....	12
Σχήμα 2.1: Μέθοδος εκλεκτικής εξόρυξης (Durst και Vogt 1988 από Γαλετάκης 1996).....	14
Σχήμα 2.2: Τυπικό διάγραμμα ροής εργοστασίου εμπλουτισμού λιγνίτη. ....	16
Σχήμα 2.3: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης το μήκος της εικόνας είναι 15 km (Google Earth, 2015). ....	17
Σχήμα 2.4: Γεωλογικός χάρτης Κοζάνης (Αναστόπουλος κ.α. 1980; από Ρούμπος 2010). ....	20
Σχήμα 2.5: Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη Κοζάνης (Αναστόπουλος κ.α. 1980; από Ρούμπος 2010). ....	21
Σχήμα 2.6: Πολυστρωματική δομή (τύπου ζέβρας) ελληνικών λιγνιτών και ρήγμα που διακόπτει την λιγνιτοφόρα στοιβάδα (Μπάρμπας 2013). ....	22
Σχήμα 2.7: Υβωμα εκσκαπτόμενου στρώματος και διείδυση στο υπερκείμενο στρώμα κατά την εκλεκτική εξόρυξη. ....	23
Σχήμα 2.8: Απόδοση ΕΚ ανάλογα με τον λόγο πάχους στρώματος (h) ακτίνας καδοτροχού (Rk). ....	24
Σχήμα 2.9: Απόδοση και ειδική κατανάλωση καυσίμου ΑΗΣ Καρδιάς 2011-2013. (Φραντζόπουλος 2011-2013). ....	27
Σχήμα 3.1: Δισδιάστατο χωροπλέγμα (μαύρες γραμμές), γεωτρητικά δεδομένα (στρώματα λιγνίτη με κόκκινο, άγωνα με μπλέ διαγράμμιση) και διαφορική διακριτοποίηση με πράσινο χρώμα. ....	34
Σχήμα 3.2: Απεικόνιση του παραδείγματος περιορισμού δεδομένων,(δεξιά, πρώτη περίπτωση, αριστερά δεύτερη περίπτωση. ....	40
Σχήμα 3.3: Αριστερά η διάταξη 1-9 και δεξιά η διάταξη 1-5. ....	43
Σχήμα 3.4: Κατασκευή δέντρου Δ <sup>0</sup> . ....	46
Σχήμα 3.5: Κατασκευή δέντρου Δ <sup>1</sup> . ....	46
Σχήμα 3.6: Κατασκευή δέντρου Δ <sup>2</sup> . ....	46
Σχήμα 3.7: Κατασκευή δέντρου Δ <sup>3</sup> . ....	46
Σχήμα 3.8: Κατασκευή δέντρου Δ <sup>4</sup> . ....	46
Σχήμα 3.9: Κατασκευή δέντρου Δ <sup>5</sup> . ....	46
Σχήμα 3.10: Κατασκευή δέντρου Δ <sup>6</sup> . ....	46
Σχήμα 3.11: Διδιάστατη εκσκαφή ορυχείου κατά την οποία αποτυγχάνει η μέθοδος κινητού κώνου. ....	45
Σχήμα 3.12: Ισοδύναμο γράφημα εκσκαφής του προηγούμενου σχήματος. ....	47
Σχήμα 3.13: Εφαρμογή του αλγορίθμου LG. ....	47

Σχήμα 3.14: Πολύεδρο Voronoi (κόκκινο), διαφορικά στοιχεία (πράσινο) και στοιχεία τελικού ομοιώματος (γκρι).....	50
Σχήμα 4.1: Ακριβές ομοίωμα με βάση τη γεωλογική του δομή. ....	54
Σχήμα 4.2: Ομοίωμα με βάση τις γεωτρήσεις. ....	54
Σχήμα 4.3: Διάγραμμα αριθμού βαθμίδων με συνολικές εκσκαφές (δεξιά) και την αξία τους (αριστερά). .	55
Σχήμα 4.4: Γεωτρήσεις και τοπογραφική επιφάνεια με δεδομένα από το διαστημικό πρόγραμμα SRTM της NASA και του USGS.....	60
Σχήμα 4.5: Δορυφορική απεικόνιση και χάρτης θέσεων γεωτρήσεων. ....	62
Σχήμα 4.6: Διάφορα όρια ορυχείων αποτυπωμένα στη δορυφορική εικόνα. Ορυχείο Καρδιάς (κίτρινο, αριστερά), ορυχείο Νοτίου Πεδίου (κίτρινο, δεξιά), σχεδιασμός του ορυχείου Νοτίου Πεδίου το 1970 (κόκκινο), πρώτη δεύτερη και τρίτη περίπτωση (ανοιχτό ιώδες, πράσινο καιμπλε). ....	62
Σχήμα 4.7: Όρια κοιτάσματος Νοτιοδυτικού πεδίου για την περίπτωση 01.....	63
Σχήμα 4.8: Όρια κοιτάσματος Νοτιοδυτικού πεδίου για την περίπτωση 02.....	64
Σχήμα 4.9: Όρια κοιτάσματος Νοτιοδυτικού πεδίου για την περίπτωση 03.....	64
Σχήματα Παραρτημάτων	
Σχήμα Β.1: Διαδραστική βάση γεωτρητικών δεδομένων του λογισμικού Carlson. ....	lxxvii
Σχήμα Β.2: Παράθυρο παραμέτρων αλγόριθμου LG πριν την εφαρμογή του. ....	lxxviii
Σχήμα Β.3: Δεδομένα εισαγωγής για την υλοποίηση του πρώτου ομοιώματος.....	lxxviii
Σχήμα Γ.1: Αποτέλεσμα με τον αλγόριθμο LG 2D. ....	lxxix
Σχήμα Γ.2: Αποτέλεσμα με την μέθοδο Korobov. ....	lxxix
Σχήμα Γ.3: Τομή εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG. ....	lxxx
Σχήμα Γ.4: Τομή εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.....	lxxx
Σχήμα Γ.5: Κάτοψη α' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG. ....	lxxxι
Σχήμα Γ.6: Κάτοψη α' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.....	lxxxι
Σχήμα Γ.7: Κάτοψη β' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG. ....	lxxxii
Σχήμα Γ.8 :κάτοψη β' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov. ....	lxxxii
Σχήμα Γ.9:Κάτοψη γ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.....	lxxxiii
Σχήμα Γ.10: Κάτοψη γ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο korobov.....	lxxxiii
Σχήμα Γ.11:Κάτοψη δ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG. ....	lxxxiv
Σχήμα Γ.12: Κάτοψη δ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.....	lxxxiv
Σχήμα Γ.13: κάτοψη ε' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG. ....	lxxxv
Σχήμα Γ.14: Κάτοψη ε' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov. ....	lxxxv
Σχήμα Γ.15: Κάτοψη στ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.....	lxxxvi
Σχήμα Γ.16: Κάτοψη στ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov. ....	lxxxvi
Σχήμα Γ.17: Κάτοψη ζ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG. ....	lxxxvii
Σχήμα Γ.18: Κάτοψη ζ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.....	lxxxvii
Σχήμα Γ.19: Κάτοψη η' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG. ....	lxxxviii
Σχήμα Γ.20: Κάτοψη η' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.....	lxxxviii
Σχήμα Γ.21: Κάτοψη θ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG. ....	lxxxix
Σχήμα Γ.22: Κάτοψη θ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.....	lxxxix
Σχήμα Γ.23: Κάτοψη ι' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG. ....	xc
Σχήμα Γ.24: Κάτοψη ι' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.....	xc
Σχήμα Δ.1: Περίπτωση 1.....	xcii
Σχήμα Δ.2: Περίπτωση 2.....	xcii
Σχήμα Δ.3: Περίπτωση 3.....	xcii
Σχήμα Δ.4: Περίπτωση 4.....	xcii
Σχήμα Δ.5: Περίπτωση 5.....	xciii
Σχήμα Δ.6: Περίπτωση 6.....	xciii
Σχήμα Δ.7: Περίπτωση 7.....	xciii
Σχήμα Δ.8: Περίπτωση 8.....	xciii
Σχήμα Δ.9: Περίπτωση 9.....	xciv
Σχήμα Δ.10: Περίπτωση 10.....	xciv
Σχήμα Δ.11: Περίπτωση 11.....	xciv
Σχήμα Δ.12: Περίπτωση 12.....	xciv
Σχήμα Δ.13: Περίπτωση 13.....	xcv
Σχήμα Δ.14: Περίπτωση 14.....	xcv

Σχήμα Δ.15: Περίπτωση 15.....	xcv
Σχήμα Δ.16: Περίπτωση 16.....	xcv
Σχήμα Δ.17: Περίπτωση 17.....	xcvi
Σχήμα Δ.18: Περίπτωση 18.....	xcvi
Σχήμα Δ.19: Περίπτωση 19.....	xcvi
Σχήμα Δ.20: Περίπτωση 20.....	xcvi
Σχήμα Δ.21: Περίπτωση 21.....	xcvii
Σχήμα Δ.22: Περίπτωση 22.....	xcvii
Σχήμα Δ.23: Περίπτωση 23.....	xcvii
Σχήμα Δ.24: Τελική σκάφη του υποθετικού ορυχείου υπολογισμένου με το πλήρες κόστος χωρίς τις εσωτερικές αποθέσεις. ....	xcvii
Σχήμα Ε.1: Ισοϋψείς και θέση τομών. ....	xcviii
Σχήμα Ε.2: Τομή SK0. ....	xcix
Σχήμα Ε.3: Τομή SK1.....	xcix
Σχήμα Ε.4: Τομή SK2. ....	xcix
Σχήμα Ε.5: Τομή SK3. ....	c
Σχήμα Ε.6: Τομή SK4. ....	c
Σχήμα Ε.7: Τομή SK5. ....	c
Σχήμα Ε.8: Τομή SK6. ....	ci
Σχήμα Ε.9: Τομή SK7. ....	ci
Σχήμα Ε.10: Τομή SK8. ....	ci
Σχήμα Ε.11: Τομή SK9.....	cii
Σχήμα Ε.12: Τομή SK10. ....	cii
Σχήμα Ε.13: Τομή SO0.....	ciii
Σχήμα Ε.14: Τομή SO1.....	ciii
Σχήμα Ε.15: Τομή SO2. ....	ciii
Σχήμα Ε.16: Τομή SO3. ....	civ
Σχήμα Ε.17: Τομή SO4. ....	civ
Σχήμα Ε.18: Τομή SO5. ....	civ
Σχήμα Ε.19: Τομή SO6. ....	cv
Σχήμα Ε.20: Τομή SO7. ....	cv
Σχήμα Ε.21: Τομή SO8. ....	cv
Σχήμα Ε.22: Τομή SO9. ....	cvi
Σχήμα Ε.23: Τομή SO10.....	cvi
Σχήμα Ε.24: Τομή SO11. ....	cvi
Σχήμα Ε.25: Τομή SO12. ....	cvi
Σχήμα Ε.26: Τομή SO13. ....	cvi
Σχήμα Ε.27: Τομή SO14. ....	cvi
Σχήμα Ε.28: Τομή SO15. ....	cvi
Σχήμα Ε.29: Τομή SO16. ....	cvi
Σχήμα Ε.30: Τομή SO17. ....	cvi
Σχήμα Ε.31: Τομή SO18. ....	cix
Σχήμα Ε.32: Τομή SO19. ....	cix
Σχήμα Ε.33: Τομή SO20. ....	cix
Σχήμα Ε.34: Τομή 1K0.....	cx
Σχήμα Ε.35: Τομή 1K1.....	cx
Σχήμα Ε.36: Τομή 1K2.....	cx
Σχήμα Ε.37: Τομή 1K3.....	cxii
Σχήμα Ε.38: Τομή 1K4.....	cxii
Σχήμα Ε.39: Τομή 1K5.....	cxii
Σχήμα Ε.40: Τομή 1K6.....	cxiii
Σχήμα Ε.41: Τομή 1K7.....	cxiii
Σχήμα Ε.42: Τομή 1K8.....	cxiii
Σχήμα Ε.43: Τομή 1K9.....	cxiv
Σχήμα Ε.44: Τομή 1K10.....	cxiv
Σχήμα Ε.45: Τομή 100. ....	cxv

Σχήμα E.46: Τομή 101.....	CXV
Σχήμα E.47: Τομή 102.....	CXV
Σχήμα E.48: Τομή 103.....	CXvi
Σχήμα E.49: Τομή 104.....	CXvi
Σχήμα E.50: Τομή 105.....	CXvii
Σχήμα E.51: Τομή 106.....	CXvii
Σχήμα E.52: Τομή 107.....	CXvii
Σχήμα E.53: Τομή 108.....	CXviii
Σχήμα E.54: Τομή 109.....	CXviii
Σχήμα E.55: Τομή 1010.....	CXviii
Σχήμα E.56: Τομή 1011.....	CXix
Σχήμα E.57: Τομή 1012.....	CXix
Σχήμα E.58: Τομή 1013.....	CXix
Σχήμα E.59: Τομή 1014.....	CXX
Σχήμα E.60: Τομή 1015.....	CXX
Σχήμα E.61: Τομή 1016.....	CXX
Σχήμα E.62: Τομή 1017.....	CXXi
Σχήμα E.63: Τομή 1018.....	CXXi
Σχήμα E.64: Τομή 1019.....	CXXi
Σχήμα E.65: Τομή 1020.....	CXXii
Σχήμα E.66: Τομή 2K0.....	CXXiii
Σχήμα E.67: Τομή 2K1.....	CXXiii
Σχήμα E.68: Τομή 2K2.....	CXXiii
Σχήμα E.69: Τομή 2K3.....	CXXiv
Σχήμα E.70: Τομή 2K4.....	CXXiv
Σχήμα E.71: Τομή 2K5.....	CXXiv
Σχήμα E.72: Τομή 2K6.....	CXXv
Σχήμα E.73: Τομή 2K7.....	CXXv
Σχήμα E.74: Τομή 2K8.....	CXXv
Σχήμα E.75: Τομή 2K9.....	CXXvi
Σχήμα E.76: Τομή 2K10.....	CXXvi
Σχήμα E.77: Τομή 200.....	CXXvii
Σχήμα E.78: Τομή 201.....	CXXvii
Σχήμα E.79: Τομή 202.....	CXXvii
Σχήμα E.80: Τομή 203.....	CXXviii
Σχήμα E.81: Τομή 204.....	CXXviii
Σχήμα E.82: Τομή 205.....	CXXviii
Σχήμα E.83: Τομή 206.....	CXXix
Σχήμα E.84: Τομή 207.....	CXXix
Σχήμα E.85: Τομή 208.....	CXXix
Σχήμα E.86: Τομή 209.....	CXXX
Σχήμα E.87: Τομή 2010.....	CXXX
Σχήμα E.88: Τομή 2011.....	CXXX
Σχήμα E.89: Τομή 2012.....	CXXXi
Σχήμα E.90: Τομή 2013.....	CXXXi
Σχήμα E.91: Τομή 2014.....	CXXXi
Σχήμα E.92: Τομή 2015.....	CXXXii
Σχήμα E.93: Τομή 2016.....	CXXXii
Σχήμα E.94: Τομή 2017.....	CXXXii
Σχήμα E.95: Τομή 2018.....	CXXXiii
Σχήμα E.96: Τομή 2019.....	CXXXiii
Σχήμα E.97: Τομή 2020.....	CXXXiii
Σχήμα E.98: Τομή 3K0.....	CXXXiv
Σχήμα E.99: Τομή 3K1.....	CXXXiv
Σχήμα E.100: Τομή 3K2.....	CXXXiv
Σχήμα E.101: Τομή 3K3.....	CXXXv

Σχήμα E.102: Τομή K4.....	CXXXV
Σχήμα E.103: Τομή 3K5.....	CXXXV
Σχήμα E.104: Τομή 3K6.....	CXXXVI
Σχήμα E.105: Τομή 3K7.....	CXXXVI
Σχήμα E.106: Τομή 3K8.....	CXXXVI
Σχήμα E.107: Τομή 3K9.....	CXXXVII
Σχήμα E.108: Τομή K10.....	CXXXVII
Σχήμα E.109: Τομή 3O0.....	CXXXVIII
Σχήμα E.110: Τομή 3O1.....	CXXXVIII
Σχήμα E.111: Τομή 3O2.....	CXXXVIII
Σχήμα E.112: Τομή 3O3.....	CXXXIX
Σχήμα E.113: Τομή 3O4.....	CXXXIX
Σχήμα E.114: Τομή 3O5.....	CXXXIX
Σχήμα E.115: Τομή 3O6.....	CXL
Σχήμα E.116: Τομή 3O7.....	CXL
Σχήμα E.117: Τομή 3O8.....	CXL
Σχήμα E.118: Τομή 3O9.....	CXLI
Σχήμα E.119: Τομή 3O10.....	CXLI
Σχήμα E.120: Τομή 3O11.....	CXLI
Σχήμα E.121: Τομή 3O12.....	CXLII
Σχήμα E.122: Τομή 3O13.....	CXLII
Σχήμα E.123: Τομή 3O14.....	CXLII
Σχήμα E.124: Τομή 3O15.....	CXLIII
Σχήμα E.125: Τομή 3O16.....	CXLIII
Σχήμα E.126: Τομή 3O17.....	CXLIII
Σχήμα E.127: Τομή 3O18.....	CXLIV
Σχήμα E.128: Τομή 3O19.....	CXLIV
Σχήμα E.129: Τομή 3O20.....	CXLIV

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1: Τιμές των παραμέτρων ποιότητας των συνήθων ενδιάμεσων στείρων και ανθρακομιγών σχηματισμών. ....	25
Πίνακας 3.1: Τρόπος σήμανσης των κόμβων του δικτύου με βάση τα χαρακτηριστικά του. ....	44
Πίνακας 4.1: Πάχη (m) διατρηθέντων σχηματισμών του συνθετικού κοιτάσματος και γραμμική ΣΕ. ....	52
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα υπολογισμών των αποθεμάτων χειρογραφικά. ....	53
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα υπολογισμών των αποθεμάτων με το Autocad. ....	53
Πίνακας 4.4: Περιπτώσεις και παράμετροι κάθε ομοιώματος από τα συνθετικά δεδομένα. ....	56
Πίνακας 4.5: Τυπικό απόσπασμα συνθετικών γεωτρητικών δεδομένων των λιγνιτικών γεωτρήσεων με πλήρη περιγραφή. ....	59
Πίνακας 4.6: Παράμετροι εισαγωγής και δεδομένα εξόδου του πραγματικού κοιτάσματος για διάφορες περιπτώσεις. ....	61

### Πίνακας Παραρτήματος

Πίνακας Ε.1: Κατηγορίες αποθεμάτων, εύρος αξιών και ειδικών αξιών, κωδικός χρώματος και χρώμα κατηγοριών. ....	cx
--	----

## Κατάλογος βραχυγραφιών

ΗΕ:	Ηλεκτρική Ενέργεια
ΕΕ:	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΑΠΕ:	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΦΑ:	Φυσικό Αέριο
ΑΗΣ:	Ατμοηλεκτρικός Σταθμός
ΑΔΙ:	Αποδεικτικά Διαθεσιμότητας Ισχύος
ΜΑΜΚ:	Μηχανισμός Ανάκτησης Μεταβλητού Κόστους
ΑΕγΠ:	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΕΛΣΤΑΤ:	Ελληνική Στατιστική Αρχή
ΔΕΗ:	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΦΚ:	Ειδικός Φόρος Κατανάλωσης
ΟΤΣ:	Οριακή Τιμή Συστήματος
NOME:	Nouvelle Organisation du Marché de l'électricité
TAP:	Trans Adriatic Pipeline
ΙΓΜΕ:	Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
ΛΚΔΜ:	Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας
ΕΚ:	Εκσκαφείς με Καδοτροχό
ΑΘΙ:	Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα
ΚΘΙ:	Κατώτερη Θερμογόνος Ικανότητα
Τ.ε.ξ:	Τέφρα επί ξηρού
ΚΜΛΕ:	Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών
ΗΠΑ:	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
LG:	Lerchs - Grossman
ΠΑ:	Παρούσα Αξία
ΚΠΑ:	Καθαρή Παρούσα Αξία
ΕΑΚ:	Εσωτερική Απόδοση Κεφαλαίου
ΦΠΑ:	Φόρος Προστιθέμενης Αξίας
Η/Υ:	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
ΣΕ:	Σχέση Εκμετάλλευσης
ΟΣΕ:	Οριακή Σχέση Εκμετάλλευσης
ΕΛΑΠΕ:	Ειδικός Λογαριασμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
Ε/Λ:	Σχέση Ενδιάμεσων προς Λιγνίτη
SSD:	Solid State Disk
SATA:	Serial Advanced Technology Attachment
RAM:	Random Access Memory
USGS:	United States Geological Survey
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
GDAL:	Geospatial Data Abstraction Library
CAD:	Computer-Aided Design
WGS:	World Geodetic System
ΕΓΣΑ:	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς
DEM:	Digital Elevation Model

Σύμβολο	Επεξήγηση	Μονάδα
KΘΙ	Κατώτερη θερμογόνοξ ικανότητα καυσίμου	$[\frac{kcal}{kg}]$
CO <sub>2</sub>	Ανόργανο διοξείδιο του άνθρακα περιεχόμενο στο καύσιμο	[%]
NO <sub>x</sub>	Οξειδία του αζώτου	[-]
SO <sub>x</sub>	Οξειδία του θείου	[-]
a <sub>0</sub>	Εντομή ΕΚ κατά την προχώρηση	[m]
R <sub>k</sub>	Ακτίνα καδοτροχού	[m]
Τ.ε.ξ	Περιεχόμενη τέφρα στο καύσιμο επί ξηρού	[%]
Υ <sub>γ</sub>	Υγρασία καυσίμου	[%]
d <sub>υ</sub>	Ισοδύναμο πάχος υβώματος κατά την εκλεκτική εξόρυξη	[m]
d <sub>δ</sub>	Ισοδύναμο πάχος διείσδυσης κατά την εκλεκτική εξόρυξη	[m]
S <sub>a,max</sub>	Επιφάνεια διείσδυσης του καδοτροχού	[m <sup>2</sup> ]
b <sub>i</sub>	Συντελεστές διείσδυσης σε κάθε στρώμα	[-]
d <sub>στ</sub>	Πάχος στρώματος	[m]
h	Πάχος εκσκαπτόμενης στοιβάδας	[m]
h'	Ύψος διείσδυσης στα υπερκείμενα στρώματα	[m]
n	Αριθμός πάσων ανά πακέτο	[-]
φ1	Αρχική γωνία ένταξης ΕΚ	[°]
φ2	Τελική γωνία ένταξης ΕΚ	[°]
φ	Μέγιστη γωνία ένταξης ΕΚ	[°]
θ <sub>0</sub>	Γωνία μετωπικού πρानούξ	[°]
π <sub>ΕΚ</sub>	Παραγωγικότητα ΕΚ	$[\frac{m^3_{\sigma\upsilon\mu\pi\alpha\gamma\acute{\eta}}}{h}]$
C <sub>fixed</sub>	Μόνιμος άνθρακας	[%]
M	Πλήρες κόστος εργασίας	$[\frac{\epsilon}{mo}]$
μ	Ημέρες εργασίας ανά μήνα	$[\frac{d}{mo}]$
Ω	Ώρες εργασίας ανά ημέρα	$[\frac{h}{d}]$
π <sub>ερ</sub>	Παραγωγικότητα εργασίας	$[\frac{m^3_{\sigma\upsilon\mu\pi\alpha\gamma\acute{\eta}}}{h}]$
A	Απόσταση μεταφοράς υλικών	[km <sup>2</sup> ]
K <sub>μ</sub>	Κόστος εργασίας ανά κυβοχιλιόμετρο	$[\frac{\epsilon}{m^3 km}]$
K <sub>ε</sub>	Κόστος καυσίμου ανά κυβοχιλιόμετρο	$[\frac{\epsilon}{m_e^3 km}]$
E <sub>κ</sub>	Ειδική κατανάλωση καυσίμου	$[\frac{kWh}{m_e^3}]$
K <sub>κ</sub>	Κόστος καυσίμου	$[\frac{\epsilon}{kWh}]$

Σύμβολο	Επεξήγηση	Μονάδα
$K_L$	Συνολικό κόστος εξόρυξη και αποκομιδής λιγνίτη	$[\frac{\epsilon}{m_{lig}^3}]$
$K_\alpha$	Συνολικό κόστος εξόρυξης και αποκομιδής αγόνων	$[\frac{\epsilon}{m_e^3}]$
$A_L$	Απόσταση μεταφοράς λιγνίτη	[km]
$A_\alpha$	Απόσταση μεταφοράς αγόνων	[km]
$\rho_L$	Μοναδιαίο κόστος εξόρυξη και αποκομιδής λιγνίτη ανά τονοχιλιόμετρο	$[\frac{\epsilon}{t\ km}]$
$\rho_\alpha$	Μοναδιαίο κόστος εξόρυξης και αποκομιδής αγόνων ανά τονοχιλιόμετρο	$[\frac{\epsilon}{t\ km}]$
$\rho_L$	Πυκνότητα λιγνίτη	$[\frac{t}{m^3}]$
$\rho_\alpha$	Πυκνότητα αγόνων	$[\frac{t}{m^3}]$
$K_{\alpha L}$	Άλλα κόστη εκμετάλλευσης (διοικητικά, αναλώσιμα, εργολαβίες κτλ.)	$[\frac{\epsilon}{m_e^3}]$
$K_{\alpha\pi}$	Κόστος απόσβεσης του εξοπλισμού	$[\frac{\epsilon}{m_e^3}]$
$K_\pi$	Κόστος εξόρυξης πακέτου με τον εμπλουτισμό	$[\frac{\epsilon}{m_\pi^3}]$
$\lambda$	Ποσοστό λιγνίτη στη τροφοδοσία	[-]
$K_{\text{συμ}}$	Κόστος αγοράς συμπυκνώματος	$[\frac{\epsilon}{m_{lig}^3}]$
$V_\pi$	Όγκος πακέτου	$[m_\pi^3]$
$C_s$	Ειδική κατανάλωση λιγνίτη	$[\frac{m^3}{MWh}]$ ή $[\frac{t}{MWh}]$
$\eta$	Απόδοση ΑΗΣ	[-]
$\rho$	Πυκνότητα καυσίμου	$[\frac{t}{m^3}]$
$Q_s$	Ειδικές εκπομπές CO <sub>2</sub> ανά τόνο λιγνίτη	$[\frac{t_{CO2}}{MWh}]$
$L$	Μάζα λιγνίτη	[t]
$W$	Μάζα υγρής τέφρας	[t]
$F$	Μάζα ιπτάμενης τέφρας	[t]
$C_L$	Ποσοστό άνθρακα στο λιγνίτη	[%]
$C_W$	Ποσοστό άνθρακα στην υγρή τέφρα	[%]
$C_F$	Ποσοστό άνθρακα στην ιπτάμενη τέφρα	[%]
$Q'_s$	Ειδικές εκπομπές CO <sub>2</sub> ανά κυβικό λιγνίτη	$[\frac{t_{CO2}}{m_{lig}^3}]$
$K_{\alpha\alpha}$	Κόστος ανασκαφών ανά τ.μ.	$[\frac{\epsilon}{m^2}]$
$K_\gamma$	Κόστος απαλλοτριώσεων ανά τ.μ.	$[\frac{\epsilon}{m^2}]$
$K_{\text{μετ}}$	Κόστος μετεγκατάστασης ανά τ.μ.	$[\frac{\epsilon}{m^2}]$
$K_\tau$	Κόστος αποκατάστασης περιβάλλοντος ανά τ.μ.	$[\frac{\epsilon}{m^2}]$
$K_{\text{επ}}$	Συνολικό επιφανειακό κόστος ανά τ.μ.	$[\frac{\epsilon}{m^2}]$
ΟΤΣ	Οριακή τιμή συστήματος	$[\frac{\epsilon}{MWh}]$
$K_{\text{ΑΗΣ}}$	Κόστος ΑΗΣ	$[\frac{\epsilon}{MWh}]$

Σύμβολο	Επεξήγηση	Μονάδα
$K_{op}$	Περιθώριο κέρδους ορυχείου	$[\frac{\epsilon}{MWh}]$
$K'_{op}$	Περιθώριο κέρδους ορυχείου ανά κυβικό λιγνίτη	$[\frac{\epsilon}{m_{lig}^3}]$
$K'_{AH\sigma}$	Κόστος ΑΗΣ ανά κυβικό λιγνίτη	$[\frac{\epsilon}{m_{lig}^3}]$
$K'_{OT\sigma}$	Οριακή τιμή συστήματος ανά κυβικό λιγνίτη	$[\frac{\epsilon}{m_{lig}^3}]$
$K_p$	Κόστος ρύπων ανά κυβικό λιγνίτη	$[\frac{\epsilon}{m_{lig}^3}]$
$K_\delta$	Κόστος αγορά δικαιωμάτων ρύπων	$[\frac{\epsilon}{t_{co2}}]$
$K'_\pi$	Κόστος πακέτου συμπεριλαμβανομένου του κόστους του ΑΗΣ	$[\frac{\epsilon}{m_{lig}^3}]$
$K'_{\epsilon\pi}$	Αποπληθωρισμένο ισοδύναμο κόστος επιφάνειας πακέτου	$[\frac{\epsilon}{m_\pi^3}]$
$K''_\pi$	Αποπληθωρισμένο κόστος πακέτου	$[\frac{\epsilon}{m_\pi^3}]$
$K''_{OT\sigma}$	Οριακή τιμή συστήματος ανά πακέτο	$[\frac{\epsilon}{m_\pi^3}]$
$EAK$	Εσωτερική απόδοση επί του κεφαλαίου	$[-]$
$A_\pi$	Αξία εξορυσσόμενου πακέτου (block)	$[\frac{\epsilon}{m_\pi^3}]$
$KPA_\pi$	Καθαρή παρούσα αξία πακέτου (block)	$[\frac{\epsilon}{m_\pi^3}]$
$\epsilon$	Πληθωρισμός	$[-]$
$t$	Έτος της εκμετάλλευσης	$[y]$
$T$	Συνολική διάρκεια της εκμετάλλευσης	$[y]$
$\xi$	Εύρος γωνίας εκμετάλλευσης	$[rad]$
$\omega$	Γωνιακή ταχύτητα τομοταινιών	$[\frac{rad}{y}]$
$\gamma$	Γωνιακή συντεταγμένη γεώτρησης	$[rad]$
$i$	Δείκτης θέσης του block	$[-]$
$j$	Δείκτης θέσης του block	$[-]$
$k$	Δείκτης θέσης του block	$[-]$
$X$	Συντεταγμένη του block	$[m]$
$\Psi$	Συντεταγμένη του block	$[m]$
$Z$	Συντεταγμένη του block	$[m]$
$z$	Σημείο εκτίμησης	$[-]$
$s_i$	Σημείο δειγματοληψίας	$[-]$
$X(z)$	Τιμή στο σημείο εκτίμησης	$[-]$
$X(s_i)$	Τιμή στο σημείο δειγματοληψίας	$[-]$
$p$	Δύναμη βαρών αντιστρόφων αποστάσεων	$[-]$
$x_i$	Κόμβος δενδροειδούς γραφήματος	$[-]$
$\Sigma$	Το σύνολο των κόμβων	$[-]$

Σύμβολο	Επεξήγηση	Μονάδα
$\kappa_{ij}$	Κλάδος δενδροειδούς γραφήματος	[-]
$K$	Το σύνολο των κλάδων	[-]
$\tau_{kl}$	Τόξο δενδροειδούς γραφήματος	[-]
$T$	Το σύνολο των τόξων	[-]
$\Gamma$	Σύμβολο γραφήματος	[-]
$\Delta$	Σύμβολο δέντρου	[-]
$x_0$	Ρίζα δέντρου	[-]
$x_\alpha$	Αρχικός κόμβος τόξου	[-]
$x_\tau$	Τελικός κόμβος τόξου	[-]
$O$	Σύνολο κόμβων μίας οικονομικά αποδεκτής εκσκαφής	[-]
$N$	Υποσύνολο του $O$	[-]

## Κεφάλαιο 1 : Αλληλεπιδράσεις λιγνιτωρυχείων - ηλεκτροπαραγωγής - εγχώριας οικονομίας

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής του ανθρώπου έχει ως αναπόσπαστο κομμάτι του την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, καθορίζοντας έτσι την ποιότητα ζωής του. Γι' αυτό η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να είναι διαθέσιμη σε επαρκή ποσότητα και ποιότητα οποιαδήποτε στιγμή σε ένα εύλογο κόστος. Αύξηση του κόστους ή έλλειψη επάρκειας της δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στη κοινωνία και προφανώς αυτό αποτυπώνεται στην οικονομία.

Βασικός πυλώνας της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η ελευθερία σε όλες τις μορφές. Δεν θα μπορούσε μία οικονομία να λειτουργεί εν ελευθερία εφόσον δεσπόζουν μονοπωλιακές εταιρίες που ελέγχουν την αγορά. Συνεπώς κρίνεται επιτακτική η δημιουργία συνθηκών ανταγωνισμού στη βάση του οποίου έχει αναπτυχθεί ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για την ενιαία Ευρωπαϊκή αγορά. Βασικό συστατικό της είναι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της επίδρασής της στην κοινωνία. Ωστόσο στην πράξη δεν είναι δυνατό με τις υπάρχουσες ρυθμίσεις να αναπτυχθούν συνθήκες υγιούς ανταγωνισμού στην αγορά αυτή, τουλάχιστον στην Ελλάδα. Βασική αιτία των στρεβλώσεων ή ασυμμετριών είναι η θεώρηση ότι τα οικονομικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα των λιγνιτικών κοιτασμάτων είναι σταθερά. Ωστόσο όταν υπάρχει μία, έστω και μικρή, επιβάρυνση στο κόστος παραγωγής των ορυχείων ή της μονάδας παραγωγής, λόγω των ρυθμίσεων, τα αποθέματα μειώνονται δυσανάλογα.

Εξ' αιτίας της αύξησης του κόστους εξόρυξης μειώνεται η ανταγωνιστικότητα των λιγνιτικών μονάδων και αντικαθίστανται τόσο με την εισαγωγή άλλων καυσίμων για ηλεκτροπαραγωγή όσο και με την παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ανάγκη εισαγωγής καυσίμων προκύπτει από την ανάγκη για εξισορρόπηση ισχύος του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής, η οποία με την σειρά της οφείλεται κυρίως στην αστάθεια των ανανεώσιμων τρόπων παραγωγής ενέργειας (εξάρτηση από τα καιρικά φαινόμενα).

Το νέο ενεργειακό μίγμα, το οποίο είναι αποτέλεσμα της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ, οδηγεί σε μειώσεις των επενδύσεων στα ορυχεία και περιορίζει την λειτουργία τους, συνεπώς αυξάνει επιπρόσθετα το μοναδιαίο κόστος εξόρυξης και τελικά αυτό οδηγεί στη μείωση της αποδοτικότητας των πόρων.

Με βάση την Ευρωπαϊκή Επιτροπή:

*Στόχος της αποδοτικότητας των πόρων είναι να αποδεσμευθεί η οικονομική ανάπτυξη από τη χρήση πόρων. Ωθεί την οικονομία να δημιουργήσει περισσότερα με λιγότερους πόρους, παρέχοντας μεγαλύτερη αξία με λιγότερες εισροές, χρησιμοποιώντας τους πόρους με βιώσιμο τρόπο και ελαχιστοποιώντας τον αντίκτυπό τους στο περιβάλλον.*

Γίνεται σαφές ότι ενώ καθορίζονται στόχοι από τους θεσμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως ο προηγούμενος, δεν δημιουργείται το κατάλληλο θεσμικό πλαίσιο για να επιτευχθούν. Με αποτέλεσμα πολλές φορές οι θεσπισμένοι στόχοι να έχουν αντίθετα αποτελέσματα από αυτά για τα οποία είχαν σχεδιαστεί.

### 1.1 : Πηγές ενέργειας και τρόποι παραγωγής ηλεκτρισμού

Οι κύριες πηγές ενέργειας είναι οι ορυκτοί υδρογονάνθρακες και γαιάνθρακες, η πυρηνική ενέργεια και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Κάθε μία από αυτές έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΗΕ) γι' αυτό θα πρέπει το ενεργειακό μίγμα μίας χώρας να περιλαμβάνει με τέτοιο τρόπο τις πηγές ενέργειας ώστε να ελαχιστοποιεί συνολικά τα μειονεκτήματα.

Κάθε καύσιμο μπορεί να είναι κατάλληλο για ορισμένες χώρες και ακατάλληλο για άλλες. Το ζητούμενο στα συστήματα ΗΕ είναι όχι μόνο το χαμηλό κόστος αλλά και η ικανότητα για ανταπόκριση στη ζήτηση, είτε αυτό σημαίνει απόσυρση είτε εισαγωγή της μονάδας παραγωγής στο σύστημα. Επίσης είναι σημαντικό το είδος και η ποσότητα της προστιθέμενης αξίας που δημιουργείται αλλά και το σύνολο του κύκλου εργασιών της επένδυσης.

Στη κατηγορία των ορυκτών καυσίμων κατατάσσονται οι γαιάνθρακες, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο (ΦΑ). Αποτελούν αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια μεγάλης ενεργειακής πυκνότητας, συνεπώς το κόστος αποθήκευσής και μεταφοράς είναι μικρό.

Το πετρέλαιο είναι ένα καύσιμο που σπάνια πλέον αξιοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή καθώς έχει μεγαλύτερη αξία όταν χρησιμοποιείται σαν καύσιμο κίνησης και θέρμανσης. Γίνεται προσπάθεια ώστε να αντικατασταθεί στην ηλεκτροπαραγωγή ακόμα και από χώρες παραγωγούς πετρελαίου καθώς αποτελεί πηγή σημαντικής εκροής συναλλάγματος. Χρησιμοποιείται μόνο σε έκτακτες καταστάσεις και σε ειδικές περιπτώσεις όπως τα νησιά του Αιγαίου, τη Κρήτη και τη Κύπρο. Παρά το ότι αυξάνει την ενεργειακή εξάρτηση, κατά την διύλιση και την εμπορία του δημιουργούνται αρκετές θέσεις εργασίας, συνεπώς ενώ αποτελεί

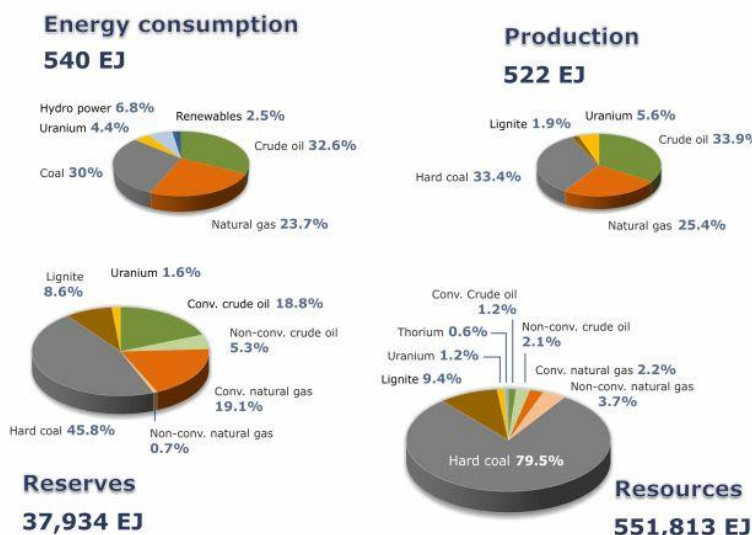
πηγή εκροής συναλλάγματος, αναπτύσσει την οικονομία ειδικά αν η χώρα προορισμού διαθέτει διυλιστήριο.

Το ΦΑ είναι ένα καύσιμο που δεν παράγει πολλούς ρύπους και δεν έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό δεν δημιουργεί παρά ελάχιστες θέσεις εργασίας καθώς δεν χρειάζεται πολύ επεξεργασία ούτε οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται από την χρήση του απαιτούν αντιμετώπιση. Όμως το κόστος διαχείρισης του είναι αυξημένο διότι δεσμεύονται σημαντικά κεφάλαια για την δημιουργία υποδομών, οι οποίες κατασκευάζονται συνήθως σε ασταθείς κοινωνικά περιοχές. Συνεπώς ο επενδυτής απαιτεί υψηλό ποσοστό κέρδους προκειμένου να αναλάβει αυτό το ρίσκο. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι η γρήγορη απόκριση των μονάδων ΦΑ στην ζήτηση, αυτό καθιστά τις μονάδες αυτές απαραίτητες για τα σύγχρονα συστήματα μεταφοράς ΗΕ ώστε να εξισορροπούνται στις έντονες μεταβολές. Τέλος αν μία χώρα δεν είναι παραγωγός ΦΑ η χρήση του αυξάνει την ενεργειακή της εξάρτηση.

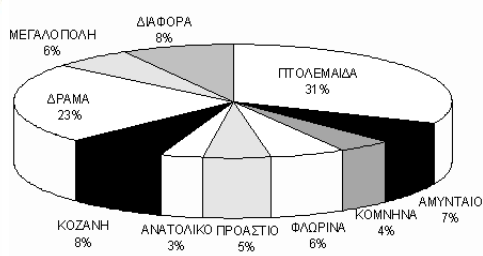
Οι γαιάνθρακες είναι στερεοί υδρογονάνθρακες με πολύ υψηλό ποσοστό ανόργανων συστατικών. Σε αντίθεση με το πετρέλαιο και το ΦΑ κατά την εξόρυξή τους και την καύση τους δημιουργούνται σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συνεπώς προκύπτουν θέσεις εργασίας πολλαπλάσιες απ' ότι στους «ρευστούς» υδρογονάνθρακες προκειμένου να διαχειριστεί αυτή η επέμβαση. Οι γαιάνθρακες έχουν χαμηλή τιμή πώλησης που αντιπροσωπεύει, σε μεγάλο βαθμό, το κόστος εργασίας σε αντίθεση με τα άλλα καύσιμα. Η χαμηλή τιμή πώλησης οφείλεται στο ότι δεν προσδίδουν στο σύστημα που τους χρησιμοποιεί υψηλούς βαθμούς ελευθερίας. Αυτό για ένα ατμοηλεκτρικό σταθμό (ΑΗΣ) σημαίνει ότι δεν μπορεί να ανταποκρίνεται με μεγάλη ταχύτητα στη ζήτηση ΗΕ. Βέβαια, επειδή οι γαιάνθρακες είναι ένα καύσιμο με πολλές ποικιλίες μία μονάδα με καύσιμο λιθάνθρακα είναι πιο ευέλικτη από μία με τύρφη. Στο Σχήμα 1.1 φαίνονται τα παγκόσμια ενεργειακά αποθέματα και η ενεργειακή κατανάλωση και στο Σχήμα 1.2 τα αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα ανά γεωγραφική περιοχή.

Όσον αφορά την πυρηνική ενέργεια αυτή μπορεί να παράγεται από πυρηνική σχάση ή σύντηξη. Το ιδιαίτερο πλεονέκτημα τους είναι το χαμηλό κόστος παραγωγής. Η πυρηνική σύντηξη, που βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο, πολλές φορές αναφέρεται σαν το «ιερό δισκοπότηρο» της επίλυσης του ενεργειακού προβλήματος. Τόσο η σύντηξη όσο και η σχάση έχουν περιορισμένες δυνατότητες ηλεκτροδότησης καθώς βασικό μειονέκτημα των δύο είναι η πολύ μικρή δυνατότητα που έχουν να μεταβάλουν την παρεχόμενη ισχύ τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το σύστημα ΗΕ στη Γαλλία που βασίζεται στην πυρηνική ενέργεια. Η πυρηνική παραγωγή παραμένει αμετάβλητη ενώ για την εξισορρόπηση του δικτύου χρησιμοποιείται ΗΕ από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Επίσης γίνονται πολλές εξαγωγές ΗΕ διότι διαφορετικά θα έπρεπε να μειωθεί η παραγωγή από τα πυρηνικά εργοστάσια κάτι που θα αύξανε το κόστος παραγωγής τους. Προφανώς το κόστος παραγωγής ΗΕ με πυρηνικά είναι εντάσεως κεφαλαίου και όχι εργασίας, επομένως δεν δημιουργούνται θέσεις εργασίας ανάλογες με μία μονάδα άνθρακα.

Οι ΑΠΕ μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, αυτές που είναι κατανεμόμενες και αυτές που δεν είναι. Μία κατανεμόμενη μονάδα παραγωγής ΗΕ μπορεί να παράγει ΗΕ σύμφωνα με την ζήτηση και όχι με στοχαστικό τρόπο. Τα υδροηλεκτρικά, τα γεωθερμικά και οι μονάδες βιομάζας είναι της πρώτης κατηγορίας ενώ τα αιολικά τα ηλιακά και άλλες ΑΠΕ εξαρτώνται από στοχαστικές διαδικασίες της φύσης ή του ανθρώπου.



Σχήμα 1.1: Παγκόσμια γεωλογικά και μεταλλευτικά αποθέματα ορυκτών καυσίμων και παραγωγή ενέργειας μετρημένα σε EJ (Schubert, 2016).



Σχήμα 1.2: Ελληνικά μεταλλευτικά αποθέματα λιγνίτη (4.5 Gt) ανά περιοχή (urptras, 2017).

Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των μονάδων ΑΠΕ είναι εντάσεως κεφαλαίου και χαμηλού μεταβλητού κόστους, συνεπώς δεν δημιουργούνται θέσεις εργασίας, ειδικά αν στη χώρα που εγκαθίσταται δεν παράγεται ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός. Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι υπό προϋποθέσεις εξοικονομούν καύσιμα τα οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να εισαχθούν. Ωστόσο καθώς είναι αναγκαίος ο δανεισμός κεφαλαίων αυτό δεν συνεπάγεται μείωση του κόστους της ΗΕ.

Οι στοχαστικές (μη κατανεμόμενες) ΑΠΕ αυξάνουν την τελική τιμή ΗΕ για τέσσερις βασικούς λόγους. Ο πρώτος είναι ότι αποζημιώνονται με ειδική τιμή και έχουν προτεραιότητα εισαγωγής τους στο σύστημα. Ο δεύτερος ότι απαιτούνται επικουρικά συστήματα αποθήκευσης ΗΕ ή εφεδρείες κατανεμόμενων μονάδων (οι οποίες εξαναγκάζονται να λειτουργούν με χαμηλό βαθμό απόδοσης) ή μηχανισμούς αποκοπής του φορτίου. Ο τρίτος είναι ότι για να ανταποκριθούν τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ΗΕ σε αυτές τις γρήγορες και στοχαστικές μεταβολές του φορτίου από θέση σε θέση απαιτούνται επενδύσεις οι οποίες επίσης αυξάνουν το τελικό κόστος. Ο τελευταίος σχετίζεται με τη διαμετακόμιση από κράτος σε κράτος η οποία διενεργείται από τους εμπόρους ΗΕ μόνο αν υπάρχει δυνατότητα υψηλής κερδοφορίας, το οποίο μεταφράζεται σε πολύ υψηλό κόστος για τον τελικό καταναλωτή.

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες έχουν προωθηθεί σε μεγάλο βαθμό οι στοχαστικές και υψηλού κόστους ΑΠΕ για δύο λόγους. Ο πρώτος έχει να κάνει με την ενεργειακή εξάρτηση των χωρών, ο δεύτερος αφορά θέματα υγιεινής, ασφάλειας, αισθητικής και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτοί οι λόγοι είναι βασικοί παράγοντες λήψης αποφάσεων στην ΕΕ διότι καθορίζουν το επίπεδο ελευθερίας μίας χώρας.

Όσον αφορά τα θέματα υγιεινής και αισθητικής καθώς η ποιότητα ζωής βελτιώνεται υπάρχει η ανάγκη για παραγωγικές διαδικασίες που επεμβαίνουν λιγότερο στη ζωή του ανθρώπου. Για τον λόγο αυτό οι τοπικές κοινωνίες αντιτίθενται στα έργα τόσο περισσότερο όσο πιο πολύ αυτά παρεμβαίνουν στην καθημερινότητά τους. Συνεπώς ορυχεία και ειδικότερα αυτά των γαιανθράκων που επηρεάζουν μεγάλες εκτάσεις και μάλιστα γης υψηλής παραγωγικότητας δεν έχουν, συνήθως, την απαιτούμενη κοινωνική αποδοχή. Επομένως αναζητούνται τρόποι ώστε να περιοριστεί ή να εξαλειφθεί η λειτουργία τους και τείνουν να αντικατασταθούν από τις ΑΠΕ σε συνεργασία με το ΦΑ.

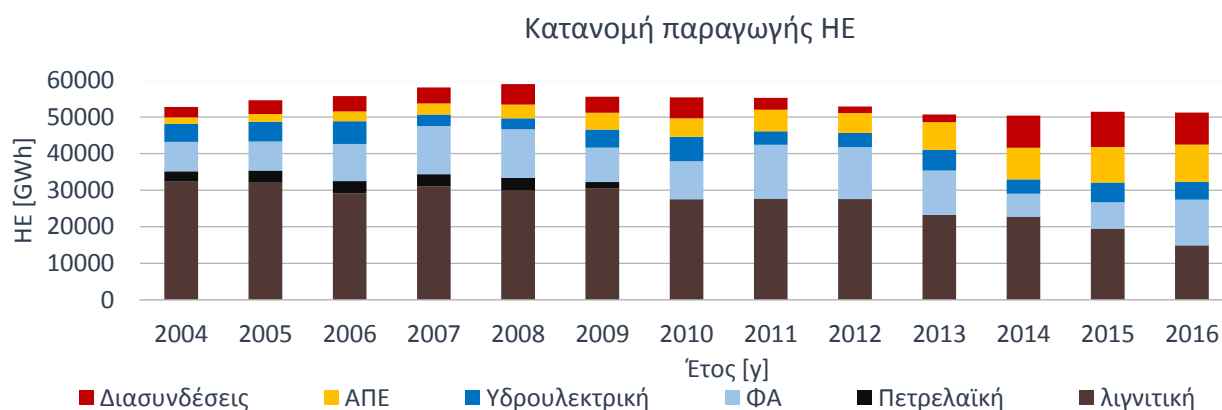
Η άλλη συνιστώσα είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το φαινόμενο αυτό δημιουργείται καθώς οι υδρατμοί, το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια γηγενή ή ανθρωπογενή παγιδεύουν ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα της γης με αποτέλεσμα αυτή να θερμαίνεται και να αναπτύσσονται έντονα καιρικά φαινόμενα. Αυτό συνέβαινε και παλιότερα ωστόσο καθώς ο πληθυσμός της γης έχει αυξηθεί, έχουν περιοριστεί τα εδάφη στα οποία επικρατούν σταθερότερες περιβαλλοντικές συνθήκες, συνεπώς οι άνθρωποι πλέον κατοικούν σε περιοχές με ευμετάβλητα καιρικά φαινόμενα. Αποτέλεσμα η όποια επιδείνωσή τους να επεμβαίνει περισσότερο στον τρόπο ζωής τους. Βεβαίως δεν έχει τεκμηριωθεί ότι το φαινόμενο δημιουργείται εξ' αιτίας των ανθρωπογενών εκπομπών των αερίων ή οφείλεται σε φυσικό κύκλο της γης. Ωστόσο λόγω της σημαντικότητας των καταστροφών ακόμα και ένα μικρό ενδεχόμενο πραγματοποίησης τους απαιτεί άμεσα μέτρα αντιμετώπισης. Αυτός είναι ο λόγος με τον οποίο, τουλάχιστον επικοινωνιακά, έχουν γίνει αποδεκτές οι μονάδες ΑΠΕ. Στο Σχήμα 1.3 είναι φανερή η αύξηση της παραγωγής ΑΠΕ, στην Ελλάδα, με ταυτόχρονη αύξηση των εισαγωγών και μείωση του ποσοστού αλλά και του απόλυτου μεγέθους της παραγωγής ΗΕ από λιγνίτη.

Τα καύσιμα-πηγές ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες. Στα καύσιμα υψηλής τιμής μονάδας ή εμπορεύσιμα και σε αυτά με χαμηλή τιμή μονάδας ή υψηλής εντοπιότητας. Αν ένα καύσιμο είναι υψηλής εντοπιότητας ή όχι καθορίζεται από την διαφορά κόστους παραγωγής και πώλησης του προϊόντος. Όσο αυξάνεται η εντοπιότητα τόσο περισσότερο μεγεθύνεται και αναπτύσσεται η οικονομία, για ίδια τιμή προϊόντος, καθώς αυξάνεται το κόστος παραγωγής. Ταυτόχρονα βέβαια αυξάνονται τα απαιτούμενα δεσμευμένα κεφάλαια και το ρίσκο της επένδυσης.

Για παράδειγμα το κοιτάσμα ΦΑ Αφροδίτη της Κύπρου είναι κοιτάσματα υψηλής εντοπιότητας καθώς λόγω του μεγάλου βάθους και των γεωπολιτικών προβλημάτων το κόστος εξόρυξης είναι πολύ μεγάλο αρά τα σχετικά υψηλά αποθέματα (200 BCM) δεν είναι ικανά για να χαρακτηριστεί το κοιτάσμα, ακόμη, εκμεταλλεύσιμο. Αντίθετα το κοιτάσμα Zohr της Αιγύπτου το οποίο είναι σαφώς μεγαλύτερο (850 BCM) αλλά με μικρότερο πορώδες και κατώτερη ποιότητα αερίου, επειδή δεν υπάρχουν οι γεωπολιτικοί περιορισμοί, ήδη βρίσκεται σε φάση ανάπτυξης παρόλο που είχε ανακαλυφθεί αργότερα.

## 1.2 : Επίδραση των λιγνιτωρυχείων στην εγχώρια και τοπική οικονομία

Ένα λιγνιτωρυχείο επιδρά με δύο διαφορετικούς μηχανισμούς στο τρόπο που αναπτύσσεται η οικονομία. Ο πρώτος σχετίζεται με την υψηλή διαθεσιμότητα των λιγνιτικών ΑΗΣ, λόγω της διαθεσιμότητας



Σχήμα 1.3: Κατανομή παραγωγή ΗΕ ανά καύσιμο (ΑΔΜΗΕ, 2004-2016).

του λιγνίτη, το οποίο συνεπάγεται ασφάλεια εφοδιασμού, ενεργειακή ανεξαρτησία και τελικά μεταφράζεται σε χαμηλά εμπορικά ελλείμματα. Ο δεύτερος είναι η προστιθέμενη αξία που προσφέρει και συνεπώς το χαμηλό κόστος ΗΕ. Υψηλή προστιθέμενη αξία μεταφράζεται σε χαμηλό κόστος παραγωγής καθώς μπορούν να ελεγχθούν οι δαπάνες παραγωγής. Το χαμηλό κόστος παραγωγής με την σειρά του ευθύνεται για την ανάπτυξη της βιομηχανίας και της υπόλοιπης οικονομίας.

Από το Σχήμα 1.4 και το Σχήμα 1.5 διαπιστώνεται ότι μετά την κάμψη της λιγνιτικής παραγωγής διευρύνθηκε το έλλειμμα στο εμπορικό ισοζύγιο της Ελλάδας που αφορά την ΗΕ. Το 2011, 2012 και 2013 το έλλειμμα συρρικνώθηκε κάτι το οποίο δεν οφείλεται στην αύξηση της λιγνιτικής παραγωγής η οποία αντιθέτως μειώθηκε. Σχετίζεται με τα έσοδα των μονάδων φυσικού αερίου από τα αποδεικτικά διαθεσιμότητας ισχύος (ΑΔΙ) και από τον μηχανισμό ανάκτησης μεταβλητού κόστους (ΜΑΜΚ), με την διακοπή αυτών αυξήθηκαν πάλι οι εισαγωγές. Το μέγεθος του ελλείμματος είναι σημαντικό στο εμπορικό ισοζύγιο διότι αποτελεί ανελαστική δαπάνη, συνεπώς είναι υποχρεωτικό να αντικατασταθεί από εισαγωγές ολόκληρη η μείωση της λιγνιτικής παραγωγής καθώς είναι ο επόμενος οικονομικότερος τρόπος για να «παραχθεί» ενέργεια. Όμως αυτό έχει πολύ σημαντικές επενέργειες στην εγχώρια οικονομία όχι μόνο διότι γίνεται εξαγωγή συναλλάγματος αλλά με την αποανάπτυξη των ορυχείων συρρικνώνεται ισόποσα και η εγχώρια οικονομία. Τελικά το έλλειμμα είναι διπλό αφού θα πρέπει να στηριχθούν οι θιγόμενες περιοχές.

Η σημασία των ορυχείων λιγνίτη τόσο στην τοπική όσο και την υπόλοιπη οικονομία αποτυπώνεται στα στατιστικά στοιχεία. Είναι φανερό ότι το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕγΠ) (Σχήμα 1.6) σχετίζεται με την παραγωγή λιγνίτη (Σχήμα 1.4) στους νομούς Φλώρινας και Κοζάνης. Η πτώση παραγωγής έχει επίπτωση στην μείωση του ΑΕγΠ και των δύο νομών λόγω συνεργειών που αναπτύσσονται μεταξύ όλων των ορυχείων και των ΑΗΣ. Υπάρχει μία υστέρηση του ΑΕγΠ με την παραγωγή λιγνίτη καθώς ένα ορυχείο έχει κάποια «αδράνεια» και δεν μπορεί να αυξομειώνει τις δαπάνες του με βάση την προσφορά και την ζήτηση της ΗΕ, έτσι πρώτα μειώνεται η παραγωγή και ύστερα αυτό αποτυπώνεται στο ΑΕγΠ.

Στο Σχήμα 1.7 είναι φανερό πως στο κατά κεφαλήν ΑΕγΠ υπάρχει μία κάμψη ήδη από το 2006-2007 κι αυτό οφείλεται στην πτώση των εκσκαφών των ορυχείων λιγνίτη. Πρόδηλη είναι η εξάρτηση της τοπικής κοινωνίας από την παραγωγή λιγνίτη η οποία εξασφαλίζει ένα καλό επίπεδο εισοδήματος. Το μέσο εισόδημα είναι παρόμοιο με τον μέσο όρο όλης της Ελλάδας και ένα από τα υψηλότερα σε όλη την επικράτεια, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η Δυτική Μακεδονία είναι η μόνη περιφέρεια στην Ελλάδα που δεν έχει επαφή με την θάλασσά και συνεπώς έχει περιορισμένες αναπτυξιακές προοπτικές. Εμφανίζοντας ένα από τα υψηλότερα ΑΕγΠ είναι εύκολο να εικαστεί ότι αυτό οφείλεται στην παραγωγή λιγνίτη. Πράγματι μελετώντας την προστιθέμενη αξία των ορυχείων (Σχήμα 1.8), η οποία είναι κομμάτι του τοπικού ΑΕγΠ, διαπιστώνεται πως πάνω από το μισό ΑΕγΠ οφείλεται άμεσα στα ορυχεία.

Η προστιθέμενη αξία των ορυχείων ταυτίζεται με την παραγωγή λιγνίτη και κυρίως με το σύνολο των εκσκαφών. Αυτό συμβαίνει καθώς η παραγόμενη αξία οφείλεται στην εργασία, όσο περισσότερες είναι οι εκσκαφές τόσο μεγαλύτερη θα είναι η προστιθέμενη αξία. Γι' αυτό η παραγωγή λιγνίτη μπορεί να μειώνεται αλλά η προστιθέμενη αξία να αυξάνεται. Σε μία περαιτέρω ανάλυση διαπιστώνεται πως η αξία παράγεται εξ' αιτίας της δυσκολίας εξόρυξης (Κεφάλαιο 2), αυτό είναι και το βασικό πλεονέκτημα των ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων και εν δυνάμει μειονέκτημα. Είναι αυτό που κάνει τον Ελληνικό λιγνίτη τον πιο αποδοτικό πόρο ώστε να παραχθεί ΗΕ καθώς έχει χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο με αποτέλεσμα να περιέχει πολύ υψηλό ποσοστό εγχώριας προστιθέμενης αξίας και ειδικά κόστους εργασίας. Συνεπώς για κάθε μονάδα ΗΕ δημιουργούνται περισσότερες εγχώριες θέσεις εργασίας σε σχέση με άλλες πηγές ΗΕ.



Σχήμα 1.4: Διαχρονική παραγωγή λιγνίτη 1970-2012.

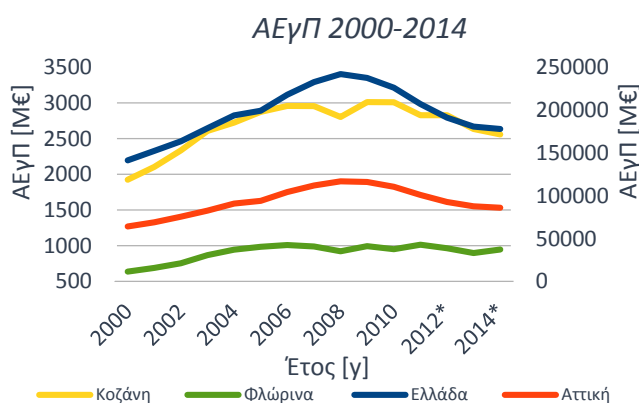


Σχήμα 1.5: Εμπορικό ισοζύγιο ΗΕ Ελλάδας 2004-2015 (ΕΛΣΤΑΤ, 2015).

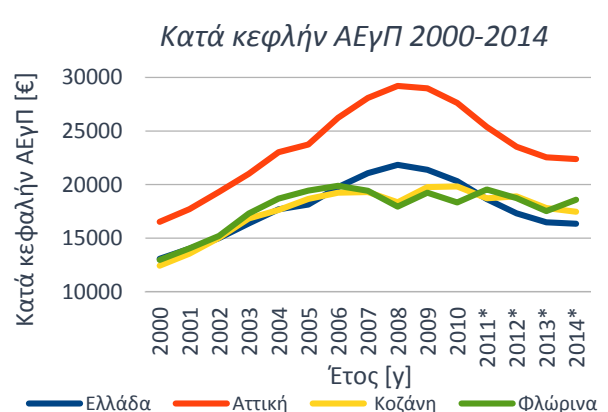
Στο Σχήμα 1.9 φαίνεται η απασχόληση σε διάφορους κλάδους της οικονομίας και περιοχές της επικράτειας. Στα ορυχεία – λατομεία σε όλη την Ελλάδα απασχολούνται άμεσα 10000 με 15000 άτομα ενώ υπάρχει μία μεγάλη μείωση διαχρονικά. Αυτό δεν είναι ακριβές καθώς λόγω της εργολαβικής εργασίας αποκρύπτεται μεγάλος αριθμός εργαζομένων που προσμετρείται κυρίως στο κλάδο των κατασκευών. Χαρακτηριστικό είναι ότι όποτε υπήρχαν «αναταράξεις» στην παγκόσμια οικονομία υπήρχε εμφανής μείωση στην απασχόληση του προσωπικού. Αυτό συμβαίνει λόγω του εξωστρεφούς χαρακτήρα της εξορυκτικής βιομηχανίας εκτός βέβαια τη βιομηχανία λιγνίτη και αρκετών λατομείων αδρανών υλικών.

Είναι πρόδηλο ότι η πορεία της απασχόλησης στη Δυτική Μακεδονία τόσο στο κλάδο ορυχείων-ηλεκτρισμού όσο και στις κατασκευές σχετίζονται με την λειτουργία των ορυχείων. Διακρίνεται ένα τοπικό μέγιστο το 2008 που συμβαδίζει με το ΑΕΓΠ, ωστόσο τα τελευταία χρόνια υπάρχει αύξηση στις κατασκευές που οφείλεται στην κατασκευή της νέας μονάδας αλλά και στις μετεγκαταστάσεις που υλοποιούνται.

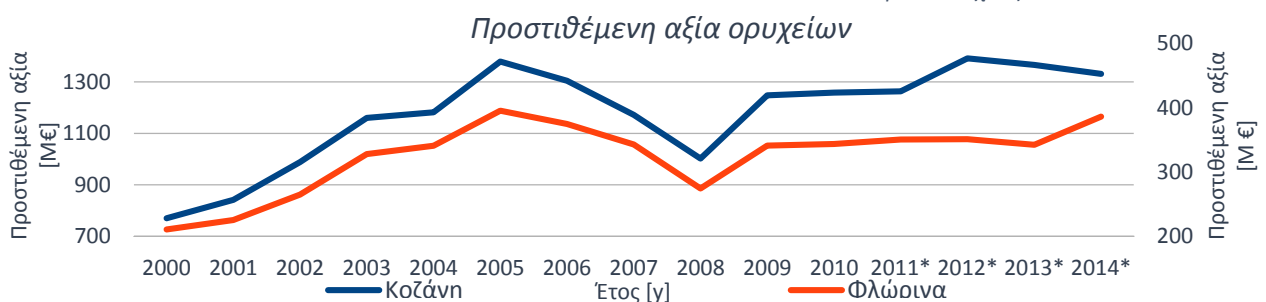
Το κόστος εργασίας είναι ένας από τους συντελεστές της προστιθέμενης αξίας ο άλλος είναι το ποσοστό κέρδους του επενδυτή. Από το Σχήμα 1.12 συμπεραίνεται ότι η προστιθέμενη αξία σε βιομηχανίες είναι εξαιρετικά μικρή λόγω της μεγάλης εξάρτησης από της εισαγωγές αγαθών. Επίσης διαπιστώνεται πως οι επενδύσεις είναι σε αρκετά μικρό ποσοστό ενώ η εργασία σε υψηλότερο δηλαδή παράγεται αξία λόγω της αξιοποίησης του εργατικού δυναμικού και όχι του κεφαλαίου, ενώ πολύ μεγάλο είναι το ποσοστό κέρδους των επενδυτών. Οι υποκλάδοι ηλεκτρισμού και λιγνιτωρυχείων αποτελούν περίπου το 15% της αξίας της βιομηχανίας.



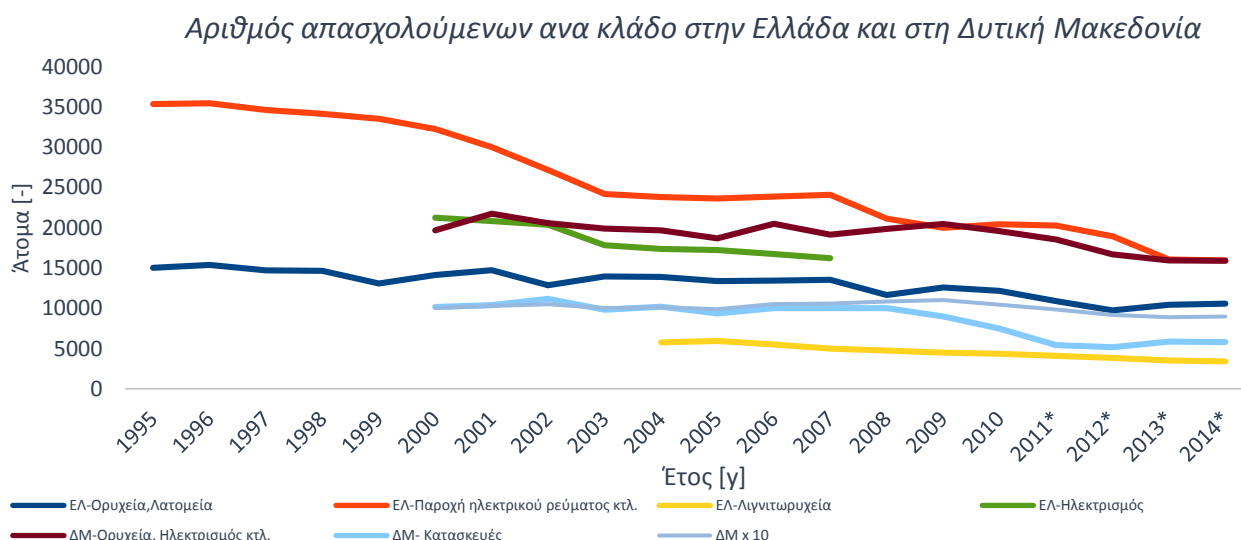
Σχήμα 1.6: ΑΕΓΠ Ελλάδας, Αττικής, Κοζάνης και Φλώρινας ετών 2000-2014 (ΕΛΣΤΑΤ, 2017α), \*Προσωρινά στοιχεία).



Σχήμα 1.7: Κατά κεφαλήν ΑΕΓΠ Ελλάδας, Αττικής, Κοζάνης και Φλώρινας ετών 2000-2014 (ΕΛΣΤΑΤ, 2017β), \*Προσωρινά στοιχεία).



Σχήμα 1.8: Προστιθέμενη αξία ορυχείων περιοχής Κοζάνης - Φλώρινας (ΕΛΣΤΑΤ, 2017c), \*Προσωρινά στοιχεία).



Σχήμα 1.9: Αριθμός απασχολούμενων ανά κλάδο στην Ελλάδα και την Δυτική Μακεδονία (ΔΕΗ, 2014; ΕΛΣΤΑΤ, 2016, 2017d).

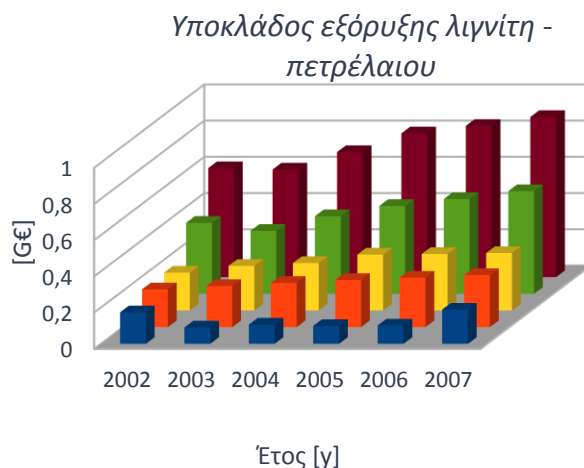
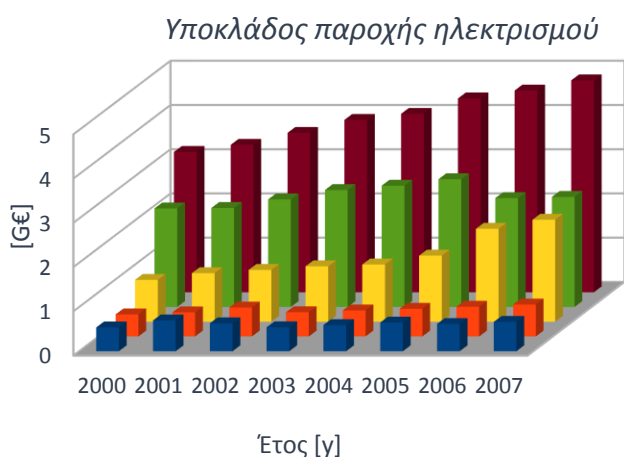
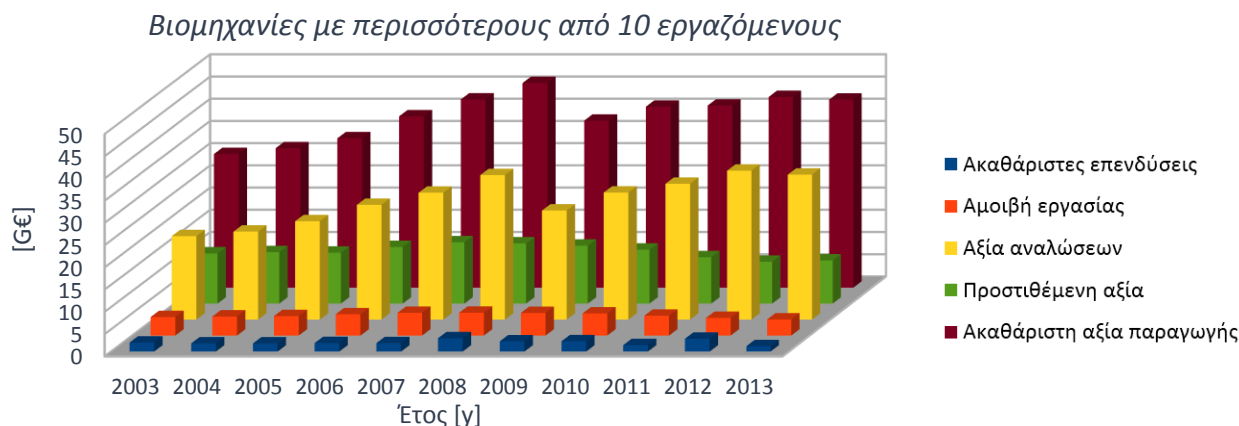
Το 2006 και το 2007 η προστιθέμενη αξία μειώνεται καθώς η τιμή του πετρελαίου βαδίζει σε ανοδική πορεία και συμπαράσφύρει τη τιμή του ΦΑ. Επίσης άρχισαν να ενσωματώνονται και αρκετές μονάδες ΑΠΕ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται οι τιμές αλλά να μην αυξάνεται η προστιθέμενη αξία στην Ελλάδα διότι οι τιμές αυτές αντανακλούν υψηλό δανεισμό ή την άμεση αγορά εξοπλισμού ή καυσίμου από το εξωτερικό και όχι σε εργασία ή ποσοστό κέρδους του επενδυτή.

Στον υποκλάδο των ορυχείων (Σχήμα 1.14) η εικόνα αλλάζει ριζικά. Η προστιθέμενη αξία είναι πολύ υψηλή καθώς οι αναλώσεις είναι χαμηλές. Αυτές δε, οφείλονται σε εργολαβίες και όχι σε εισαγωγές προϊόντων από άλλες χώρες ή περιοχές της επικράτειας. Το ποσοστό εργασίας είναι σε υψηλά επίπεδα το οποίο δείχνει την αύξηση των μισθών γιατί το προσωπικό μειώθηκε.

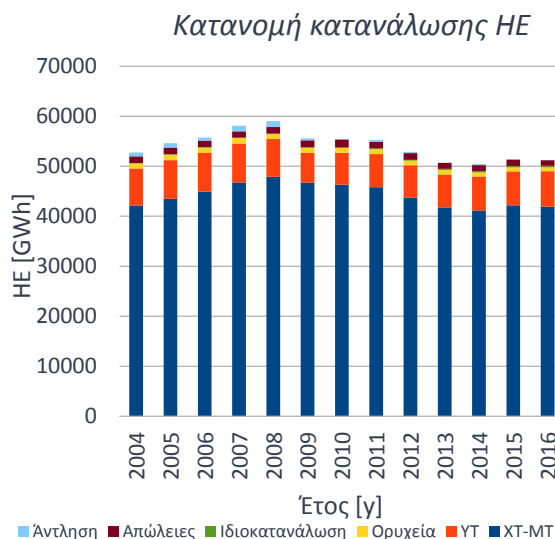
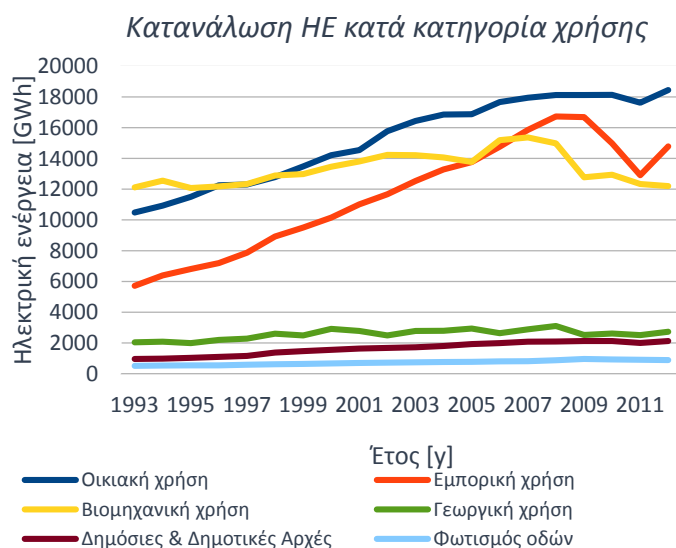
Θα πρέπει να αναφερθεί ότι είναι πολύ σημαντικό όχι μόνο το ποσοστό της προστιθέμενης αξίας αλλά και η σύνθεσή της. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό μέσα από ένα παράδειγμα, στα τέλη του 2016 μία ελληνική εταιρία η Ενεργειακή Αιγαίου (ENERGEAN OIL & GAS), προέβει στην αγορά δικαιωμάτων εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων ΦΑ Karish και Tanin στο Ισραήλ, συνολικού μεγέθους 70 BCM. Η αγορά αυτή είχε αξία 148.5 Μ€ σχεδόν ίδιο ήταν το ποσό για την μετεγκατάσταση του οικισμού της Ποντοκώμης για την διάνοξη του ορυχείου Υψηλάντη. Το κόστος ανάπτυξης των δύο κοιτασμάτων ΦΑ εκτιμάται σε 1.5 Γ€ και τα συνολικά έσοδα εκτιμώνται σε 7 Γ€. Αντίστοιχα το ορυχείο Υψηλάντη εκτιμάται ότι περιέχει 300 Mt λιγνίτη που αντιστοιχεί περίπου σε 4.5 Γ€. Εκ πρώτης όψεως μία επένδυση στα κοιτάσματα ΦΑ φαίνεται πιο συμφέρουσα. Όμως δεν είναι απαραίτητα σωστή αυτή η επιλογή καθώς η διάρθρωση της προστιθέμενης αξίας είναι διαφορετική.

Στη περίπτωση του κοιτάσματος ΦΑ καθώς το μεταβλητό κόστος είναι μικρό η προστιθέμενη αξία αποτελείται κυρίως από το ποσοστό κέρδους του επενδυτή και όχι από το υψηλό ποσοστό εργασίας. Στη δεύτερη περίπτωση το κόστος παραγωγής είναι ίδιο με την τιμή πώλησης και πρακτικά ένα ποσοστό άνω του 50% αφορά εργατικό κόστος. Στην μεν πρώτη περίπτωση το κόστος αφορά φόρους, κέρδος του επενδυτή και δανεισμό με το ποσοστό της εργασίας να είναι χαμηλό. Στην δεύτερη περίπτωση οι φόροι και το κέρδος του επενδυτή είναι σε πολύ χαμηλά έως μηδενικά επίπεδα αλλά το ποσοστό εργασίας πολύ υψηλό. Συνεπώς η βιωσιμότητα της επένδυσης εξαρτάται από το πόσο η αγορά μπορεί να αποδεχτεί ένα ακριβό προϊόν ενώ στην άλλη περίπτωση από το πόσο μπορεί να συμπιεστεί το κόστος εργασίας. Στη πρώτη περίπτωση πρέπει τα κεφάλαια να επανεπενδυθούν με ένα επίσης υψηλό ποσοστό κέρδους πιθανόν σε άλλη περιοχή ενώ στην περίπτωση του λιγνιτωρυχείου τα «κέρδη» μεταφράζονται σε μισθούς προσωπικού και διασπείρονται στην εγχώρια οικονομία. Είναι φανερό ότι το ύψος της επένδυσης δεν είναι απαραίτητα απόλυτο μέτρο για την σύγκριση δύο επενδύσεων καθώς έχουν σημασία και άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά της επένδυσης.

Από το Σχήμα 1.10 και το Σχήμα 1.11 φαίνεται ότι η αύξηση της παραγωγής τροφοδοτούσε την οικιακή και εμπορική χρήση. Δεν συνάγεται ότι λόγω της λιγνιτικής παραγωγής υπήρχε ανάπτυξη αλλά αυτή θα ήταν ηπιότερη αν δεν υπήρχε η λιγνιτική παραγωγή. Επίσης συμπεραίνεται ότι την οικονομική ανάπτυξη τροφοδότησε ο τριτογενής τομέας με ταυτόχρονη αποβιομηχάνιση της οικονομίας. Την περίοδο του 2000 που ήταν αναγκαία η ύπαρξη του λιγνίτη στο ενεργειακό μίγμα ώστε να στηριχτεί η ανάπτυξη άρχισε η στασιμότητα και μετά η αποεπένδυση των ορυχείων.



Τελευταία επένδυση ήταν αυτή του σταθμού Μελίτη Ι με πολύ σοβαρά προβλήματα τροφοδοσίας λιγνίτη. Πρόσφατα άρχισε να κατασκευάζεται η νέα μονάδα Πτολεμαΐδα V, η οποία όμως δεν μπορεί να μειώσει από μόνη της το ρυθμό αποεπένδυσης των ορυχείων και σταθμών παραγωγής. Απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις σε ορυχεία ώστε να αυξηθούν τα απολήψιμα αποθέματα καθώς υπάρχουν πολύ μεγάλα περιθώρια αύξησής τους. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κατανάλωση ΗΕ στην Ελλάδα αυξάνεται μόνο από την οικιακή και εμπορική χρήση και όχι από την βιομηχανία. Αυτό διασφαλίζει πολύ μεγάλα περιθώρια κέρδους στους εμπόρους ΗΕ.



### 1.3 : Ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα

Βασικό στοιχείο στον ενεργειακό σχεδιασμό είναι η διαθεσιμότητα και η αξία παραγωγής ή εισαγωγής του καυσίμου. Ωστόσο υπάρχουν και εξωτερικοί κόστος όπως η επίδραση στην εγχώρια οικονομία και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, το οποίο δεν σχετίζεται με την αγορά ΗΕ αλλά θα πρέπει να σταθμιστεί. Όπως αναφέρθηκε βασικό στοιχείο που διαμορφώνει την αγορά είναι οι πολιτικές της ΕΕ, αυτές αφορούν την παραγωγή ΗΕ από ΑΠΕ και την ανάπτυξη ανταγωνισμού στην αγορά ΗΕ. Οι ρυθμίσεις έγιναν θεωρώντας ότι τα αποθέματα των ορυκτών πόρων είναι σταθερά. Όμως το μοναδιαίο κόστος εξόρυξης των κοιτασμάτων υψηλής εντοπιότητας όπως τα λιγνιτικά αυξάνεται γρήγορα με μικρή πτώση της τιμής πώλησης της ΗΕ. Αυτό τελικά εντείνει την ενεργειακή εξάρτηση.

#### 1.3.1 : Η αλληλεπίδραση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με τα λιγνιτωρυχεία

Από το Σχήμα 1.3 συμπεραίνεται ότι διαχρονικά υπάρχει μείωση της λιγνιτικής παραγωγής ΗΕ με ταυτόχρονη αύξηση αυτής του ΦΑ, των εισαγωγών και των ΑΠΕ πλην υδροηλεκτρικών. Η μείωση παραγωγής ΗΕ από λιγνίτη είναι απόρροια των πολιτικών της ΕΕ που υλοποιούνται με συγκεκριμένες ρυθμίσεις αλλά τελικά απορυθμίζουν την αγορά ΗΕ. Η μείωση επέρχεται καθώς οι πολιτικές αυτές επηρεάζουν τον τρόπο που αλληλεπιδρούν οι μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας των διαφορετικών «καυσίμων».

Στον εξωχώριο ανταγωνισμό λόγω των διασυνδέσεων είναι δυνατόν να εισαχθεί ενέργεια από χώρες με δυσμενέστερες εργασιακές σχέσεις και πιο χαλαρό ρυθμιστικό πλαίσιο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εισαγωγή ΗΕ παραγμένης σε πυρηνικά εργοστάσια από την Βουλγαρία, την Ρουμανία, την Ουγγαρία, την Σλοβενία και την Σλοβακία, επίσης από εργοστάσια με καύσιμο τον λιγνίτη από την Σερβία, τα Σκόπια και την Τουρκία. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στο εμπορικό ισοζύγιο της Ελλάδας (Σχήμα 1.5) ενώ ταυτόχρονα αφαιρείται προστιθέμενη αξία από την εγχώρια οικονομία.

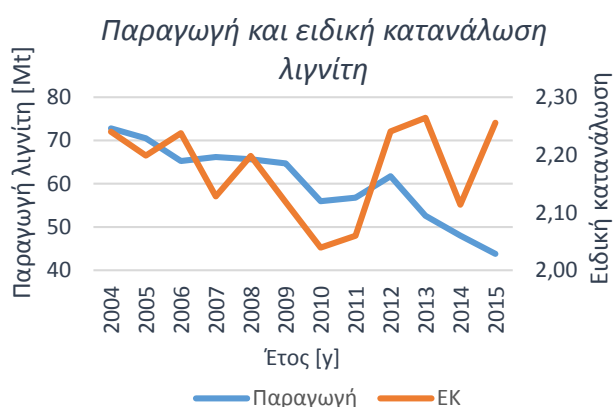
Ο εγχώριος ανταγωνισμός προέρχεται από τις μονάδες ΦΑ. Λόγω της εξαίρεσης του ειδικού φόρου κατανάλωσης (ΕΦΚ) του ΦΑ στη τιμολόγηση της οριακής τιμής του συστήματος (ΟΤΣ) και της πώσης της τιμής του, οι μονάδες ΦΑ γίνονται περισσότερο ανταγωνιστικές σε σχέση με αυτές του λιγνίτη. Τα ορυχεία δεν είναι δυνατόν να συμπίεσουν το κόστος τους καθώς απασχολούν εργαζόμενους υψηλής εξειδίκευσης με ανελαστικές σχέσεις εργασίας και χρησιμοποιούν εξοπλισμό που αποσβέννεται σε αρκετά χρόνια. Συνεπώς καθώς η παραγωγή ΗΕ δεν είναι συμβολαιοποιημένη οι μονάδες ΦΑ γίνονται πιο ανταγωνιστικές.

Οι ΑΠΕ λόγω της στοχαστικότητας και της υποχρεωτικής έκχυσης της παραγόμενης ΗΕ, επηρεάζουν με δύο τρόπους την παραγωγή από λιγνίτη. Με τον πρώτο τρόπο αυξάνουν την ειδική κατανάλωση καυσίμου στους λιγνιτικούς ΑΗΣ καθώς είτε χρησιμοποιούνται σαν εφεδρείες είτε λειτουργούν στα τεχνικά ελάχιστα. Η λειτουργία στα τεχνικά ελάχιστα γίνεται καθώς πλέον έχει αντικατασταθεί η λιγνιτική παραγωγή από την συνεργασία μονάδων ΑΠΕ - εφεδρειών. Ο δεύτερος τρόπος είναι η μείωση της παραγωγής που συνεπάγεται μείωση των εκσκαφών και αύξηση του μοναδιαίου κόστους εξόρυξης λόγω της απομεγέθυνσης της οικονομίας κλίμακας που έχει αναπτυχθεί. Με την αύξηση της ειδικής κατανάλωσης και την μείωση της παραγωγής μειώνεται η τιμή πώλησης του λιγνίτη άρα μειώνεται η εκμεταλλευσιμότητα του εκάστοτε κοιτάσματος.

#### 1.3.2 : Η αλληλεπίδραση των κανόνων της ΕΕ και της αγοράς ΗΕ με τα λιγνιτωρυχεία

Η αγορά ΗΕ αποτελείται από την χονδρική και την λιανική αγορά ΗΕ. Η τιμή ΗΕ στο λιανικό εμπόριο για τους οικιακούς και εμπορικούς καταναλωτές είναι τάξης μεγέθους 130 - 120 €/MWh, για τους βιομηχανικούς καταναλωτές 50 €/MWh ενώ για τις πολύ μεγάλες βιομηχανίες στα 35 - 30 €/MWh. Το Μέσο κόστος παραγωγής για συμβατικές και μονάδες ΑΠΕ φαίνεται στο Σχήμα 1.17 και στο Σχήμα 1.18. Είναι φανερό ότι το κόστος παραγωγής δεν ανταποκρίνεται στο κόστος πώλησης, αυτό συμβαίνει διότι η αγορά λειτουργεί κάτω από αυστηρούς περιοριστικούς κανόνες.

Προκειμένου να δημιουργηθούν συνθήκες ανταγωνισμού στην αγορά ΗΕ υιοθετήθηκαν οι δημοπρασίες τύπου NOME (nouvelle organisation du marché de l'électricité) (δημοπρασίες για την αναδιάρθρωση της αγοράς ενέργειας της Γαλλίας). Οι δημοπρασίες αυτού του τύπου, στην Ελληνική εκδοχή τους, κοστολογούν με βάση μέρους του κόστους λειτουργίας των ορυχείων και των ΑΗΣ την τιμή πώλησης της ΗΕ στη χονδρική αγορά. Εφαρμόστηκαν σαν ένα μεταβατικό μέτρο για να αποκτήσουν πρόσβαση οι ανεξάρτητοι προμηθευτές ΗΕ σε φτηνή παραγωγή ΗΕ. Σύμφωνα με αυτή την τιμή γίνονται δημοπρασίες στις οποίες



Σχήμα 1.15 Παραγωγή και ειδική κατανάλωση λιγνίτη 2004-2015. (ΑΔΜΗΕ, 2017)



Σχήμα 1.16 Μηνιαία χρηματιστηριακή τιμή δικαιωμάτων CO<sub>2</sub>. (ΛΑΓΗΕ)

οι έμποροι κάνουν μεγαλύτερες προσφορές από την ελάχιστη υπολογισμένη. Στην εφαρμογή αυτής της ρύθμισης στην Ελλάδα λήφθηκε υπόψη μόνο το μεταβλητό κόστος των ορυχείων και αυτό μόνο όσον αφορά τις έκτακτες δαπάνες και όχι τις τακτικές. Οι έκτακτες δαπάνες είναι το κόστος εργολαβιών, το κόστος υπερωριών και άλλα έξοδα των ορυχείων (ανταλλακτικά, αγορά καυσίμων κτλ.). Απουσιάζει το κόστος των μισθών, οι αποσβέσεις και οι νέες επενδύσεις που είναι ο βασικός συντελεστής κόστους των ορυχείων.

Με αυτό τον ιδιαίτερο τρόπο υπολογισμού της τιμής πώλησης προτρέπεται από την εκάστοτε εταιρεία εξόρυξης λιγνίτη να αυξήσει τις έκτακτες δαπάνες όπως τις εργολαβίες, τις υπερωρίες και την αγορά καυσίμων από τρίτους καθώς αυτές ανταποκρίνονται στο κόστος που υπολογίζεται. Οι έκτακτες δαπάνες καθώς είναι σχεδιασμένες για ειδικές καταστάσεις δεν ανακτούν το θερμικό περιεχόμενο του κοιτάσματος που θα ανακτούσαν αν εφαρμόζονταν οι πάγιες πρακτικές.

Δηλαδή πέρα από την μείωση της αξίας της εταιρίας λόγω των χαμηλότερων αποθεμάτων εξ' αιτίας της χαμηλότερης ΟΤΣ, αυτά απομειούνται περεταίρω γιατί δεν υφίσταται ορθή εκμετάλλευση το κοιτάσμα.

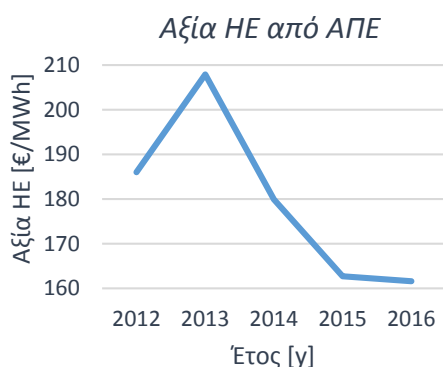
Ένα ανελαστικό κομμάτι του μοναδιαίου κόστους των ορυχείων είναι η επιβάρυνση με μία σειρά φόρων όπως το ειδικό τέλος λιγνίτη, το τέλος προμηθευτή και τα δικαιώματα CO<sub>2</sub>. Οι φόροι αυτοί έχουν ως αποτέλεσμα να τροποποιηθεί η στρατηγική της ΔΕΗ ώστε να μειωθεί η ειδική κατανάλωση του λιγνίτη (Σχήμα 1.15) και να μειωθούν οι ειδικές εκπομπές των ρύπων, άρα το κόστος τους. Αυτό όμως οδήγησε σε πολύ μεγάλη μείωση των αποθεμάτων καθώς τα περισσότερα αποθέματα λιγνίτη βρίσκονται στα φτωχά τμήματα των κοιτασμάτων. Μόλις μειώθηκαν οι τιμές των ρύπων (Σχήμα 1.16) αμέσως αυξήθηκε η ειδική κατανάλωση. Τελικά οι ρυθμίσεις είχαν τα αντίθετα αποτελέσματα δηλαδή αύξηση της ενεργειακής εξάρτησης μέσω της αύξησης του ανταγωνισμού όμως στο βωμό της μείωσης της αποδοτικότητας των πόρων.

Έχει εισαχθεί η έννοια των εγγυήσεων προέλευσης στη αγορά ΗΕ. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ταυτοποιηθεί από ποια πηγή παρήχθη η ΗΕ ώστε ο καταναλωτής να επιλέγει το μίγμα καυσίμου που επιθυμεί. Όμως οι εγγυήσεις αυτές δεν αποδίδονται αυτόματα με βάση την τιμή πώλησης της ΗΕ αλλά διαπραγματεύονται σε διαφορετική αγορά. Πολλές ενεργοβόρες βιομηχανίες για να αποκτήσουν οικολογικό «πρόσωπο» αγοράζουν αυτές τις εγγυήσεις και ταυτόχρονα φτηνότερη ΗΕ λόγω των ειδικών συμβάσεων καθώς διαφορετικά δεν θα ήταν ανταγωνιστικές με αντίστοιχες βιομηχανίες στο εξωτερικό. Αυτό προδήλως είναι λανθασμένο καθώς οι οικιακοί καταναλωτές, μεταξύ άλλων, καταναλώνουν ΗΕ που έχει τιμολογηθεί πολύ ακριβότερα έως και περίπου 400 €/MWh (ΛΑΓΗΕ, 2017). Επίσης σε αυτή την σήμανση (price signal) δεν λαμβάνονται υπόψη κι άλλα στοιχεία του κόστους παραγωγής όπως η αξιοπιστία, η συμβολή στον πολιτισμό (ανασκαφές), η μεγέθυνση που δημιουργεί (αριθμός θέσεων εργασίας με ίδιο μισθό) και παραβλέπονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη χώρα κατασκευής.

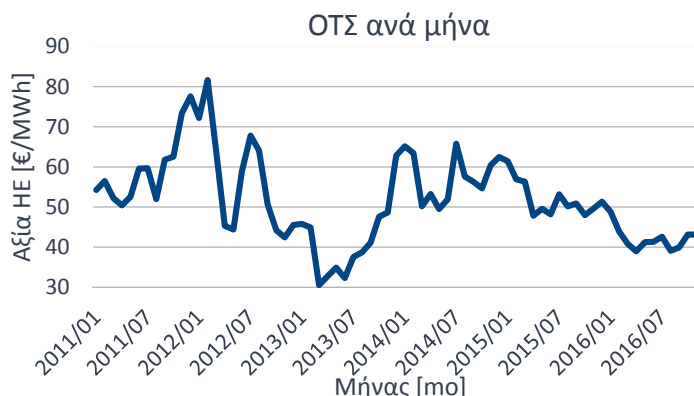
Επειδή δεν γίνεται σωστά η σήμανση ευνοούνται συγκεκριμένοι αγοραστές και πωλητές. Οι βιομηχανικοί καταναλωτές πωλούν προϊόντα παραγόμενα από «καθαρή» ενέργεια την οποία τυπικά μόνο έχουν καταναλώσει. Ενώ οι οικιακοί καταναλωτές καταναλώνουν πιο πράσινη ενέργεια χωρίς αυτό να πιστοποιείται.

Το μεγάλο πρόβλημα αντιμετωπίζουν τα ορυκτά καύσιμα και ειδικά ο ελληνικός λιγνίτης επειδή δεν αναγνωρίζεται η συμβολή του ή τα εξωτερικά κόστη στη τιμή πώλησης της ΗΕ. Συνεπώς δεν οδηγούνται κεφάλαια σε επενδύσεις σε ορυχεία αλλά σε ΑΠΕ που είναι πιο κερδοφόρες. Ταυτόχρονα το χαμηλότερο κόστος παραγωγής μπορεί να προέλθει από τα υδροηλεκτρικά και τα ορυχεία. Όμως μόνο στα ορυχεία είναι δυνατόν να ελεγχθεί η παραγωγή ΗΕ αφού στα υδροηλεκτρικά εξαρτάται από τις υδατοπτώσεις. Επομένως οι λιγνιτικοί ΑΗΣ είναι εξαναγκασμένοι να πωλούν κάτω του κόστους λόγω των ειδικών συμβάσεων με με-

γάλους καταναλωτές. Επειδή αυτό είναι αδύνατο γίνεται προσπάθεια να περιοριστούν οι δαπάνες του ορυχείου και να γίνει απόληψη των πλουσιότερων μερών του κοιτάσματος. Αυτό εκ των πραγμάτων σημαίνει μείωση της αξίας της επιχείρησης μέσω της μείωσης των αποθεμάτων λιγνίτη.



Σχήμα 1.17: Ετήσιο κόστος μη κατανεμόμενων ΑΠΕ 2012-2016. (ΛΑΓΗΕ)



Σχήμα 1.18: Μηνιαία ΟΤΣ 2011-2016. (ΛΑΓΗΕ)

Θα πρέπει να σημειωθεί ένα ακόμα παράδοξο που αφορά την χωροθέτηση των μεταλλευτικών και τεχνικών έργων. Λόγω της ενεργειακής εξάρτησης της ΕΕ από συγκεκριμένους παραγωγούς ΦΑ λήφθηκε απόφαση να δημιουργηθεί ο αγωγός TAP ώστε να μειωθεί αυτή η εξάρτηση. Ο αγωγός αυτός διέρχεται από τα λιγνιτικά κοιτάσματα της Δράμας και των Φιλιππων (τύρφη) τα οποία είναι τα μεγαλύτερα διαθέσιμα της χώρας. Ωστόσο αυτό έγινε κατά παράβαση των προτροπών του ευρωπαϊκού δικαστηρίου για την παραχώρηση λιγνιτικών κοιτασμάτων του Ελληνικού κράτους μόνο στη ΔΕΗ. Πιο συγκεκριμένα, το Ελληνικό κράτος πρέπει να λάβει κάθε αναγκαίο μέτρο προκειμένου να χορηγήσει μέσω διαγωνισμών δικαιώματα επί των κοιτασμάτων λιγνίτη Δράμας, Ελασσόνας, Βεύης και Βεγόρας σε άλλες επιχειρήσεις, πλην της ΔΕΗ, εκτός αν δεν υποβληθεί άλλη αξιόπιστη προσφορά (ΓΔΕΕ, 2009). Δεδομένου ότι το κοιτάσμα Δράμας είναι το μεγαλύτερο και δεν είναι εκμεταλλεύσιμο λόγω των διερχόμενων αγωγών ΦΑ πρέπει η ΔΕΗ να παραχωρήσει δικά της ορυχεία. Δηλαδή υπάρχει αντίφαση μεταξύ των αποφάσεων των θεσμών και των κανόνων της ΕΕ που επιβαρύνουν μία επιχείρηση.

### 1.3.3 : Ενεργειακός και μεταλλευτικός σχεδιασμός

Ο ενεργειακός σχεδιασμός μίας χώρας θα πρέπει να γίνεται με σκοπό αυτή να ελαττώσει τόσο το κόστος ΗΕ όσο και οποιοδήποτε εξωτερικό κόστος. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να υπάρχει ένας οργανισμός που θα μετράει αυτά τα μεγέθη. Ένα από τα βασικότερα μεγέθη είναι το ενεργειακό περιεχόμενων των κοιτασμάτων.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει κάποιος οργανισμός που να πιστοποιεί τα αποθέματα που εκτιμά η εκάστοτε επιχείρηση κρατική ή ιδιωτική. Οι εκτιμήσεις του ΙΓΜΕ βασίζονται σε γεωλογικά δεδομένα και όχι σε μεταλλευτική εκτίμηση. Μία μεταλλευτική εκτίμηση οφείλει να εξετάζει πλήθος παραγόντων όπως ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός, η τιμή πώλησης κτλ. Δεν πρέπει να αναφέρεται μόνο σαν ύψος αποθεμάτων αλλά κάθε φορά πρέπει να ορίζονται τα αποθέματα με συγκεκριμένο κόστος εξόρυξης και παραγωγής ΗΕ. Στο Σχήμα 1.2 φαίνονται τα αποθέματα λιγνίτη της Ελλάδας που είχαν εκτιμηθεί πριν 20 χρόνια. Ωστόσο μέσα σε αυτή την περίοδο οι παράμετροι άλλαξαν χωρίς να επαναυπολογιστεί το σύνολο των αποθεμάτων με βάση τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού.

Αυτό δεν είναι σύγχρονο πρόβλημα αλλά υπάρχει απ' αρχής του μεταλλευτικού σχεδιασμού της ΔΕΗ και της Ελλάδας. Στο Σχήμα 1.19 φαίνονται τα όρια του ορυχείου Νοτίου Πεδίου, στο βόρειο σύνορο του ορυχείου υπήρχε επαφή με ένα άλλο ορυχείο αυτό της Καρδιάς, τα άγονα υλικά του τελευταίου αποτέθηκαν δυτικά του ορυχείου Νοτίου Πεδίου και είναι γνωστά σαν αποθέσεις Καρδιάς. Στο σημείο εκείνο υπήρχε κοιτάσμα το οποίο βρίσκεται σήμερα υπό εκμετάλλευση και οι αποθέσεις αυτές τελικά απομακρύνθηκαν. Άλλο ένα παράδειγμα είναι η όδευση της νέας εθνικής οδού Πτολεμαΐδας - Κοζάνης, η προηγούμενη εθνική οδός άλλαξε όδευση λόγω της προσβολής της από το ορυχείο. Από την εργασία αυτή προκύπτει ότι τα νέα όρια προσβάλλουν και την νέα εθνική οδό. Ένα τρίτο παράδειγμα είναι η όδευση του αγωγού ΦΑ TAP, του μικρότερου που διασυνδέεται με το σύστημα ΦΑ της Τουρκίας όπως και του εξεταζόμενου «Greek Stream». Οι αγωγοί αυτοί διαπερνούν τα μεγαλύτερα διαθέσιμα κοιτάσματα λιγνίτη της Ελλάδας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πλέον να μην είναι εκμεταλλεύσιμα σημαντικά τμήματά τους δηλαδή αν αξιοποιηθούν αυτό θα γίνει υποχρεωτικά με ληστρικό τρόπο.

Τα παραπάνω συνέβησαν διότι δεν έχει υλοποιηθεί ο κατάλληλος ενεργειακός σχεδιασμός. Αν για παράδειγμα υπήρχε εκτίμηση της εξέλιξης των τιμών πώλησης ΗΕ τότε θα είχε υπολογιστεί ότι θα είναι εκμεταλλεύσιμα τα κοιτάσματα και δεν θα είχαν μεταφερθεί εκεί οι αποθέσεις. Πέρα από τα χωροταξικά θέματα, για τις επενδύσεις σε λιγνιτωρυχεία απαιτούνται πολύ υψηλά επενδυμένα κεφάλαια σε εξοπλισμό και σταθμούς παραγωγής των οποίων η απόσβεση γίνεται σε αρκετά χρόνια με χαμηλό ποσοστό κέρδους και υψηλό επενδυτικό ρίσκο. Το προσωπικό είναι υψηλής ειδίκευσης και δεν είναι δυνατόν να έχει ελαστικές σχέσεις εργασίας. Είναι φανερό πως αυτού του τύπου οι επενδύσεις δεν είναι ελκυστικές με αποτέλεσμα, καθώς υπάρχουν εναλλακτικές όπως ο εισαγόμενος λιθάνθρακας, το ΦΑ, η πυρηνική ενέργεια και οι ΑΠΕ, να προτιμούνται. Οι υπηρεσίες που προσφέρουν άλλες μονάδες παραγωγής είναι περισσότερο αναγνωρίσιμες και γι' αυτό υπάρχει σήμανση που καθορίζει την τιμή πώλησης σε υψηλά επίπεδα.

Δεδομένου ότι δεν είναι συμβολαιοποιημένη η παραγωγή ΗΕ από λιγνιτικούς ΑΗΣ, μείωση της τιμής πώλησης ή αύξηση του κόστους παραγωγής οδηγεί σε πολύ μεγάλη πτώση των αποθεμάτων. Η μείωση της τιμής πώλησης προέρχεται από τον ανταγωνισμό ενώ για να ενεργοποιηθεί αυτός υπάρχει πλήθος ρυθμίσεων που αυξάνει το κόστος παραγωγής ΗΕ από λιγνίτη. Σε αυτούς εντάσσονται και διάφοροι περιβαλλοντικοί φόροι. Λόγω των παραπάνω παραγόντων μειώνεται η παραγωγή των ορυχείων ενώ η λειτουργία των ΑΗΣ γίνεται με μη αποδοτικό τρόπο. Αυτό οφείλεται στο ότι οι ελληνικοί λιγνίτες λόγω της πολυστρωματικής δομής τους με μία μικρή αύξηση ή μείωση της τιμής πώλησης ή του κόστους παραγωγής, μειώνεται ή αυξάνεται πολύ το απολήψιμο ενεργειακό περιεχόμενο και συνεπώς η αξία του κοιτάσματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η οικονομία κλίμακας και τελικά να αυξάνεται το μοναδιαίο κόστος εξόρυξης του ορυχείου.

Αυτή η επιβάρυνση βαρύνει εξολοκλήρου την εξερχόμενη (λιγνιτική) μονάδα και δεν επιμερίζεται. Καθώς πλέον δεν υπάρχουν επαρκείς επενδύσεις και αυτές δεν μπορούν να υποστηριχτούν από την τιμή πώλησης του λιγνίτη αποφασίζεται να μην αξιοποιηθούν μέρη του κοιτάσματος που είναι δύσκολα εξορύξιμα ή διαχωρίσιμα. Τελικά μειώνονται τα αποδεδειγμένα αποθέματα και αυξάνεται επιπρόσθετα το μοναδιαίο κόστος εξόρυξης διότι για ίδιες εκσκαφές μειώνεται ο ανακτήσιμος λιγνίτης δηλαδή μειώνεται ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης. Δημιουργείται μία «δίνη» αποπληθωρισμού που τελικά οδηγεί στην παύση των εργασιών του ορυχείου.

Σε εγχώριο επίπεδο θα πρέπει να βρεθούν πόροι για την αγορά καυσίμου από το εξωτερικό και να αποζημιωθούν οι θιγόμενοι. Λόγω αυτού του μηχανισμού μειώνονται οι θέσεις εργασίας και δεν αντικαθίστανται από αντίστοιχων αποδοχών θέσεις. Επακολούθως μειώνονται οι εισφορές των εργαζομένων στα ασφαλιστικά ταμεία αλλά και το ύψος των καταθέσεων στο τραπεζικό τομέα. Αφαιρούνται δηλαδή χρήματα από την εγχώρια και τοπική οικονομία και κατευθύνονται σε εξωχώριους προορισμούς με ευνοϊκότερες συνθήκες για επενδύσεις.

Ένα παράδειγμα ορθού σχεδιασμού είναι η εκμετάλλευση πισσούχων άμμων (tar sands) στο Καναδά και σχιστολιθικού ΦΑ και πετρελαίου στις ΗΠΑ. Παρά το αυξημένο κόστος παραγωγής πετρελαίου από τους σχηματισμούς αυτούς υπήρξε στήριξη των επιχειρήσεων με αποτέλεσμα η βιομηχανία να καταφέρει να είναι κερδοφόρα και να συμβάλει στην ανάπτυξη της εγχώριας οικονομίας.

Συμπερασματικά η υποκατάσταση της ηλεκτροπαραγωγής του λιγνίτη αυξάνει την ενεργειακή εξάρτηση, μειώνει την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών και αυξάνει το κόστος της. Με άλλα λόγια μειώνεται η αποδοτικότητα των πόρων όχι μόνο του λιγνίτη αλλά ενός ευρύτερου συνόλου. Προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητα των πόρων και συνεπώς η εγχώρια ανταγωνιστικότητα θα πρέπει να τροποποιηθεί η σήμανση των προϊόντων ΗΕ ώστε να αναγνωρίζει τις ωφέλειες στην εγχώρια οικονομία όλων των πηγών ενέργειας. Δηλαδή να υπάρξει ενεργειακός σχεδιασμός που να λαμβάνει όλα τα εξωτερικά κόστη (θέσεις εργασίας) υπόψη και όχι μόνο μεροληπτικά ορισμένα (εγχώριο οικολογικό αποτύπωμα).



Σχήμα 1.19: Ορυχείο Νοτίου Πεδίου με βάση την μελέτη που εκπονήθηκε το 1970 (κόκκινο) και ορυχείο πεδίου καρδιάς (αριστερά) και Νοτίου Πεδίου (δεξιά) βάσει της αναθεώρησης εκμετάλλευσης του ΛΚΔΜ το 2010 (πράσινο).

## Κεφάλαιο 2 : Παράγοντες εκμεταλλευσιμότητας κοιτασμάτων

Το κόστος παραγωγής διαμορφώνεται από πλήθος παραγόντων οι οποίοι μπορεί να είναι μεταβλητοί ή σταθεροί όσον αφορά την δυνατότητα τροποποίησής τους. Οι παράγοντες που αφορούν την γεωγραφία και κυρίως την γεωλογία είναι σταθερές ενώ οι υπόλοιποι παράγοντες μεταβλητές του συστήματος.

Η ορθή περιγραφή και αργότερα αναπαράσταση των γεωλογικών και γεωγραφικών δεδομένων είναι αυτό που θα καθορίσει την αβεβαιότητα των υπολογιζόμενων αποθεμάτων. Αυτό συμβαίνει διότι όλες οι μεταβλητές τεχνικές ή ρυθμιστικές καθορίζονται βάσει της γεωλογικής ερμηνείας. Για παράδειγμα η αξία της ΗΕ σχετίζεται άμεσα με τη κατώτερη θερμογόνο ικανότητα (ΚΘΙ) η οποία εξαρτάται από την γεωχημεία των σχηματισμών. Από αυτήν εξαρτώνται και τα επιτρεπτά όρια των ρύπων ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) τα οποία ορίζονται με ρυθμιστικούς κανόνες.

Το παρόν κεφάλαιο έχει ως βασικό στόχο να αναλύσει τις σχέσεις μεταξύ των παραγόντων αυτών για τα λιγνιτικά κοιτάσματα και ειδικά για το λιγνιτικό κοιτάσμα του Νοτιοδυτικού πεδίου στην περιοχή Νοτίως της Πτολεμαΐδας. Η κατανόηση της επίδρασης των παραγόντων αυτών στην εκμεταλλευσιμότητα ενός λιγνιτικού κοιτάσματος είναι σημαντική για την ανάπτυξη του ψηφιακού ομοιώματος του κοιτάσματος και τον υπολογισμό των βέλτιστων ορίων εκσκαφής του ορυχείου.

### 2.1 : Μεταλλευτική – Τεχνική της εξόρυξης και αξιοποίησης του λιγνίτη

Με τον όρο τεχνική περιγράφονται όλες εκείνες οι μέθοδοι, τεχνολογίες αλλά και γενικότερα η οργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας που εφαρμόζεται ώστε από ένα ορυκτό πόρο, στη φυσική του θέση, να εξαχθεί ένα εμπορεύσιμο αγαθό.

Ο λιγνίτης, στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιείται για παραγωγή ΗΕ. Αφού εξορυχθεί οδηγείται στην αυλή του ΑΗΣ για να ομογενοποιηθεί. Στη συνέχεια γίνεται η λειοτρίβησή του στους μύλους και ταυτόχρονα μερική ξήρανση από τα καυσαέρια του ΑΗΣ. Το κονιοποιημένο καύσιμο εισέρχεται στο φλογοθάλαμο και καίγεται. Μετά την καύση συλλέγεται η υπτάμενη τέφρα με ηλεκτροστατικά φίλτρα και η τέφρα πυθμένα ή «υγρή» τέφρα. Τελικά τα απόβλητα αυτά αποτίθενται μαζί με τα άλλα άγωνα υλικά στην εσωτερική ή στην εξωτερική απόθεση του ορυχείου. Οι παραπάνω εφαρμοζόμενες τεχνολογίες αφορούν την εκμετάλλευση και την επεξεργασία υπό την έννοια της τεχνολογίας καύσης. Δηλαδή αφορούν τον τρόπο που γίνεται η εξόρυξη, η αναβάθμιση και η καύση του λιγνίτη. Άλλες τεχνολογίες που σχετίζονται με θερμοδυναμικές διεργασίες, ηλεκτρολογικές διατάξεις και την μηχανική του ΑΗΣ δεν εξετάζονται.

#### 2.1.1 : Μέθοδοι εξόρυξης υπαίθριων λιγνιτωρυχείων

Μέθοδοι εξόρυξης είναι αυτές που έχουν σαν σκοπό να περιγράψουν τον τρόπο απόσπασης του πετρώματος ή του ιζήματος από την φυσική θέση δηλαδή τον μηχανισμό λύσης της συνέχειας του ώστε να είναι αποδοτική η αποκομιδή και η επεξεργασία του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται σχεδόν όλες οι διαθέσιμες μέθοδοι που συναντούνται σε υπαίθρια ορυχεία. Η εκλεκτική εξόρυξη λιγνίτη γίνεται κυρίως με εκσκαφείς με καδοτροχό (ΕΚ) και εκσκαφείς ανεστραμμένου ή μετωπικού πτύου. Το ποσοστό αυτό δεν είναι σταθερό και μεταβάλλεται διαχρονικά. Η εκλεκτική εξόρυξη με συμβατικό εξοπλισμό δεν είναι τόσο αποδοτική, ωστόσο λόγω των περιορισμών της ΕΕ στις προσλήψεις προσωπικού της ΔΕΗ αυτή η μέθοδος εξόρυξης είχε εδραιωθεί σε μεγάλο βαθμό για να επιτευχθούν οι στόχοι της παραγωγής. Καθώς η παραγωγή λιγνίτη μειώνεται επαρκεί το προσωπικό της εταιρίας για να γίνει η εξόρυξη εκλεκτικά. Τα άγωνα εξορύσσονται με τον ίδιο εξοπλισμό ωστόσο αν υπάρχουν σκληροί σχηματισμοί γίνεται διάτρηση και ανατίναξη ή αναμόχλευση. Επίσης έχει γίνει πιλοτική δοκιμή για άλλου τύπου εξοπλισμό όπως μηχανήματα τύπου surface miners αλλά παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα στην ένταξή τους και την συνεργασία τους με τον υπόλοιπο εξοπλισμό, γι' αυτό και δεν έχουν καθιερωθεί.

Η εξόρυξη του υλικού με τον ΕΚ πραγματοποιείται με την κυκλική περιφορά του βραχίονα του εκσκαφέα (Σχήμα 2.1). Κατά την κίνηση αυτή αποσπάται όγκος δρεπανοειδούς μορφής (πάσο). Μόλις εξορυχθεί το πάσο, ο εκσκαφέας προχωρεί μερικά δέκατα του μέτρου (εντομή) και επαναλαμβάνει την ίδια διαδικασία. Το πάχος εντομής εξαρτάται από την ακτίνα του καδοτροχού και την γωνία περιφοράς του βραχίονα. Το μέσο πάχος προσδιορίζεται από τον προσεγγιστικό τύπο 2.1. Η προχώρηση γίνεται όσο δεν υπάρχει επαφή του βραχίονα με το υποκείμενο στρώμα, ο συνολικός αριθμός των πάσων του στρώματος που έχει εξορυχθεί μέχρι τότε ονομάζεται πακέτο. Αυτό δεν είναι κανονικής μορφής αλλά έχει τη μορφή που απει-

κονίζεται στο (Σχήμα 2.1). Για λόγους απλοποίησης θεωρείται κατά την προσομοίωση ότι έχει σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου. Μόλις ολοκληρωθεί η εξόρυξη ενός πακέτου, ο εκσκαφέας οπισθοχωρεί και η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για το επόμενο απολήψιμο στρώμα ή στρώση. Το σύνολο των πακέτων που δημιουργείται από το δάπεδο έως το φρύδι της βαθμίδας ονομάζεται block ή στοιχείο.

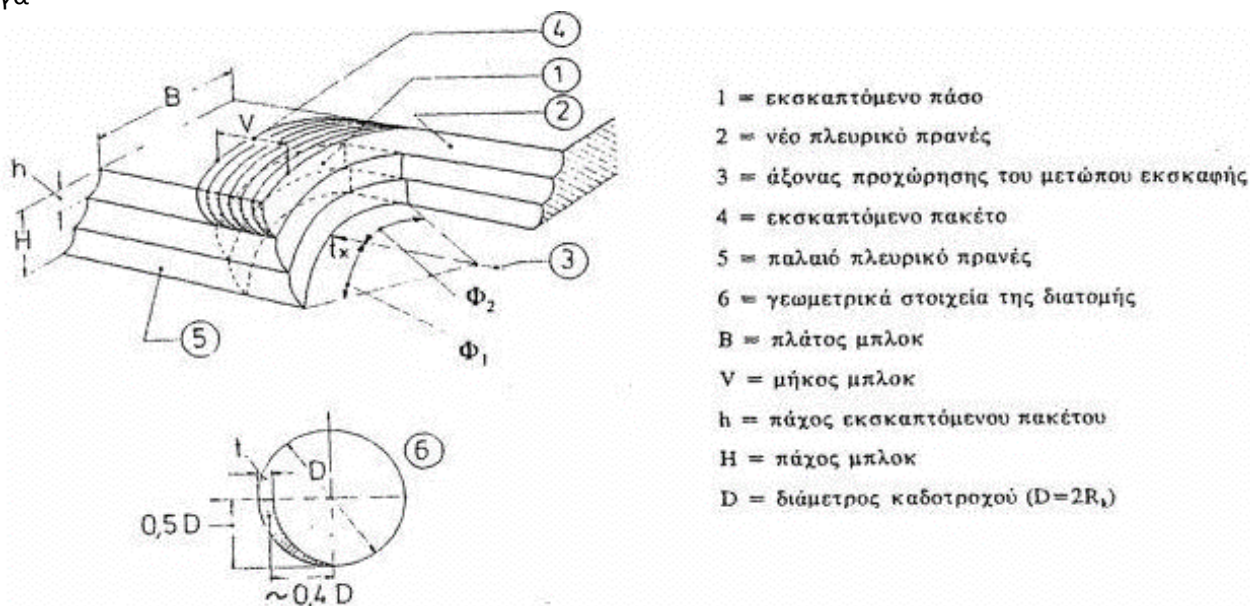
Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται εκλεκτική εξόρυξη των στρωμάτων και ο διαχωρισμός λιγνίτη-στείων. Το ελάχιστο πάχος του εξορυσσόμενου πακέτου προσδιορίζεται από την ακτίνα του καδοτροχού και μέχρι η παραγωγικότητα να μειωθεί τόσο ώστε να μην είναι οικονομικά απολήψιμο το πακέτο.

$$\alpha_0 = 0.15 R_k \quad [m] \quad (2.1)$$

Όπου:

$R_k$ : Η ακτίνα του καδοτροχού [m]

για



Σχήμα 2.1: Μέθοδος εκλεκτικής εξόρυξης (Durst and Vogt, 1988 από Γαλετάκης, 1996)

## 2.1.2 : Μέθοδοι ορυκτοουργίας λιγνίτη

Μέθοδοι εμπλουτισμού ή ορυκτοουργίας είναι αυτές που έχουν σαν στόχο να διαχωρίσουν τα τεμαχίδια του χρήσιμου εξορυγμένου υλικού από αυτά του άγονου. Σκοπός αυτών των διεργασιών είναι να αξιοποιηθούν φτωχότερα κοιτάσματα ή τμήματα αυτών, ωστόσο λόγω της ιδιαιτερότητας των ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων, εξευγενισμός φτωχότερων τμημάτων του κοιτάσματος μπορεί να επιτευχθεί σε μεγάλο βαθμό με δύο άλλους τρόπους αναβάθμισης. Ο πρώτος είναι με ανάμιξη - ομογενοποίηση των υλικών και ο δεύτερος η μέθοδος εξόρυξης, διότι αυτή αποτελείται κατά ένα μέρος από διεργασίες που χαρακτηρίζουν τον εμπλουτισμό. Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά στην συγκεκριμένη περίπτωση διαφοροποιούν την έννοια της ορυκτοουργίας από αυτή του εμπλουτισμού.

Η ανάμιξη και η ομογενοποίηση είναι δύο αλληλένδετες διεργασίες. Πλουσιότερα τμήματα του ίδιου κοιτάσματος ή τμήματα από άλλο αναμιγνύονται με σκοπό να υπάρχει καλύτερη αξιοποίηση. Για να επιτευχθεί σωστή ανάμιξη δηλαδή το καύσιμο να μην επηρεάζει την ομαλή λειτουργία του ΑΗΣ θα πρέπει ικανοποιούνται δύο συνθήκες. Πρώτον να είναι διαθέσιμη η κατάλληλη ποιότητα και επαρκής ποσότητα αποθεμάτων και δεύτερον να υπάρξει επαρκής ομογενοποίηση. Η ομογενοποίηση με την σειρά της απαιτεί αρκετές επενδύσεις σε εξοπλισμό (ενσιλωτές, απολήπτες, κτλ.). Στην ουσία πάντα ενυπάρχουν και οι δύο διεργασίες ωστόσο αυτή της ομογενοποίησης συνηθίζεται να αναφέρεται όταν το διαθέσιμο καύσιμο προέρχεται από το ίδιο ορυχείο ενώ της ανάμιξης από διαφορετικό. Γι' αυτό η ομογενοποίηση αποτελεί την πιο οικονομική επιλογή και η ανάμιξη σαφώς ακριβότερη αφού το καύσιμο βαρύνουν μεταφορικές δαπάνες και το ποσοστό κέρδους αν το ορυχείο είναι τρίτης επιχείρησης.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά την ανάμιξη υπάρχει περίπτωση τμήματα των κοιτασμάτων να μην είναι αποδεκτά από τον ΑΗΣ τον οποίο τροφοδοτούν (τουλάχιστον με τον βέλτιστο βαθμό απόδοσης). Είναι λοιπόν είναι προτιμότερο να μεταφερθούν σε άλλους ΑΗΣ, με αυτόν τον τρόπο μπορεί από ένα κοιτάσμα

να ανακτηθεί μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας χωρίς να αυξάνεται πολύ το κόστος αγοράς του καυσίμου. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ορισμένοι λειπτινιτικοί ορίζοντες του ορυχείου της Βεύης οι οποίοι είναι κατάλληλοι για καύση στους ΑΗΣ Καρδιάς και Αγίου Δημητρίου. Πιθανόν επίσης να είναι οικονομική η διάνοιξη ενός ορυχείου ακόμα και αρκετά μακριά (Ελασσόνα ή σε γειτονική χώρα) από τον ΑΗΣ προκειμένου να αξιοποιηθούν τα φτωχότερα τμήματα του υπάρχοντος κοιτάσματος. Η αγορά λιγνίτη από τρίτο είναι μία ακριβή λύση αλλά μπορεί να είναι αποδεκτή αν τα αποθέματα που δύναται να ανακτηθούν είναι επαρκή. Η τροφοδοσία μπορεί να γίνεται απευθείας στο φλογοθάλαμο του ΑΗΣ όπως στην περίπτωση της βιομάζας είτε μαζί με το βασικό καύσιμο.

Η ομογενοποίηση είναι μία διεργασία που έχει σαν σκοπό να αντιμετωπίσει προβλήματα έντονης διακύμανσης της ποιότητας. Επιτυγχάνοντας χαμηλότερη διακύμανση είναι δυνατόν να παραχθεί μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας. Αυτό συμβαίνει τόσο για λόγους που σχετίζονται με την απόδοση του ΑΗΣ όσο και λόγω της αξιοποίησης φτωχότερων τμημάτων του κοιτάσματος τα οποία διαφορετικά θα αντιμετωπιζόταν σαν άγωνα. Τέτοια τμήματα είναι η ρύπανση - αραίωση, αλλά και άλλα σαφώς πολύ μεγαλύτερα που είναι οριακά μη αποδεκτά από τον σχεδιασμένο ΑΗΣ.

Το παράδοξο αυτό εξηγείται καθώς βελτιώνονται τα στατιστικά μέτρα του καυσίμου. Για παράδειγμα η ΚΘΙ ενός block εξόρυξης μιας εβδομάδας μπορεί να έχει τιμή 1300 kcal/kg και διακύμανση 110 kcal/kg, η ποσότητα ομογενοποιημένου λιγνίτη ενός μήνα θα έχει την ίδια τιμή αλλά διακύμανση 40 kcal/kg. Η διαφορά αποτυπώνεται σε αύξηση αποθεμάτων η οποία είναι ακόμα μεγαλύτερη λόγω της αποδοτικότερης λειτουργίας του ΑΗΣ.

Γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω ότι αξιοποίηση φτωχότερων κοιτασμάτων ή τμημάτων τους μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να διαχωριστεί ο λιγνίτης από στείρα, αντίθετα να «αναμιχθούν» ακόμα περισσότερο, προφανώς χωρίς να αλλάξει η ορυκτολογική – ανθρακοπετρογραφική ή η χημική δομή των υλικών. Για να συμπεριληφθούν οι δύο παραπάνω διεργασίες στην παρούσα εργασία η έννοια της ορυκτουργίας επεκτείνεται ώστε να περιλαμβάνει όλες εκείνες τις διεργασίες μετά και κατά την απόσπαση του πετρώματος από την φυσική του θέση και μέχρι κάποια άλλη διεργασία που θα μεταβάλει την ορυκτολογική-ανθρακοπετρογραφική ή χημική του σύσταση, πριν την τελική διάθεσή του στην αγορά κατά τις οποίες προσφέρεται έργο για να ανακτηθεί το μέγιστο δυνατό ενεργειακό περιεχόμενο.

Επιλέχθηκε η έννοια της ορυκτουργίας αφενός για να διαχωριστεί από αυτή του εμπλουτισμού η οποία ήταν ταυτισμένη με τον διαχωρισμό και στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι απαραίτητος. Αφετέρου διότι απαιτείται έργο τόσο στην περίπτωση της ομογενοποίησης και ανάμιξης όσο και κατά την εκλεκτική εξόρυξη. Το έργο αυτό δεν σχετίζεται με την απόσπαση των υλικών από την φυσική τους θέση αλλά με τον διαχωρισμό των υλικών *in situ*, ώστε να μην αναμιχθεί ο λιγνίτης με τα άγωνα. Συνεπώς η εκλεκτική εξόρυξη συνίσταται από δύο μέρη, αυτό της μηχανικής και το άλλο της ορυκτουργίας. Το πρώτο αφορά την απόσπαση των υλικών από την φυσική τους θέση και το άλλο τον διαχωρισμό των υλικών στη φυσική του θέση.

Πέρα από τις παραπάνω εξαιρέσεις οι μέθοδοι του εμπλουτισμού δεν χρησιμοποιούνται εκτός από ορισμένες πειραματικές εφαρμογές. Η ιδιαιτερότητα των εξεταζόμενων κοιτασμάτων είναι ότι το όριο διαχωρισμού είναι πολύ στενό ενώ η αξία του προϊόντος είναι πολύ μικρή. Έχουν γίνει μελέτες σε εργαστηριακό (Καβουρίδης, 1981; Φραγκίσκος and Πλέσσα, 1985) και πιλοτικό στάδιο (Φραγκίσκος, Ζαφειριάδης, και Φαρχούντ 1986; Τσιμπούκα και ΔΕΗ 1998; Τσαγκαρισιάνος και Κιτσικόπουλος 1999) με βάση τις οποίες εκπονήθηκε μία οικονομοτεχνική μελέτη σκοπιμότητας (Δεληγιώργης, 2014) που καταδεικνύει ότι είναι εφικτή η εφαρμογή τους. Όλες οι μέθοδοι αφορούν βαρυτομετρικό διαχωρισμό ή διαχωρισμό με ταξινόμηση.

Το κόστος εμπλουτισμού εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του εργοστασίου του εμπλουτισμού διότι η αξία του λιγνίτη είναι μικρή και απαιτούνται οικονομίες κλίμακας ώστε να μειωθεί το κόστος. Αυτό διαμορφώνεται στα 8 €/m<sup>3</sup><sub>lig</sub> και αφορά άγωνα υλικά με περιεκτικότητα σε λιγνίτη 50% του οποίου η τέφρα επί ξηρού (Τ.ε.ξ) είναι περίπου 40% ώστε να είναι αποδεκτά από τον ΑΗΣ. Ο αποδιδόμενος λιγνίτης έχει το 10% του όγκου του αρχικού υλικού και το 180% της ΚΘΙ.

Αυτές είναι προσεγγιστικές τιμές καθώς υπάρχουν καμπύλες λειτουργίας του εργοστασίου εμπλουτισμού (Σχήμα 2.2) για συγκεκριμένο ύψος παραγωγής, περιεκτικότητα σε τέφρα και λιγνίτη. Μία ακριβής διαδικασία θα εισήγαγε τις εξισώσεις αυτές σαν παράμετρο αξιολόγησης στην μεθοδολογία που θα παρουσιαστεί παρακάτω. Όμως επειδή η παραγωγικότητα του ορυχείου είναι ζητούμενο και στον υπολογισμό των συνολικών αποθεμάτων του κοιτάσματος και του μεγέθους του εργοστασίου εμπλουτισμού θα απαιτούνταν αρκετές επαναλήψεις για να βρεθεί η λύση. Καθώς η διαδικασία δεν είναι αρκετά αυτοματοποιημένη κάτι τέτοιο θα ήταν εξαιρετικά επίπονο γι' αυτό επιλέχθηκε αυτή η απλοποίηση και δεν παρουσιάζεται η αναλυτική λειτουργία του εργοστασίου εμπλουτισμού.

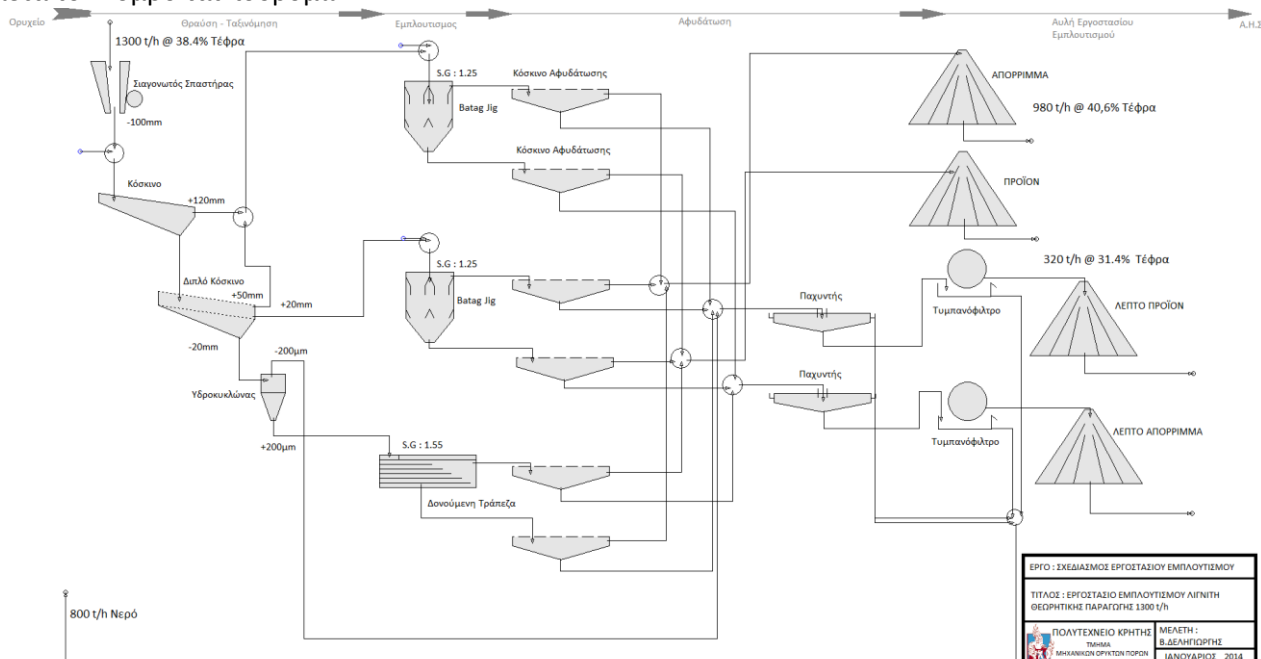
### 2.1.3 : Μέθοδοι εκμετάλλευσης υπαίθριων λιγνιτωρυχείων

Μέσω μίας μεθόδου εκμετάλλευσης επιλέγονται-εντάσσονται τα μηχανήματα εξόρυξης-μεταφοράς, τα εργοστάσια εμπλουτισμού, οι χώροι απόθεσης και οι ΑΗΣ με σκοπό την βελτιστοποίηση του κόστους παραγωγής. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται κατάλληλος χρονικός προγραμματισμός αλλά και η επιλογή των κατάλληλων μηχανημάτων για την εξόρυξη και αποκομιδή των προϊόντων. Επίσης εδώ λαμβάνονται υπόψη γεωτεχνικοί, υδρογεωλογικοί περιορισμοί αλλά και τεχνικά έργα, απαλλοτριώσεις, μετεγκαταστάσεις και αρχαιολογικές εργασίες που μπορεί να καθυστερήσουν την εκμετάλλευση. Οι μέθοδοι εκμετάλλευσης αποτελούν κατά μία έννοια, την αρχιτεκτονική του ορυχείου τουλάχιστον από άποψη λειτουργική αν και τα τελευταία χρόνια η περιβαλλοντική - αισθητική έχει βαρύνουσα σημασία και λαμβάνεται υπόψη κατά την λειτουργία και κυρίως μετά το πέρας της εκμετάλλευσης.

Ένας από τους βασικούς στόχους μιας μεθόδου εκμετάλλευσης είναι να μεγιστοποιήσει την ανάκτηση του χρήσιμου συστατικού του κοιτάσματος, που για τα λιγνιτικά κοιτάσματα τα οποία προορίζονται για παραγωγή ΗΕ είναι το θερμικό τους περιεχόμενο. Δεν είναι απαραίτητο ότι μεγαλύτερη ανάκτηση επιτυγχάνεται με χαμηλότερο παραγωγικό κόστος αντίθετα υψηλότερο παραγωγικό κόστος σημαίνει εκμετάλλευση μερών του κοιτάσματος με χαμηλότερη ποιότητα. Το οποίο συνεπάγεται αυξημένα κέρδη σαν απόλυτο μέγεθος, όμως με χαμηλότερο ποσοστό κέρδους για την επιχείρηση. Αυτό είναι ένα πολύ βασικό στοιχείο της εκτίμησης των αποθεμάτων και σχετίζεται άμεσα με την αύξηση της αποδοτικότητας των πόρων. Για παράδειγμα η δημιουργία ενός εργοστασίου εμπλουτισμού ή η αντικατάσταση του εξοπλισμού με άλλο με καλύτερη δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης θα μείωνε το ποσοστό κέρδους της επιχείρησης αλλά θα αύξανε τα αποθέματα δηλαδή το συνολικό κέρδος της επιχείρησης.

Το ορυχείο Υψηλάντη είναι υπαίθριο και η εκσκαφή κλειστή στο μεγαλύτερο μέρος της (Σχήμα 2.3). Στα Δυτικά πρηνή λόγω της επαφής με τους πρόποδες του Ασκίου όρους θα υπάρξει και ανοιχτή εκσκαφή. Στο συγκεκριμένο κοίτασμα η εκμετάλλευση είναι μικτή τόσο με τη μέθοδο συνεχούς λειτουργίας (εκσκαφέας-ταινιόδρομος-αποθέτης) όσο και την μέθοδο ασυνεχούς λειτουργίας (εκσκαφέας-φορτηγό). Η πρώτη παρουσιάζει πλεονεκτήματα καθώς έχει μικρότερο λειτουργικό κόστος σε σχέση με την δεύτερη. Ο άξονας πορείας του ΕΚ είναι κάθετα στην προχώρηση του μετώπου και ο ΕΚ εξορύσσει τα υλικά με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως.

Τα υλικά μέσω ταινιοχήματος ή απευθείας με το σύστημα ταινιόδρομων του εκσκαφέα μεταφέρονται στις τομοταινίες (ταινιόδρομοι βαθμίδων). Οι τομοταινίες μετατίθενται παράλληλα ή έχουν ένα σταθερό σημείο και μετατίθενται στροφικά. Η στροφική λειτουργία έχει αρκετά πλεονεκτήματα όπως ότι δεν είναι απαραίτητος μεγάλος αριθμός επιμηκύνσεων και επιβραχύνσεων των ταινιοδρόμων. Από εκεί μέσω των συλλεκτήριων ταινιόδρομων μεταφέρονται στο κόμβο των ταινιοδρόμων όπου και διαχωρίζεται το καύσιμο από τα άγονα. Οι διασυνδετήριες μεταφέρουν τα υλικά είτε στους χώρους απόθεσης είτε στην αυλή του ΑΗΣ. Αν υπάρχει αυλή λιγνίτη ή κάποιο εργοστάσιο εμπλουτισμού η παραπάνω διάταξη τροποποιείται μετά τον κόμβο ταινιοδρόμων.



Σχήμα 2.2: Τυπικό διάγραμμα ροής εργοστασίου εμπλουτισμού λιγνίτη.

#### 2.1.4 : Τεχνολογία καύσης

Λόγω της πολύ χαμηλής ΚΘΙ και της μεγάλης διακύμανσης των χαρακτηριστικών του λιγνίτη, παρουσιάζονται ιδιαιτερότητες στο θάλαμο καύσης αλλά και στην παρεχόμενη στο σύστημα ισχύ, με αποτέλεσμα να αλλάζει ο βαθμός απόδοσης του ΑΗΣ. Επίσης μεγάλη περιεκτικότητα του λιγνίτη σε ανόργανα συστατικά αυξάνει το κόστος λειοτρίβισης λόγω της μεγαλύτερης ενέργειας κατάτμησης και της φθοράς των μύλων. Ακόμα μεγάλα ποσοστά, ειδικά σε ανθρακικά ορυκτά, επηρεάζουν αρνητικά την λειτουργία των ηλεκτροστατικών φίλτρων καθώς έχουν χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και δεν είναι εύκολο να συγκρατηθούν όλα τα μικροσωματίδια.



Σχήμα 2.3: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης το μήκος της εικόνας είναι 15 km (Google Earth, 2015).

#### 2.2: Γεωμορφολογία της περιοχής, υφιστάμενες υποδομές και χρήσεις γης

Το κοιτάσμα του Νοτιοδυτικού Πεδίου στο οποίο αναπτύσσεται το ορυχείο Δημητρίου Υψηλάντη τοποθετείται στη Δυτική Μακεδονία ενδιάμεσα των πόλεων Πτολεμαΐδας και Κοζάνης στο ομώνυμο λεκανοπέδιο, στους πρόποδες του Ασκίου όρους (Σχήμα 2.3). Η τοποθεσία σε λεκανοπέδια είναι ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των λιγνιτικών κοιτασμάτων που σε συνδυασμό με την μεγάλη οριζόντια εξάπλωση κάνουν δυσκολότερη την αξιοποίησή τους. Στις εκτάσεις αυτές συγκεντρώνεται υψηλή ανθρωπογενής δραστηριότητα. Η δραστηριότητα αυτή έρχεται σε σύγκρουση με την ανάπτυξη και λειτουργία του ορυχείου καθώς επεμβαίνει σε αυτή. Αυτό δυσχεραίνει την αξιοποίησή των κοιτασμάτων καθώς θα πρέπει να αποζημιωθούν οι κάτοικοι για την παύση των δραστηριοτήτων τους.

Εντός των ορίων του υπό ανάπτυξη ορυχείου, που έχουν προσδιοριστεί από προηγούμενες μελέτες (Κεφάλας and Διαμαντή - Ξηροπούλου, 1987; Δημητρίου, 2008; Παπαγεωργίου et al., 2010; Ρούμπος, 2010), βρίσκεται ο οικισμός της Ποντωκόμης. Αυτός θα πρέπει να μετεγκατασταθεί ή να αποζημιωθούν οι κάτοικοι του. Ακόμα διαπερνάτε από την παλαιά εθνική οδό Κοζάνης-Πτολεμαΐδας, πιθανόν την νέα, μία σιδηροδρομική γραμμή, ενώ υπάρχει το επαρχιακό οδικό δίκτυο. Οι διασυνδέσεις αυτές θα πρέπει να ακολουθήσουν νέα όδευση αφού θα προσβληθούν από το ορυχείο. Επίσης είναι χωροθετημένες διάφορες εγκαταστάσεις του λιγνιτικού κέντρου Δυτικής Μακεδονίας (ΛΚΔΜ) όπως ο ΑΗΣ Καρδιάς. Όλες αυτές οι εγκαταστάσεις είναι αναγκαίο να επανατοποθετηθούν ή εφόσον δεν εξυπηρετούν πλέον την εκμετάλλευση του κοιτάσματος να καθαιρεθούν.

Προφανώς όλες οι εκτάσεις μετά το πέρας της εκμετάλλευσης θα πρέπει να αποκατασταθούν. Στο λεκανοπέδιο έχουν αναπτυχθεί προϊστορικοί πολιτισμοί ενώ αυτό αποτέλεσε μία μεγάλη ταφοκοινότητα θηλαστικών και ήταν κοιτίδα προϊστορικών πολιτισμών με αποτέλεσμα να απαιτούνται υψηλές δαπάνες για ανασκαφές. Σημαντική είναι η επίδραση του κλίματος της περιοχής, έτσι ειδικά σε πολύ ψυχρές περιόδους το κόστος της εξόρυξης αυξάνεται λόγω του παγετού και του υετού. Τα παραπάνω διαμορφώνουν εξ αρχής ένα αρκετά δυσμενές «τοπίο» για την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης, ενώ καθιστούν σαφές ότι

θα πρέπει να γίνει ορθός μεταλλευτικός σχεδιασμός, βάση του οποίου θα είναι μία σωστή παραμετροποίηση του κοιτάσματος κατά την προσομοίωση λαμβάνοντας όλους τους παράγοντες υπόψη.

Τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν κυρίως την μέθοδο εκμετάλλευσης τροποποιώντας πολλές φορές τον μεταλλευτικό σχεδιασμό. Για παράδειγμα στο ορυχείο αυτό υπήρχε μεγάλη καθυστέρηση στο προγραμματισμό παραγωγής λόγω της μη προσβολής του σιδηροδρομικού δικτύου στο χρόνο που είχε προβλεφθεί. Αυτό είχε σοβαρές συνέπειες στην παραγωγή του ορυχείου και συνεπώς στην τροφοδοσία του ΑΗΣ Καρδιάς.

Όσον αφορά τις μεθόδους εξόρυξης και ορυκτουργίας δεν υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος τρόπος με τον οποίο η γεωγραφία να επηρεάζει την εκμετάλλευση. Ωστόσο υπάρχουν γενικότεροι ρυθμιστικοί κανόνες, (τυπικοί και άτυποι) που καθορίζουν την λειτουργία ενός ορυχείου.

## 2.3 : Συνοπτικά γεωλογικά στοιχεία του λιγνιτικού κοιτάσματος του Νοτιοδυτικού Πεδίου

Ο γεωλογικός παράγοντας επιδρά σε όλα τα στάδια της εκμετάλλευσης. Τα πετρολογικά, υδρογεωλογικά, γεωτεχνικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά είναι παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν από γεωλόγους. Είναι καθοριστικής σημασίας η σωστή περιγραφή των χαρακτηριστικών αυτών καθώς από εκεί παράγονται οι υπόλοιπες τεχνικές και τεχνολογικές ιδιότητες. Συνεπώς όσο μεγαλύτερα είναι τα αρχικά σφάλματα τόσο μεγαλύτερη αβεβαιότητα θα έχει η εκτίμηση των αποθεμάτων και της αξίας του ορυχείου.

Σε μία γενική θεώρηση το κοιτάσμα Νοτιοδυτικού πεδίου αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου κοιτάσματος το οποίο έχει διαχωριστεί για να γίνει η εκμετάλλευση του. Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτή την απόφαση ήταν αφενός διότι μέρη του δεν ήταν εκμεταλλεύσιμα παλιότερα και αφετέρου λόγω του μεγέθους δεν ήταν δυνατόν να επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα παραγωγής.

Το κοιτάσμα περιέχεται στην υπολεκάνη ιζηματογένεσης της Πτολεμαΐδας-Κοζάνης (λεκάνη Σαριγκιόλ) (Σχήμα 2.4 και Σχήμα 2.5) η οποία είναι τμήμα μίας μεγαλύτερης ιζηματογενούς λεκάνης από το Μοναστήρι (Bittola) έως την Ελασσόνα. Η ιζηματολογική λεκάνη ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και δομείται από προαλπικά και αλπικά μεταμορφωμένα ή όχι πετρώματα. Οι γεωτεκτονικές ενότητες που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι οι μάζες Βέρνου και Βόρα και οι ενότητες Αλμωπίας, Υποπελαγονικής, οφιολίθων και κρητιδικής επίκλισης (Διαμαντόπουλος, 2004).

Η συγκεκριμένη υπολεκάνη Πτολεμαΐδας-Κοζάνης είναι πληρωμένη με αλλόχθονα ιζήματα προερχόμενα από τα πετρώματα αυτών των ενοτήτων και με αυτόχθονα βιοχημικά φυτικά ιζήματα (λιγνίτες) της Πλειοκαινικής περιόδου έως και ολοκαινικά. Η μορφοτεκτονική αυτή υπολεκάνη είναι στο μεγαλύτερο μέρος της επίπεδη σε αντίθεση με αυτήν βορειότερα της Πτολεμαΐδας-Βεγορίτιδας.

## 2.4 : Λιθολογία, πετρολογία

Οι σχηματισμοί που υπάρχουν αφορούν ένα πολύ μεγάλο χρονικό εύρος από το ανώτερο Λιθανοθακοφόρο μέχρι και ολοκαινικά ιζήματα. Τα βασικά πετρώματα και ιζήματα που συναντούνται είναι σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, μετά-ανθρακικά πετρώματα, ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, μάργες, άργιλοι, άμμοι και λιγνίτες. Ο λιγνίτης, οι μάργες, οι άργιλοι, καθώς και όλα τα ενδιάμεσα μέλη τους είναι αυτά στα οποία οφείλεται η ποιότητα του τελικού χρήσιμου υλικού.

Οι λιγνίτες είναι μικτά ιζήματα – πετρώματα αυτόχθονα μαλακά οργανικά ιζήματα χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης. Προέρχονται από οργανισμούς του φυτικού βασιλείου που υπέστησαν στην αρχή τη δράση βακτηριδίων, καταβύθιση, συμπίεση και ελαφριά θέρμανση στη συνέχεια. Ωστόσο στους ελληνικούς λιγνίτες υπάρχει μεγάλο ποσοστό αλλόχθονου υλικού με το οποίο συναποτεθήκαν. Η δράση του οποίου θα αναλυθεί σε διακριτό εδάφιο παρακάτω.

Η πρώτη συνθήκη για την απόθεση λιγνιτών είναι η ύπαρξη μίας λεκάνης ιζηματογένεσης. Αυτή, στην εξεταζόμενη περίπτωση, είναι το μορφοτεκτονικό βύθισμα Πτολεμαΐδας-Κοζάνης το οποίο διανοίχθηκε κατά την περίοδο του Μειοκαίνου (Διαμαντόπουλος, 2004) ωστόσο προϋπήρχαν παλαιολίμνες στις οποίες αποτέθηκε ο λιγνίτης τύπου Κομνηνών. Αρχικά η ιζηματογενής λεκάνη πληρώθηκε με ιζήματα που απέδωσαν κυρίως μάργες, αργίλους και κροκαλοπαγή. Στα τέλη Μειοκαίνου και κυρίως αρχές πλειοκαίνου άρχισαν να αποτίθενται οι λιγνίτες για περίοδο περίπου 1 Ma. Κατά την περίοδο αυτή σχηματίστηκαν κυρίως βαλτώδεις τυρφώνες λόγω του κλίματος της περιόδου (Velitzelos and Gregor, 1990) και των υδρογεωλογικών συνθηκών.

Η ιζηματογένεση λιγνίτη, όλη την περίοδο αυτή δεν ήταν συνεχής αλλά διαλείπουσα και συγχρονιζόταν ουσιαστικά με τις πλανητικές κινήσεις (Kloosterboer-van Hoeve et al., 2001; Steenbrink et al., 2001, 2003; Vugt et al., 1998; Vugt, 2000; Vugt et al., 2002). Παρότι καθ' όλη την περίοδο αποτέθηκε οργανική

ύλη, λόγω της ταυτόχρονης απόθεσης αλλόχθονων μη οργανικών ιζημάτων σχηματίστηκαν τρεις χαρακτηριστικοί λιγνιτικοί ορίζοντες (Κομνηνών, Πτολεμαΐδας, Πέρδικας;), κατά το τεταρτογενές αποτέθηκε και τύρφη. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά το τέλος της ιζηματογένεσης του λιγνίτη αποτέθηκε ένα στρώμα ξυλίτη (Kalaitzidis et al., 2004). Στην περιοχή μελέτης όλοι οι παραπάνω ορίζοντες έχουν παρατηρηθεί, εκτός του ξυλίτη Κομνηνών, ωστόσο αυτός που κυριαρχεί είναι ο λιγνίτης τύπου Πτολεμαΐδας. Από την αρχή της λιγνιτογένεσης μέχρι σήμερα το συνολικό πάχος των ιζημάτων φτάνει, σε ορισμένες περιπτώσεις τα 350 και πλέον μέτρα κάτω από τον οικισμό της Ποντοκώμης. Η κατανομή των χαρακτηριστικών τους (φυτόκλαστα και ανόργανα ορυκτά) ποικίλει ανάλογα με το βάθος ταφής το χρόνο απόθεσης, το σημείο απόθεσης στη παλαιολίμνη, τα περιβάλλοντα πετρώματα κτλ. Χαρακτηριστικό όμως είναι η λιμνοτελματική απόθεση (Antoniadis et al., 2006) με πηγή τροφοδοσίας φυτά χαμηλής βλάστησης.

Τα υπόλοιπα πετρώματα δημιουργήθηκαν κατά το Παλαιοζωικό και το Μεσοζωικό. Αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθους, μάρμαρα και σχιστόλιθους. Οι μάρμες, οι άργιλοι και οι άμμοι είναι ιζήματα που αποτέθηκαν ταυτόχρονα με τους λιγνίτες. Βασικά συστατικά τους είναι τα πετρώματα προηγούμενων περιόδων που διαβρώθηκαν και αποτέθηκαν στην λεκάνη Πτολεμαΐδας-Κοζάνης. Μία χαρακτηριστική ορυκτολογική ανάλυση μίας μάρμαρας της περιοχής περιλαμβάνει 90-95% ασβεστίτη, 5-7% μαρμαρυγίες και αργιλικά ορυκτά και <4% άστριους (Kolovos and Georgakopoulos, 2002).

Τα προς εξόρυξη υλικά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την δυσκολία εξόρυξης σε μαλακά και σκληρά. Τα κυριότερα μαλακά είναι οι λιγνίτες, οι άργιλοι και οι μάρμες. Τα σκληρά συνήθως βρίσκονται στις τεταρτογενείς αποθέσεις και αποτελούνται από κροκαλοπαγή με συνδετική ύλη αργιλοαμούχα ή αργιλομαργαϊκή (Μπάρμπας, 1997). Επίσης πριν τις τεταρτογενείς αποθέσεις στην υπερκείμενη στοιβάδα των λιγνιτών υπάρχουν λεπτές ενστρώσεις πηλινών και ψαμμιτών. Τέλος θα χρειαστεί να εξορυχθούν μεγάλες μάζες ασβεστόλιθου.

#### 2.4.1: Πολυστρωματική δομή Ελληνικών λιγνιτών

Το βασικό χαρακτηριστικό των ελληνικών λιγνιτών κοιτασμάτων είναι η περίπλοκη δομή τους και η ύπαρξη σκληρών οριζόντων. Αυτή η περιπλοκότητα αφορά το λιγνίτη και τα άγονα υλικά και επεκτείνεται στην μικροδομή, μεσοδομή και μακροδομή των μικτών αυτών ιζημάτων. Η πρώτη αφορά διαστάσεις τάξης μεγέθους δεκάδων ή εκατοντάδων μικρών, η δεύτερη του εκατοστού και η τρίτη του μέτρου. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε καθώς κάθε διαφορετική κατηγορία έχει διαφορετικό τρόπο διαχωρισμού του καυσίμου από τα άγονα υλικά. Οι σκληροί σχηματισμοί επηρεάζουν την διαδικασία της εξόρυξης μόνο αν είναι σε μεγάλη κλίμακα.

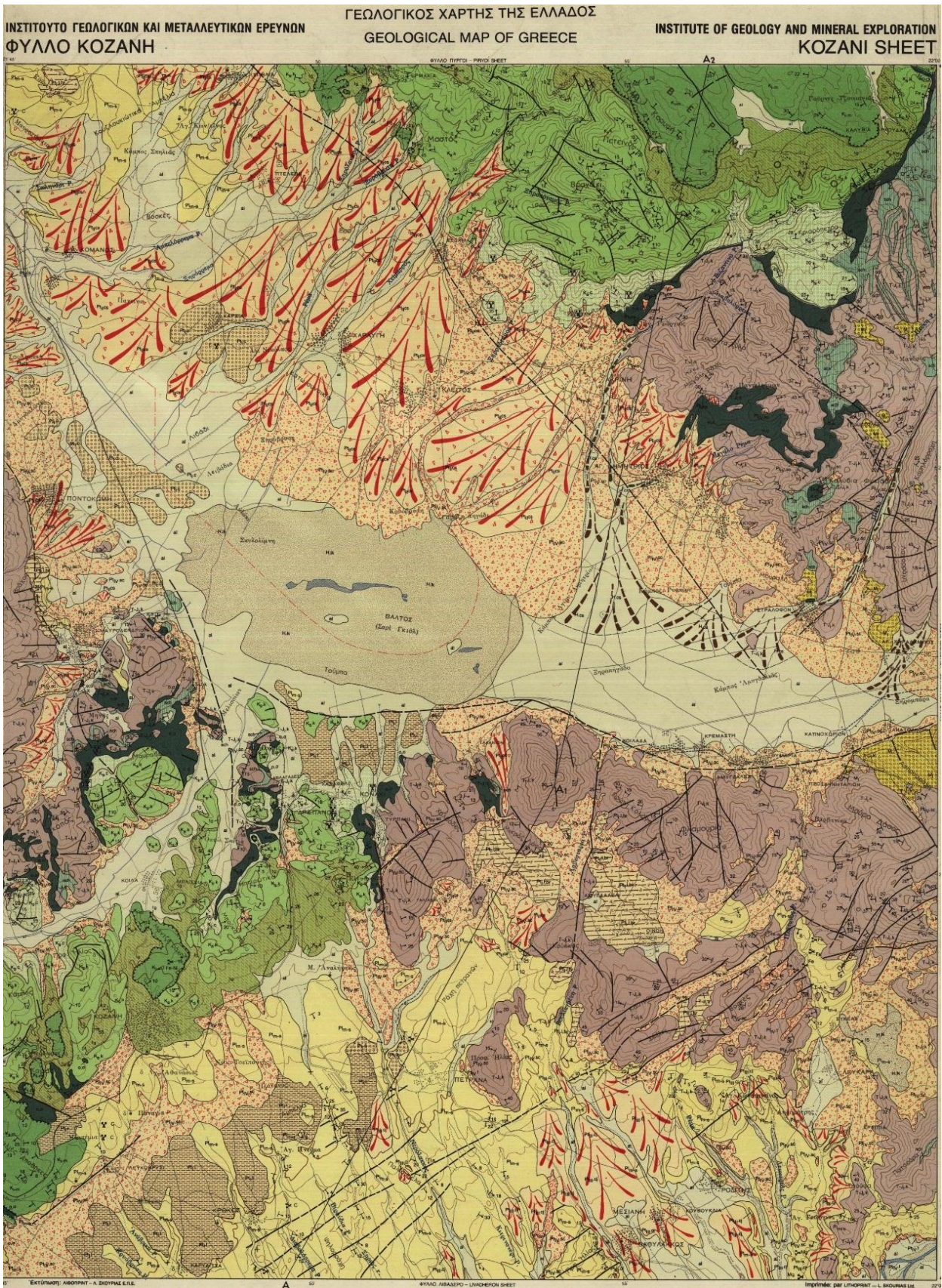
Μικροσκοπικά παρατηρούνται μικροί κόκκοι αλλόχθονων υλικών πάνω στα φυτόκλαστα σε μεγαλύτερο ποσοστό απ' ό,τι συνηθίζεται (Antoniadis et al., 2006). Επίσης η μικροδομή αυτή εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούσαν με αποτέλεσμα να μην είναι σταθερή ακόμα και σε σχετικά μικρές αποστάσεις απόθεσης των υλικών. Δευτερογενώς μπορεί να έχουν αποτεθεί, ανάλογα με της υδρογεωλογικές συνθήκες ασβεστιτικά διαλύματα, σε διάφορα σημεία του κοιτάσματος. Συνεπώς πέρα από την συγγενετική τέφρα που περιέχεται στα οργανικά μέρη των φυτών (φυτόκλαστα) μπορεί να υπάρχει και υψηλό ποσοστό επιγενετικής τέφρας λόγω συναπόθεσης μικρών κόκκων ή δευτερογενούς απόθεσης από καταβύθιση ασβεστιτικών υδατικών διαλλειμάτων.

Όσον αφορά την μεσοδομή παρατηρούνται μικρές στρώσεις ανόργανων υλικών εντός των στρωμάτων λιγνίτη και το αντίστροφο. Αυτό οφείλεται πάλι στις συνθήκες γένεσης και κατά την δειγματοληψία δεν διαχωρίζονται αλλά περιγράφονται από τον γεωλόγο.

Σε μακροσκοπικό επίπεδο λεπτά στρώματα λιγνίτη εναλλάσσονται με λεπτά ανόργανα στρώματα έως 70 σε μερικές γεωτρήσεις. Δημιουργώντας την χαρακτηριστική πολυστρωματική μορφή (Σχήμα 2.6). Επίσης συγγενετικά και δευτερογενή ρήγματα διαταράσσουν την συνέχεια των στρωμάτων. Βαρύνουσας σημασίας είναι οι διαβρώσεις οι οποίες καταστρέφουν μεγάλα τμήματα των σχηματισμών. Επίσης οι αποθυσανώσεις και οι αποσφηνώσεις είναι αρκετά συχνές, με διαφορετική ένταση κάθε φορά, ειδικά στις κρασπεδικές περιοχές με αποτέλεσμα το στρώμα να διασπάτε ή να συρρικνώνεται. Όσον αφορά τους σκληρούς σχηματισμούς η γεωμετρία και η διάταξη σκληρών και μαλακών μπορεί να είναι (Χωροπανίτης 2006) :

- Σκληροί σχηματισμοί μεγάλου μεγέθους ανάμεσα σε μαλακούς σχηματισμούς.
- Απότομη μετάβαση σε σκληρούς σχηματισμούς.
- Σκληροί σχηματισμοί ανάμεσα σε μαλακούς.
- Σκληροί σχηματισμοί σε μορφή φακών.

- Μαλακοί σχηματισμοί πάνω σε σκληρούς μικρής έκτασης.
- Μαλακοί σχηματισμοί πάνω σε σκληρούς μεγάλης έκτασης.
- Έντονη εναλλαγή στρώσεων σκληρών και μαλακών σχηματισμών.



Σχήμα 2.4: Γεωλογικός χάρτης Κοζάνης (Αναστόπουλος κ.α. 1980 από Ρούμπος 2010).





Σχήμα 2.6: Πολυστρωματική δομή (τύπου ζέβρας) ελληνικών λιγνιτών και ρήγμα που διακόπτει την λιγνιτοφόρα στοιβάδα (Μπάμπας, 2013).

Οι ιδιαίτερες δομές χαρακτηρίζουν την πλοκή αγόνων-λιγνίτη και μαλακών-σκληρών δημιουργώντας έντονες ποιοτικές μεταβολές. Αυτές οφείλονται στις συνθήκες που επικρατούσαν κατά την απόθεση και των μετέπειτα διεργασιών και αναφέρθηκαν προηγουμένως. Επειδή δεν υπάρχει μία κανονικότητα των ρηγμάτων, της κατανομής της ΚΘΙ εντός των στρωμάτων αλλά και των ορίων τους είναι αδύνατον να συσχετιστούν τα στρώματα ένα προς ένα. Δηλαδή δεν παρουσιάζεται εξάρτηση σε σχέση με την απόσταση σε μικρή κλίμακα στο τρισδιάστατο χώρο αλλά μόνο στατιστικά στις δύο και ίσως σε μεγάλη κλίμακα στις τρεις διαστάσεις.

Από μεταλλευτική άποψη απαιτείται πολύ σημαντικό έργο ώστε να υπάρξει αποδεύσμευση του λιγνίτη από τα άγωνα σε όλα τα επίπεδα. Αυτό επιδρά σε όλες τις τεχνικές παραμέτρους και θα πρέπει κάθε στρώμα με βάση την θέση του και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά να αξιολογηθεί ξεχωριστά. Σε αυτό το σημείο δημιουργείται ένα αδιέξοδο κατά την προσπάθεια προσομοίωσης, αφενός απαιτείται η διατήρηση του «χαρακτήρα» κάθε στρώματος, αφετέρου αν γίνει αυτό δεν μπορεί να υπάρξει συσχέτιση. Το πρόβλημα αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την ανάπτυξη του ψηφιακού ομοιώματος.

#### 2.4.2 : Επίδραση στη μεταλλευτική

Η δομή των λιγνιτικών κοιτασμάτων έχει σημαντική επίδραση σε όλες τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται κατά την ορθή αξιοποίηση των λιγνιτικών κοιτασμάτων. Προκειμένου να διαχωριστούν in situ τα άγωνα από το λιγνίτη εφαρμόζεται εκλεκτική εξόρυξη με ΕΚ, ωστόσο δεν είναι δυνατόν να διαχωριστούν πλήρως τα υλικά αυτά. Επίσης οι σκληροί σχηματισμοί χρειάζονται χαλάρωση είτε με εκρηκτικά είτε με αναμόχλευση και μετά εκσκαφή-φόρτωση με την μέθοδο ασυνεχούς λειτουργίας. Τόσο η εκλεκτική εξόρυξη όσο και η εξόρυξη σκληρών εξαναγκάζει τον εξοπλισμό να λειτουργεί ασύγχρονα δηλαδή σε μη παραγωγικό χρόνο με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος εξόρυξης.

Κατά την διαδοχική εξόρυξη δύο πάσων ενός στρώματος με ΕΚ δημιουργείται ένα ύβωμα ενώ κατά την ολοκλήρωση του πακέτου διεισδύει ο καδοτροχός εντός των υπερκείμενων στρωμάτων (Σχήμα 2.7). Αυτοί οι όγκοι αποτελούν την ρύπανση και τις απώλειες του λιγνίτη. Για να εισαχθεί στους υπολογισμούς το σύνολο του όγκου εκφράζεται σε ένα ισοδύναμο πάχος  $d_v$  και  $d_s$  για το ύβωμα και την διείσδυση στα υπερκείμενα στρώματα αντίστοιχα. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί από τους τύπους (Γαλετάκης, 1996; Μέβοραχ and Φυντικάκης, 1993). Για το ύβωμα ο τύπος είναι:

$$d_v = 0.07 R_k \left[ \frac{\sin(2\varphi_2) - \sin(2\varphi_1) + 2(\varphi_2 - \varphi_1)}{(\varphi_2 - \varphi_1)} \right] \quad [m] \quad (2.2)$$

Για την διείσδυση αν το υπερκείμενο στρώμα είναι παχύτερο από το πάχος  $h'$ , το οποίο είναι το μέγιστο ύψος διείσδυσης του ΕΚ στα υπερκείμενα και περιγράφεται από την σχέση:

$$h' < \left( R_k - \frac{h}{2} \right) [1 - \cot(\theta_0) \cos(\varphi)] \quad [m] \quad (2.3)$$

Τότε η επιφάνεια της διείσδυσης  $S_{a,max}$  στο υπερκείμενο από το εκσκαπτόμενο πακέτο αποτελείται από ένα μόνο υπερκείμενο στρώμα και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$S_{a,max} = R_k^2 \left[ \sin^{-1} \left( \frac{h}{2R_k} \right) + \frac{1}{2} \sin^{-1} \left( \frac{R_k - h}{R_k} \right) - \frac{\pi}{4} \right] + \sqrt{R_k - \frac{h}{2}} \left[ \frac{h}{2} \sqrt{R_k - \frac{h}{2}} + \frac{R_k - h}{2} \sqrt{2h} \right] \quad [m^2] \quad (2.4)$$

Αλλιώς κάθε υπερκείμενο στρώμα στο οποίο διεισδύει ο καδοτροχός περιέχεται στην ίδια επιφάνεια  $S_{a,max}$  ανάλογα με ένα συντελεστή  $b_i$  ο οποίος βρίσκεται από τον τύπο:

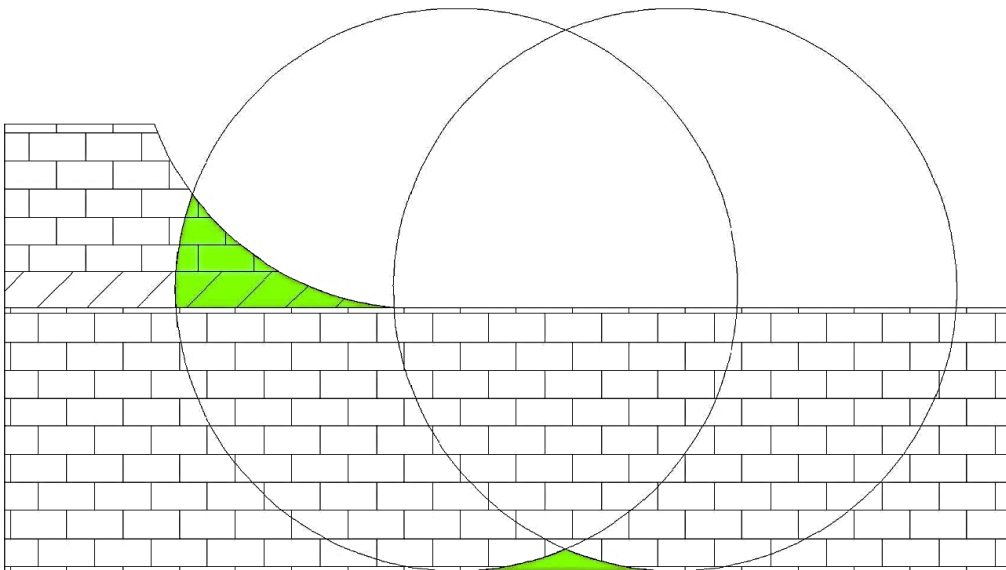
$$b_i = \frac{(\sum_{j=i}^k h_j)^2 - (\sum_{j=i+1}^k h_j)^2}{(\sum_{j=i}^k h_j)^2} \quad [-] \quad (2.5)$$

Μετά τον υπολογισμό της επιφάνειας  $S_{a,max}$  υπολογίζεται το ισοδύναμο πάχος της διείσδυσης από τον τύπο:

$$d_\delta = \frac{S_{a,max}}{n\alpha_0(\varphi_2 - \varphi_1)} \left[ \log \left| \frac{\tan\left(\frac{\varphi_2 + \frac{\pi}{4}}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\varphi_1 + \frac{\pi}{4}}{2}\right)} \right| + \frac{(\cot(\theta_0))^2}{2R_k - h} (\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1) - \frac{2h\cot\theta_0}{\sqrt{2R_k h - h^2}} (\varphi_2 - \varphi_1) \right] \quad [m] \quad (2.6)$$

Όπου:

- $h$  : Το πάχος της εκσκαπτόμενης στοιβάδας. [m]
- $h'$  : Το ύψος της διείσδυσης στα υπερκείμενα στρώματα. [m]
- $R_k$  : Η ακτίνα του καδοτροχού. [m]
- $n$  : Ο αριθμός των πάσων ανά πακέτο. [-]
- $\alpha_0$  : Η εντομή. [m]
- $\varphi_1$  : Η γωνία του βραχίονα σε σχέση με τον άξονα πορείας. [°]
- $\varphi_2$  : Η γωνία του βραχίονα σε σχέση με τον άξονα πορείας. [°]
- $\phi$  : Η μέγιστη από τις δύο γωνίες  $\varphi_1, \varphi_2$ . [°]
- $\theta_0$  : Η γωνία του μετώπου εκσκαφής. [°]



Σχήμα 2.7: Ύψωμα εκσκαπτόμενου στρώματος και διείσδυση στο υπερκείμενο στρώμα κατά την εκλεκτική εξόρυξη.

Αν το στρώμα είναι λιγνιτικό τότε το ύψωμα και το μέρος της διείσδυσης από τα υποκείμενα είναι οι απώλειες του λιγνίτη του στρώματος. Το μέρος της διείσδυσης που είναι στείρο είναι και η ρύπανση του λιγνίτη. Αντίστροφα αν το εκσκαπτόμενο στρώμα είναι άγονο τότε το ύψωμα είναι η ρύπανση του λιγνίτη του υποκείμενου στρώματος. Το μέρος της διείσδυσης που είναι λιγνίτης προστίθενται στις απώλειες του λιγνίτη.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8 η απόδοση του ΕΚ μειώνεται πολύ με την μείωση του πάχους του προς εξόρυξη στρώματος. Επίσης παρά την μείωση της παραγωγικότητας λόγω μικρού πάχους μειώνεται και ο μη παραγωγικός χρόνος κατά την διακοπή της εξόρυξης για να αλλάξει το στρώμα. Η παραγωγικότητα του ΕΚ ( $\pi_{EK}$ ) υπολογίζεται από τον τύπο (2.7) μέχρι τον λόγο ύψους πακέτου προς ακτίνα καδοτροχού 0.3, για μεγαλύτερο λόγο η απόδοση θεωρείται 100% και έχει σχεδιαστεί με βάση ορισμένα σημεία που απεικονίζονται στο Σχήμα 2.8.

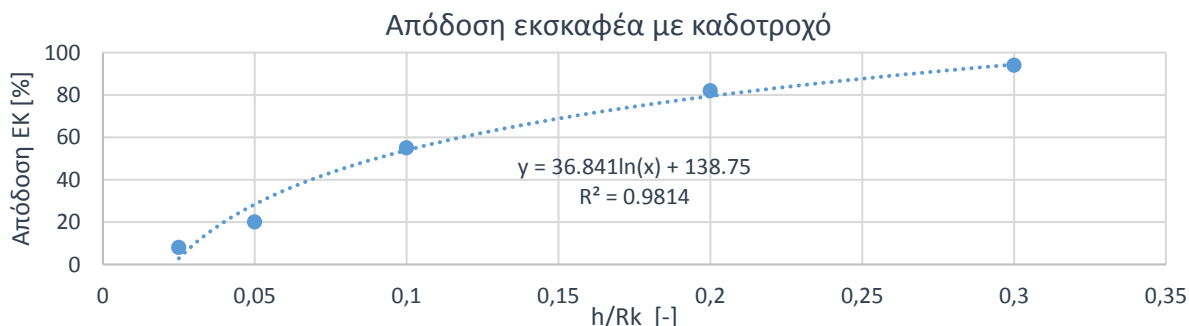
$$\pi_{EK} = 36,841 \ln\left(\frac{h}{R_k}\right) + 138,7 \quad \left[\frac{m_e^3}{h}\right] \quad (2.7)$$

Σε μεσοσκοπικό επίπεδο διαχωρισμός των υλικών μπορεί να επιτευχθεί με μεθόδους εμπλουτισμού, όπως η εκλεκτική λειοτρίβηση και ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός. Έχουν γίνει διάφορες μελέτες όπως αναλύθηκε προηγουμένως, όλες καταδεικνύουν ότι ο εμπλουτισμός είναι μία επιλογή που μπορεί να μειώσει το μοναδιαίο κόστος των ορυχείων.

Σε μικροσκοπικό επίπεδο πιθανόν να υπάρξει διαχωρισμός μόνο μέσω επίπλευσης όμως λόγω του αυξημένου κόστους ίσως να είναι οικονομικά ασύμφορο να εφαρμοστεί εκτός και αν τα αποθέματα είναι πολύ υψηλά. Βέβαια πρέπει πρώτα να αξιολογηθούν και να εφαρμοστούν άλλες πιο απλές μέθοδοι που αναφέρθηκαν.

Τα παραπάνω αφορούν την ποσοτική αύξηση του κόστους και μείωση των αποθεμάτων, όμως υπάρχει και η ποιοτική που αφορά την μείωση της απόδοσης των διεργασιών λόγω του φτωχότερου καυσίμου το οποίο θα αναλυθεί στην ενότητα 2.7.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι όγκοι του λιγνίτη και των αγόνων αναφέρονται σε συμπαγή και όχι σε χαλαρά, επίσης όταν γίνεται αναφορά σε όγκο λιγνίτη και εκσκαφών χρησιμοποιούνται οι μονάδες  $m_{lig}^3$  και  $m_e^3$  αντίστοιχα.



Σχήμα 2.8: Απόδοση ΕΚ ανάλογα με τον λόγο πάχους στρώματος (h) ακτίνας καδοτροχού (Rk).

## 2.5 : Βασικά γεωχημικά χαρακτηριστικά λιγνινών

Τα γεωχημικά χαρακτηριστικά είναι αυτά που καθορίζουν την ποιότητα και λιγότερο τα πετρογραφικά. Σαν γεωχημικά χαρακτηριστικά θεωρούνται οι περιεκτικότητες κάθε χημικού στοιχείου που καθορίζουν τις τεχνολογικές εφαρμογές και τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Τέτοια είναι ο περιεχόμενος άνθρακας, το οξυγόνο, το υδρογόνο, το θείο, το πυρίτιο, το ασβέστιο, ο σίδηρος, το αργίλιο, το μαγνήσιο, το νάτριο, τα βαρέα μέταλλα και τέλος τα ραδιενεργά καθώς και η συμμετοχή τους σε κάθε οργανική και ορυκτολογική φάση. Στα χαρακτηριστικά αυτά βασίζεται ο υπολογισμός μια σειράς δεικτών που χρησιμοποιούνται για την οικονομική αξιολόγηση των λιγνιτικών κοιτασμάτων.

Ο άνθρακας είναι το βασικό χρήσιμο συστατικό των λιγνινών και είναι κυρίως αυτός που με την μετατροπή του εξάγεται ενέργεια. Συνήθως συναντάται με δεσμούς υδρογόνου ή με δεσμούς οξυγόνου. Τα φυτόκλαστα αποτελούνται από άνθρακα με δεσμούς υδρογόνου εκτός και αν είναι οξειδωμένα. Με δεσμούς οξυγόνου ο άνθρακας υπάρχει στον ασβεστίτη, τον δολομίτη και σε άλλα ορυκτά. Διακρίνεται λοιπόν ο μόνιμος άνθρακας ( $C_{fixed}$ ) από αυτόν που βρίσκεται στο πλέγμα των ορυκτών και είναι ήδη οξειδωμένος. Το υδρογόνο βρίσκεται είτε σε μορφή νερού σαν κρυσταλλικό ή προσροφημένο είτε μαζί με τον άνθρακα.

Το θείο μπορεί να βρίσκεται είτε σε οργανικές ενώσεις είτε σε θειικά ή θειούχα ορυκτά (π.χ. γύψος, σιδηροπυρίτης κτλ). Τα υπόλοιπα ανόργανα στοιχεία υπάρχουν κυρίως στα άγονα υλικά και σε πολύ μικρό ποσοστό εντός της δομής των φυτοκλάστων.

## 2.6 : Θερμογόνος ικανότητα, τέφρα, υγρασία, πτητικά

Θερμογόνος ικανότητα είναι η ιδιότητα που δείχνει πόση ενέργεια θα εκλυθεί από την πλήρη καύση ενός κιλού λιγνίτη. Η μετρούμενη τιμή είναι η ανώτερη θερμογόνος ικανότητα (ΑΘΙ) και μετριέται σε kcal/kg. Σε πραγματικές συνθήκες καύσης, λόγω της λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης του νερού η χρήσιμη θερμότητα είναι μικρότερη και ονομάζεται κατώτερη θερμογόνος ικανότητα (ΚΘΙ). Η ΚΘΙ προέρχεται από το μόνιμο άνθρακα και σε πολύ μικρό ποσοστό από το οργανικό θείο.

Τέφρα είναι το ανόργανο υπόλειμμα μετά την καύση του λιγνίτη χωρίς τα πτητικά τα οποία αποτελούνται κυρίως από το CO<sub>2</sub> των ανθρακικών. Η υγρασία βρίσκεται σαν επιφανειακή, προσροφημένη, κρυσταλλική και την υγρασία που είναι συνδεδεμένη με τον άνθρακα. Η πρώτη βρίσκεται σαν ένας λεπτός υμένας που περιβάλλει τους κόκκους λιγνίτη. Η προσροφημένη είναι συνδεδεμένη με ισχυρότερους δεσμούς με τους κόκκους και κάτω από την επιφανειακή. Η κρυσταλλική και η υγρασία του άνθρακα βρίσκονται εντός των στερεών φάσεων και είναι χημικός συνδεδεμένη είτε σαν υδρογόνο, είτε σαν υδροξύλιο. Τα πτητικά συστατικά προέρχονται είτε από την καύση του λιγνίτη είτε από την διάσπαση των άγονων. Για παράδειγμα το CO<sub>2</sub> μπορεί να προέρχεται από τον μόνιμο άνθρακα ή από την διάσπαση των ανθρακικών ορυκτών της τέφρας.

Λόγω του κόστους των αναλύσεων πολλές γεωτρήσεις περιέχουν μόνο μερικές από τις αναλύσεις και συνήθως μόνο της τέφρας. Αυτό αφορά τον λιγνίτη, τα άγονα σπάνια περιέχουν αναλύσεις ακόμα και όταν έχουν υψηλό ποσοστό οργανικών. Για τον λόγο αυτό τα γεωτρητικά δεδομένα των άγονων στρωμάτων τροποποιήθηκαν με βάση προτεινόμενες τιμές (Γαλετάκης and Παπανικολάου, 2004) που υπάρχουν στο Πίνακα 2.1 ενώ αν τα στρώματα είναι λιγνιτικά αυτά αποκτούν τιμές από τις παρακάτω σχέσεις (Γαλετάκης, 1996).

Πίνακας 2.1: Τιμές των παραμέτρων ποιότητας των συνήθων ενδιάμεσων στείρων και ανθρακομιγών σχηματισμών.

Περιγραφή πυρήνα γεώτρησης	Κωδικός περιγραφής			Παράμετροι ποιότητας		
	MM	S	N	T.ε.ξ [%]	ΚΘΙ [kcal/kg]	Y <sub>γ</sub> [%]
Ασβεστόλιθος	LK			100	-500	35
Μαργαϊκός ασβεστόλιθος	MA			100	-450	35
Μάργα	MR			100	-400	35
Αργιλική μάργα	MR	T		100	-320	35
Άργιλος	AL			100	-250	35
Άμμος	SN			100	-120	20
Μάργα ανθρακομιγής ασθενώς	MR	C	3	90	-100	38
Μάργα ανθρακομιγής μετρίως	MR	C	5	80	100	40
Μάργα ανθρακομιγής ισχυρώς	MR	C	7	65	500	45
Μάργα ανθρακομιγής πολύ ισχυρώς	MR	C	9	60	750	47
Άργιλος ανθρακομιγής ασθενώς	AL	C	3	90	50	38
Άργιλος ανθρακομιγής μετρίως	AL	C	5	80	200	40
Άργιλος ανθρακομιγής ισχυρώς	AL	C	7	65	600	45
Άργιλος ανθρακομιγής πολύ ισχυρώς	AL	C	9	60	800	47

$$KΘΙ = 1863 - 16.33 T.ε.ξ \quad (2.8)$$

$$KΘΙ = 2872 - 16.33 T.ε.ξ - 17.64 Y_{\gamma} \quad (2.9)$$

$$KΘΙ = 4415 - 38.37 Y_{\gamma} - 25.6 T.ε.ξ - 31.97 CO_2 \quad (2.10)$$

Όπου :

ΚΘΙ : Θερμογόνος δύναμη του καυσίμου.  $\left[\frac{kcal}{kg}\right]$   
 Τ.ε.ξ : Τέφρα επί ξηρού του καυσίμου. [%]  
 $Y_{\gamma}$  : Υγρασία του καυσίμου. [%]  
 $CO_2$  : Διοξείδιο του άνθρακα του καυσίμου. [%]

## 2.7 : Επίδραση των ιδιοτήτων του καυσίμου στον ΑΗΣ

Πέρα από την ποσοτική επίδραση που αναλύθηκε, υπάρχει και ποιοτική και σχετίζεται με την τεχνολογία καύσης. Η πλέον σημαντική παράμετρος που σχετίζεται με την τεχνολογία καύσης είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου ( $C_s$ ) που εκφράζει την απαιτούμενη ποσότητα λιγνίτη ( $m^3_{\text{συμπυκν}})$  για την παραγωγή μιας μεγαβατώρας (MWh). Αυτό περιγράφεται από τον τύπο:

$$C_s = \frac{860 \frac{Mcal}{MWh} 1000 \frac{kcal}{Mcal}}{K\theta I \frac{kcal}{kg} \rho \frac{t}{m^3} 1000 \frac{kg}{t} \eta} \left[ \frac{m^3}{MWh} \right] \quad (2.11)$$

Όπου :

ΚΘΙ : Θερμογόνος δύναμη του καυσίμου.  $\left[\frac{kcal}{kg}\right]$   
 $\eta$  : Βαθμός απόδοσης ΑΗΣ. [-]  
 $\rho$  : Πυκνότητα καυσίμου.  $\left[\frac{t}{m^3}\right]$

Είναι φανερό ότι υψηλότερη ΚΘΙ σημαίνει αυξημένα κέρδη για ίδια τιμή ΗΕ άρα η εκμεταλλευσιμότητα του κοιτάσματος αυξάνεται. Ανάλογα με την αξία της μεγαβατώρας που διαμορφώνεται στην αγορά καθορίζεται και η αξία ενός κυβικού λιγνίτη. Οι ειδικές εκπομπές  $CO_2$  υπολογίζονται από τον τύπο (Galetakis and Vamvuka, 2009; Vamvuka and Galetakis, 2010):

$$Q_s = \frac{3153}{K\theta I \eta 100} \left( 1 - \frac{W C_W + F C_F}{L C_L} \right) C_L \left[ \frac{t_{CO_2}}{MWh} \right] \quad (2.12)$$

Όπου :

L, W, F : Η μάζα λιγνίτη, υγρής και ιπτάμενης τέφρας αντίστοιχα. [t]  
 $C_L, C_W, C_F$ : Το ποσοστό άνθρακα στο λιγνίτη, στην υγρή και στην ιπτάμενη τέφρα αντίστοιχα. [%]

Η παράσταση μέσα στην παρένθεση ονομάζεται παράγοντας ή συντελεστής οξείδωσης, με βάση απολογιστικά δεδομένα ισούται με 0,9597 και είναι αδιάστατος. Επομένως ο τύπος (2.12) απλοποιείται στον παρακάτω:

$$Q_s = \frac{30,259341}{K\theta I \eta} C_L \left[ \frac{t_{CO_2}}{MWh} \right] \quad (2.13)$$

Ο έμμεσος προσδιορισμός του μόνιμου άνθρακα ( $C_L$ ) γίνεται γιατί είναι ευκολότερο να υπολογιστεί η ΚΘΙ ενός δείγματος. Αυτός προκύπτει από τον τύπο (Γιαννακοπούλου, 2008):

$$C_L = 23,603 + 0,0058 K\theta I - 0,1432 Y_{\gamma} - 0,131 T.ε.ξ. \quad [%] \quad (2.14)$$

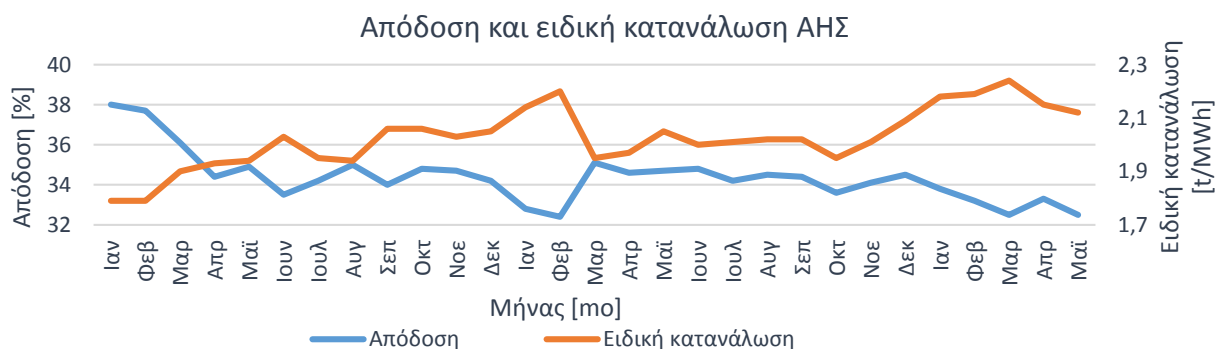
Οι ειδικές εκπομπές ανά κυβικό λιγνίτη ( $Q'_s$ ) μπορούν να υπολογιστούν από τον τύπο:

$$Q'_s = \frac{Q_s}{C_s} \left[ \frac{t_{CO_2}}{m^3_{\text{liq}}} \right] \quad (2.15)$$

Η απόδοση ( $\eta$ ) ενός ΑΗΣ εκφράζεται σαν μέση απόδοση και δεν είναι σταθερή (Σχήμα 2.9). Σε ένα μεγάλο μέρος της εξαρτάται από τις διεργασίες εντός του φλογοθαλάμου πέρα από την ποιότητα του καυσίμου και το φορτίο του ΑΗΣ. Για λόγους απλότητας, η διαφοροποίηση της απόδοσης λόγω αυτών των διεργασιών, ενσωματώνεται στην απόδοση του ΑΗΣ. Έτσι δίνεται η εντύπωση ότι αυτό το ποσοστό δεν μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες παραγωγής.

Σε αυτές τις διεργασίες σημαντική επίδραση έχει η ποσότητα και η ποιότητα των ανόργανων που μετατρέπονται σε τέφρα, καθώς μέσα από επικαθίσεις, επισκωριώσεις, διαβρώσεις κτλ. αυξάνονται οι βλάβες και οι εκπομπές ενώ μειώνεται η απόδοση του ΑΗΣ και η διάρκεια ζωής του. Αυτά οδηγούν σε αύξηση του κόστους του ΑΗΣ χωρίς να είναι δυνατό να ρυθμιστεί από τον ΑΗΣ διότι εξαρτώνται κυρίως από μεταλλευτικές παραμέτρους και λιγότερο από την τροποποίηση της λειτουργίας του σταθμού. Η επιλογή μεταξύ υψηλότερου κόστους συντήρησης του ΑΗΣ ή αναβάθμισης του καυσίμου προκειμένου να υπάρξει η βέλτιστη ανάκτηση καυσίμου είναι θέμα βελτιστοποίησης του συστήματος ορυχείου-ΑΗΣ.

Το μεταβλητό κόστος του ΑΗΣ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της τέφρας και για δύο επιπρόσθετους λόγους. Ο πρώτος είναι η ενέργεια θραύσης στους μύλους και ο δεύτερος η δυσκολία αποκονίωσης των καπναερίων. Γίνεται αντιληπτό ότι για ένα λιγνιτικό ΑΗΣ πέρα από τους ηλεκτρομηχανικούς μηχανισμούς και τις θερμοδυναμικές διεργασίες σημασία έχουν και οι ορυκτές φάσεις του καυσίμου πριν και μετά την καύση. Μεταβάλλοντας την απόδοση του ΑΗΣ στη προσομοίωση είναι δυνατόν να βρεθεί ποια θα είναι η αύξηση του κέρδους λόγω καλύτερης λειτουργίας του για παράδειγμα από την μείωση της τέφρας του καυσίμου.



Σχήμα 2.9: Απόδοση και ειδική κατανάλωση καυσίμου ΑΗΣ Καρδιάς 2011-2013. (Φραντζόπουλος, 2011-2013).

## 2.8 : Τεκτονική και υδρογεωλογία

Στη περιοχή μελέτης υπάρχουν βασικά ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και άλλα κάθετα σε αυτά. Αυτά είναι ρήγματα διάφορων περιόδων και επιδρούν με δύο τρόπους στο υπό ανάπτυξη ορυχείο. Αφενός καθορίζουν την ευστάθεια των πρανών του ορυχείου αφετέρου διακόπτουν την συνέχεια των στρωμάτων κάνοντας πολύ δύσκολη την εκτίμηση των αποθεμάτων. Όσον αφορά την κλίση των πρανών του ορυχείου αυτά ποικίλουν ανάλογα με την περιοχή. Οι κλίσεις ανάλογα με τον συντελεστή ασφάλειας μπορεί να κυμαίνονται από 1:7 έως 1:1. Κλίση 1:1 μπορεί να υπάρξει σε περίπτωση που το ορυχείο επεκταθεί στους πρόποδες του Ασκίου όρους που δομείται από συνεκτικούς σχηματισμούς.

Η υδρογεωλογία είναι σημαντική τόσο για την ευστάθεια όσο και για τον προγραμματισμό παραγωγής. Στην ευστάθεια επιδρά με δύο διαφορετικούς τρόπους, αφενός το νερό στους πόρους των πετρωμάτων μειώνει την αντοχή τους αφετέρου η ύπαρξη των υπό πίεση υδροφορέων τροποποιεί το εντατικό πεδίο. Σαφώς ο προγραμματισμός της παραγωγής καθορίζεται από την ευστάθεια αλλά είναι σημαντικό-τερο το πρόγραμμα αντλήσεων καθώς διαφορετικά δεν είναι δυνατή η παραγωγή στο ορυχείο.

## 2.9 : Οικονομικές σχέσεις

Τα προηγούμενα περιγράφουν τους βασικούς μηχανισμούς που υπάρχουν στο κοίτασμα και λειτουργούν κατά την ανάπτυξη ενός υπαίθριου ορυχείου. Αυτοί θα πρέπει να συνδεθούν με μία οικονομική αξία ώστε να συσχετιστούν οι επιδράσεις τους στο ορυχείο και για να γίνει μία ολοκληρωμένη αξιολόγηση. Η δημιουργούμενη ακαθάριστη αξία από την αξιοποίηση ενός ορυκτού πόρου εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη τεχνική και το ρυθμιστικό καθεστώς στο οποίο αυτή υλοποιείται. Η νέα μεθοδολογία έχει δομηθεί έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο λογισμικό στο οποίο θα προσομοιώνεται δυναμικά η λειτουργία του ορυχείου και του ΑΗΣ με μία επαναληπτική διαδικασία βελτιστοποίησης. Για τον λόγο αυτό εισάγονται τα μεγέθη αναφοράς, τα μεγέθη αυτά είναι αρχικές εκτιμήσεις που είναι αναγκαίες για να λειτουργήσει η διαδικασία και μελλοντικά αυτά μέσω μίας αυτοματοποιημένης διαδικασίας βελτιστοποίησης θα τροποποιηθούν.

### 2.9.1 : Δαπάνες διαδικασίας παραγωγής

Δαπάνες της διαδικασίας παραγωγής είναι αυτές που καθορίζονται από τους φυσικούς περιορισμούς του ίδιου του κοιτάσματος και των διαδικασιών – διεργασιών που ακολουθούνται για να αξιοποιηθεί αυτός ο ορυκτός πόρος. Μέσω της παραγωγικότητας της εργασίας ενός ατόμου είναι δυνατόν να μετατραπούν οι τεχνικές παράμετροι σε οικονομικές αξίες. Έτσι δυσκολότερα μέρη του κοιτάσματος απαιτούν περισσότερο χρόνο για να εξορυχθούν, άρα έχουν υψηλότερο κόστος εξόρυξης. Όσο πιο δύσκολα απολήψιμο είναι ένα τμήμα του κοιτάσματος τόσο αυξάνεται η αποδοτικότητα του πόρου αυτού δηλαδή παράγεται περισσότερη αξία με λιγότερα αποθέματα. Το ερώτημα που ανακύπτει είναι πόση και τι είδους αποδοτικότητα «αντέχει» μία κοινωνία και μία οικονομία.

Για κάθε κομμάτι του κοιτάσματος που είναι πιο δύσκολα εξορύξιμο υπάρχει ένας συντελεστής που μειώνει την παραγωγικότητα της εργασίας αναφοράς. Ο συντελεστής αυτός στη συγκριμένη περίπτωση θα αναφέρεται στο σύνολο του χρόνου εργασίας και όχι μόνο στον παραγωγικό. Συνεπώς το κόστος για την εξόρυξη ενός κυβικού και την μεταφορά του για ένα χιλιόμετρο μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο :

$$K_{\mu} = \frac{M}{\mu \Omega \pi_{\epsilon\rho} A} \quad \left[ \frac{\text{€}}{m^3 \text{ km}} \right] \quad (2.16)$$

Όπου :

M : Το μέσο μηνιαίο πλήρες κόστος μισθοδοσίας ενός εργαζόμενου.	$\left[ \frac{\text{€}}{mo} \right]$
$\mu$ : Οι μέρες εργασίας ενός μήνα.	$\left[ \frac{d}{mo} \right]$
$\Omega$ : Οι ώρες εργασίας μίας ημέρας.	$\left[ \frac{h}{d} \right]$
$\pi_{\epsilon\rho}$ : Η παραγωγικότητα μίας ώρας εργασίας ενός ατόμου.	$\left[ \frac{m^3}{h} \right]$
A : Η απόσταση μεταφοράς του υλικού.	[km]

Ένα άλλο κόστος κατά την εξόρυξη και αποκομιδή των υλικών είναι το κόστος ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ΗΕ καθ' όλη την διαδικασία εξόρυξης εκτός από την εξόρυξη των σκληρών σχηματισμών το κόστος τη οποίας προσομοιώνεται με διαφορετικό τρόπο. Την μεγαλύτερη κατανάλωση στην μέθοδο συνεχούς λειτουργίας έχουν οι ταινιοδρόμοι και λιγότερο οι αποθέτες και οι ΕΚ. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι διαφορές όπως διαφορετική πυκνότητα μεταφερόμενου υλικού ή η υψομετρική διαφορά μπορούν να εισαχθούν με την αύξηση της ειδικής κατανάλωσης ωστόσο στην εργασία αυτή η ειδική κατανάλωση θεωρήθηκε σταθερή. Με βάση μία τιμή αγοράς του καυσίμου είναι εφικτό να υπολογιστεί το κόστος ενέργειας για ένα κυβοχιλιόμετρο εκσκαφών από τον τύπο:

$$K_{\epsilon} = \frac{E_{\kappa} K_{\kappa}}{A} \quad \left[ \frac{\text{€}}{m^3 \text{ km}} \right] \quad (2.17)$$

Όπου :

$E_{\kappa}$ : Ειδική κατανάλωση καυσίμου.	$\left[ \frac{kWh}{m^3} \right]^*$
$K_{\kappa}$ : Κόστος καυσίμου.	$\left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]^* 1$
A : Απόσταση μεταφοράς.	[km]

Ωστόσο αν είναι γνωστό το πλήρες κόστος ανά κυβοχιλιόμετρο τότε το κόστος ανά κυβικό για λιγνίτη και άγονα μπορεί να υπολογιστεί από τους τύπους:

$$\kappa_{\lambda} = A_{\lambda} p_{\lambda} \rho_{\lambda} \quad \left[ \frac{\text{€}}{m_{ig}^3} \right] \quad (2.18)$$

\*Η ειδική κατανάλωση και η τιμή καυσίμου εξαρτάται από το είδος του καυσίμου, δηλαδή το είδος του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού αυτές οι μονάδες ισχύουν για ηλεκτροκίνητο εξοπλισμό. Αν ο εξοπλισμός κινείται με πετρέλαιο ή ΦΑ τότε η μονάδες είναι  $\left[ \frac{l}{m^3 \text{ km}} \right]$  ή  $\left[ \frac{kg}{m^3 \text{ km}} \right]$  αντίστοιχα.

$$\kappa_{\alpha} = A_{\alpha} p_{\alpha} \rho_{\alpha} \quad \left[ \frac{\text{€}}{m_e^3} \right] \quad (2.19)$$

Όπου :

$A_{\alpha}, A_{\lambda}$  : Η απόσταση μεταφοράς για άγωνα και λιγνίτη.  $[km]$

$\rho_{\alpha}, \rho_{\lambda}$  : Η πυκνότητα του υλικού για άγωνα και λιγνίτη.  $\left[ \frac{t}{m^3} \right]$

$p_{\alpha}, p_{\lambda}$  : Το πλήρες κόστος εξόρυξης για άγωνα και λιγνίτη.  $\left[ \frac{\text{€}}{t \cdot km} \right]$

Εφόσον το άγονο υλικό είναι σκληρό τότε η επιπλέον διαδικασία δυσχεραίνει την εξόρυξη με συνέπεια να αυξάνεται το κόστος κατά 20% (Ρούμπος, 2004), τόσο λόγω κόστους εξόρυξης όσο και λόγω μεθόδου εκμετάλλευσης. Αν ένα τμήμα του εξορυσσόμενου λιγνιτικού κοιτάσματος επιδέχεται εμπλουτισμό τότε μόνο το μέρος που θα είναι προϊόν του εμπλουτισμού θα θεωρηθεί σαν μετάλλευμα και το υπόλοιπο σαν άγονο.

Πέρα από το κόστος εργασίας, ενέργειας (ηλεκτρικής, πετρελαίου), εμπλουτισμού υπάρχουν και άλλες δαπάνες όπως αυτές των αναλώσιμων, εργολαβιών κτλ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όλες οι άλλες δαπάνες της διαδικασίας παραγωγής εκτός από το κόστος ΗΕ, την αγορά εξοπλισμού και το κόστος εμπλουτισμού υπολογίστηκαν συνολικά διότι δεν ήταν δυνατόν να διαχωριστούν μεταξύ τους από τα απολογιστικά στοιχεία (ΔΕΗ, 2014).

Οι δαπάνες αυτές μπορεί να αφορούν κόστη υποδομών, τεχνικών έργων, εργολαβιών, αναλώσιμων υλικών κτλ. Από τα απολογιστικά στοιχεία προκύπτει ένα κόστος για κάθε κυβικό εκσκαφής  $K_{\alpha\lambda}$ . Τέλος ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό εισάγεται ένα κόστος αποσβέσεων  $K_{\alpha\pi}$ , αυτές θεωρείται συνήθως ότι γίνονται καθ' όλη την διάρκεια ζωής του ορυχείου (20-25 γ). Η συνολική δαπάνη εξόρυξης του κάθε πακέτου περιγράφεται από την σχέση:

$$K_{\pi} = \lambda V_{\pi} (K_{\sigma\upsilon\mu} + K_{\mu} + K_{\varepsilon} + K_{\alpha\lambda} + K_{\alpha\pi}) + (1 - \lambda) V_{\pi} (K_{\mu} + K_{\varepsilon} + K_{\alpha\lambda} + K_{\alpha\pi}) \left[ \frac{\text{€}}{m_{\pi}^3} \right] \quad (2.20)$$

Όπου :

$\lambda$  : Το ποσοστό του προϊόντος στην τροφοδοσία.  $[-]$

$K_{\sigma\upsilon\mu}$  : Το κόστος αγοράς του συμπυκνώματος.  $\left[ \frac{\text{€}}{m_{ig}^3} \right]$

$K_{\varepsilon}$  : Το κόστος ενέργειας.  $\left[ \frac{\text{€}}{m_e^3} \right]$

$K_{\mu}$  : Το κόστος εργασίας για εξόρυξη και αποκομιδή.  $\left[ \frac{\text{€}}{m_e^3} \right]$

$K_{\alpha\lambda}$  : Άλλα κόστη.  $\left[ \frac{\text{€}}{m_e^3} \right]$

$K_{\alpha\pi}$  : Το κόστος αποσβέσεων για την αγορά εξοπλισμού.  $\left[ \frac{\text{€}}{m_e^3} \right]$

$V_{\pi}$  : Ο όγκος του πακέτου.  $[m_{\pi}^3]$

## 2.9.2 : Τιμή πώλησης – ρυθμιστικές δαπάνες

Ρυθμιστικές θεωρούνται οι δαπάνες που ορίσουν τις σχέσεις μίας επιχείρησης απέναντι στις άλλες και γενικότερα στην υπόλοιπη κοινωνία και οικονομία. Δεν είναι αναγκαίο να καθορίζονται από το είδος του κοιτάσματος ωστόσο ορισμένα κοιτάσματα έχουν μεγαλύτερο ή μικρότερο ποσοστό ανάκτησης ανάλογα με το είδος της ρύθμισης. Δηλαδή συγκεκριμένα κοιτάσματα εμφανίζουν «προτίμηση» σε συγκεκριμένες ρυθμίσεις. Οι ρυθμιστικές δαπάνες δεν είναι αναγκαίες για την σωστή λειτουργία ενός ορυχείου αλλά καθορίζονται με άλλα κριτήρια. Κριτήρια υγιεινής και ασφάλειας, πολιτισμού, αισθητικής, πολλές φορές πολιτικά και άλλα κριτήρια διαμορφώνουν το κόστος μιας επένδυσης. Ένα παράδειγμα ρύθμισης είναι ο τρόπος που γίνονται οι συναλλαγές στην αγορά ΗΕ αλλά και οι κανόνες υγιεινής και ασφάλειας. Υπάρχουν ρυθμιστικά κόστη που σχετίζονται με την λειτουργία του ορυχείου όμως ενσωματώνονται στις τεχνικές δαπάνες όπως για παράδειγμα όλοι οι περιορισμοί του κανονισμού μεταλλευτικών και λατομικών εργασιών (ΚΜΛΕ). Αυτοί είναι πρακτικά αδύνατο να αποτιμηθούν και να εισαχθούν διακριτά στις δαπάνες αυτές.

Ρυθμιστικές δαπάνες θεωρούνται στην εργασία αυτή οι αρχαιολογικές ανασκαφές ( $K_{\alpha\alpha}$ ), απαλλοτριώσεις ( $K_{\gamma}$ ), μετεγκαταστάσεις ( $K_{\mu\epsilon\tau}$ ), αποκατάσταση τοπίου ( $K_{\tau}$ ) κτλ. Είναι δυνατόν να εισαχθούν στο ομοίωμα σαν ένα ισοδύναμο επιφανειακό στρώμα. Δηλαδή ένα επιφανειακό στρώμα πολύ λεπτού πάχους με κόστος «εξόρυξης» ίσο με την αξία των παραπάνω δαπανών. Το στρώμα αυτό δύναται να έχει διαφορετική

αξία για κάθε περιοχή, όμως για περιοριστικούς λόγους του λογισμικού έμεινε σταθερή. Τα εμπορικά λογισμικά δεν μπορούν να διαχειριστούν υψηλές αρνητικές ταμιακές ροές με αποτέλεσμα να τερματίζουν. Συνεπώς στα συγκεκριμένα σημεία όπου θα υπήρχε υψηλό κόστος λόγω μετεγκατάστασης ή αρχαιολογικών ανασκαφών το κοίτασμα θα φαινόταν τοπικά μη εκμεταλλεύσιμο. Για το λόγο αυτό το κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο βρίσκεται διαιρώντας το συνολικό κόστος με μία έκταση αναφοράς, η οποία είναι μία πρώτη προσέγγιση των ορίων του ορυχείου. Το συνολικό κόστος επιφάνειας είναι:

$$K_{\varepsilon\pi} = K_{\alpha\alpha} + K_{\tau} + K_{\gamma} + K_{\mu\epsilon\tau} \quad \left[ \frac{\epsilon}{m^2} \right] \quad (2.21)$$

Η τιμή πώλησης ΗΕ δεν θα πρέπει να ορίζεται από κανόνες αλλά να ανταποκρίνεται στο κόστος παραγωγής και να ρυθμίζεται από τους «νόμους» προσφοράς και ζήτησης. Η τιμή που διαμορφώνεται στη χονδρική αγορά ΗΕ ονομάζεται οριακή τιμή συστήματος (ΟΤΣ). Κάθε σταθμός παραγωγής δηλώνει την τιμή πώλησης και την διαθέσιμη ποσότητα που μπορεί να παράγει. Όσο αυξάνεται η ζήτηση τόσο ακριβότερες μονάδες συνδέονται στο σύστημα για να παράγουν ΗΕ ή γίνονται εισαγωγές ΗΕ από άλλες χώρες. Αντίθετα αν η ζήτηση είναι χαμηλή παράγουν ενέργεια μόνο οι οικονομικότερες μονάδες και πιθανόν να γίνουν εξαγωγές ΗΕ.

Αφαιρώντας από την ΟΤΣ μεταβλητό και σταθερό κόστος του ΑΗΣ βρίσκεται το περιθώριο κέρδους του ορυχείου με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν το κόστος του ΑΗΣ να συμπεριληφθεί στις δαπάνες του ορυχείου. Το κέρδος του ορυχείου υπολογίζεται ως εξής. Αρχικά αφαιρείται το κόστος του ΑΗΣ από την ΟΤΣ με τον τύπο:

$$ΟΤΣ = K_{ΑΗΣ} + K_{Ορ} \rightarrow K_{Ορ} = ΟΤΣ - K_{ΑΗΣ} \quad \left[ \frac{\epsilon}{MWh} \right] \quad (2.22)$$

Η αξία του λιγνίτη  $K'_{ορ}$ , βρίσκεται από τον τύπο:

$$K'_{ορ} = \frac{K_{Ορ}}{C_s} \quad \left[ \frac{\epsilon}{m_{lig}^3} \right] \quad (2.23)$$

Εναλλακτικά είναι δυνατόν να υπολογιστεί ξεχωριστά το κόστος του ΑΗΣ καθώς και το κέρδος του ορυχείου με τους παρακάτω τύπους:

$$K'_{ΑΗΣ} = \frac{K_{ΑΗΣ}}{C_s} \quad \left[ \frac{\epsilon}{m_{lig}^3} \right] \quad (2.24)$$

$$K'_{ΟΤΣ} = \frac{K_{ΟΤΣ}}{C_s} \quad \left[ \frac{\epsilon}{m_{lig}^3} \right] \quad (2.25)$$

Όπου :

$C_s$  : Η ειδική κατανάλωση του ΑΗΣ.  $\left[ \frac{m_{lig}^3}{MWh} \right]$

Άλλο ένα πολύ σημαντικό κόστος είναι αυτό των ρύπων  $K_p$ , αυτό εισάγεται με τον τύπο:

$$K_p = Q'_s K_\delta \quad \left[ \frac{\epsilon}{m_{lig}^3} \right] \quad (2.26)$$

Όπου :

$Q'_s$  : Οι ειδικές εκπομπές ανά κυβικό.  $\left[ \frac{t_{CO_2}}{m_{lig}^3} \right]$

$K_\delta$  : Το κόστος αγοράς δικαιωμάτων ρύπων.  $\left[ \frac{\epsilon}{t_{CO_2}} \right]$

### 2.9.3 : Ποσοστό κέρδους και πληθωρισμός

Βαρύνουσα σημασία έχει το ποσοστό που μεγεθύνεται ή συρρικνώνεται μία επιχείρηση που αξιοποιεί το κοίτασμα διότι τελικά καθορίζει την εκμεταλλευσιμότητα του. Ο μηχανισμός αυτής της εξάρτησης είναι ο εξής. Καθώς αυξάνεται το επιθυμητό ποσοστό κέρδους, είναι δυνατόν να απομακρυνθούν λιγότερα άγονα για ένα κυβικό λιγνίτη, η οριακή σχέση εκμετάλλευσης ελαττώνεται. Τελικά τα αποθέματα που θα

εξορυχθούν είναι λιγότερα σε σχέση με μία επιχείρηση που έχει λιγότερες απαιτήσεις. Συνεπακόλουθα μειώνεται η προϋπολογισμένη αξία της επιχείρησης παρά τα αυξημένα κέρδη που θα παρουσιάσει παροδικά. Στο ποσοστό κέρδους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση του πληθωρισμού και του προεξοφλητικού επιτοκίου αν έχει γίνει δανειοδότηση της επένδυσης.

Καθοριστικός παράγοντας για την διαμόρφωση του ποσοστού κέρδους είναι η μορφή της εταιρίας δηλαδή το ιδιοκτησιακό καθεστώς και η στρατηγική ανάπτυξής της. Ιδιωτική ή κρατική ιδιοκτησία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την εκμεταλλευσιμότητα ενός κοιτάσματος καθώς στη πρώτη περίπτωση ο επενδυτής απαιτεί μεγαλύτερα ποσοστά κέρδους σε σχέση με ένα κρατικό επενδυτή, για ίδια επενδυμένα κεφάλαια. Αν η επένδυση δεν προσφέρεται γι' αυτό τότε υποχρεωτικά, με την χρήση των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών, το κοίτασμα με ιδιωτική επένδυση θα υποστεί ληστρική εκμετάλλευση. Συνήθως ιδιωτικές επενδύσεις είναι πιο ευέλικτες και μπορούν να δημιουργήσουν και να εφαρμόσουν νέες τεχνολογίες αλλά δεν μπορούν να «ανεχτούν» την ανάληψη υψηλού ρίσκου εφόσον δεν αποζημιωθούν γι' αυτό.

Αντίθετα κρατικές επιχειρήσεις δημιουργούν και εισάγουν νέες τεχνικές με πολύ πιο αργό ρυθμό αλλά αναλαμβάνουν υψηλό ρίσκο και μπορούν να λειτουργούν με πολύ μικρά, πολλές φορές οριακά αρνητικά, ποσοστά κέρδους. Επομένως όταν μία εκμετάλλευση απαιτεί νέες τεχνολογίες είναι προτιμότερο να γίνεται από μία ιδιωτική εταιρία, όταν το ρίσκο αυξηθεί τότε είναι προτιμότερο να μετατραπεί σε κρατική για να επιβιώσει. Αυτό έχει παρατηρηθεί πολλές φορές ένα παράδειγμα ήταν η μετατροπή όλων των ιδιωτικών επιχειρήσεων ΗΕ σε μία κρατική τη δεκαετία του 50'. Στις ιδιωτικές εταιρίες οφειλόταν ο εξηλεκτρισμός πολλών πόλεων της Ελλάδας η οποία τότε ήταν μία νέα τεχνολογία. Όμως για να υπάρξει εξηλεκτρισμός όλης της χώρας απαιτούνταν μία οικονομία κλίμακας και χαμηλά ποσοστά κέρδους που μόνο μία κρατική επιχείρηση μπορούσε να εξασφαλίσει.

Η εκμετάλλευση των ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων όμως είναι μία ειδική περίπτωση. Αυτό οφείλεται σε δύο παράγοντες, στη μεγάλη εξάπλωσή τους και στη περίπλοκη και πολυστρωματική δομή τους. Ο πρώτος παράγοντας δημιουργεί την ανάγκη για χρήση ακριβού εξοπλισμού και σημαντικών πόρων για την κοινωνική αποδοχή της επένδυσης. Αυτό είναι ένα κόστος που δεν μπορεί να διαχειριστεί ένας ιδιώτης καθώς εισάγει πολλές αβεβαιότητες. Ακόμα η δομή των λιγνιτών εκθέτει την επιχείρηση σε πολύ υψηλό εργατικό κόστος δηλαδή είναι εντάσεως εργασίας. Από την άλλη πλευρά, τα αποθέματα αν εισαχθούν νέες τεχνολογίες μπορεί να αυξηθούν πολύ καθώς υπάρχει μεγάλη διαφορά γεωλογικών και μεταλλευτικών αποθεμάτων. Δηλαδή μία ιδιωτική επιχείρηση που θα εισήγαγε νέες τεχνολογίες θα αύξανε τα αποθέματα γι' αυτό όμως θα χρειαζόταν υψηλότερη τιμή πώλησης του λιγνίτη.

Εδώ δημιουργείται ένα δίλημμα να γίνει μία επένδυση με κρατικό έλεγχο της επιχείρησης ώστε μέσω του χαμηλότερου ποσοστού κέρδους να αποφευχθεί ληστρική εκμετάλλευση χωρίς το ρίσκο της κοινωνικής αποδοχής ή να γίνει μία ιδιωτική επένδυση που θα ανακτήσει περισσότερο λιγνίτη καθώς θα εισάγει νέες τεχνολογίες αλλά με μεγάλη πιθανότητα να μην ολοκληρωθεί λόγω του υψηλού ρίσκου;

Στο μαθηματικό ομοίωμα της εκμετάλλευσης του λιγνιτικού κοιτάσματος το ποσοστό κέρδους και ο πληθωρισμός πρέπει να εισάγονται για να είναι αντικειμενικός ο προσδιορισμός των ορίων εκμετάλλευσης. Επειδή στη παρούσα εργασία δεν λαμβάνονται υπόψη οι φόροι που αφορούν την λειτουργία της επιχείρησης όπως ο ΦΠΑ και ο φόρος εισοδήματος, το ποσοστό κέρδους ταυτίζεται με την εσωτερική απόδοση επί του κεφαλαίου (ΕΑΚ). Η εισαγωγή της μπορεί να γίνει σαν δαπάνη, δηλαδή σαν συντελεστής επί των εξόδων της επιχείρησης. Επομένως το τελικό κόστος για ένα πακέτο θα είναι:

$$K'_{\pi} = \lambda V_{\pi} (K'_{AH\Sigma} + K_{\rho} + K_{\sigma\upsilon\mu} + K_{\mu} + K_{\varepsilon} + K_{\alpha\lambda} + K_{\alpha\pi}) + (1 - \lambda) V_{\pi} (K_{\mu} + K_{\varepsilon} + K_{\alpha\lambda} + K_{\alpha\pi}) \left[ \frac{\epsilon}{m_{\pi}^3} \right] \quad (2.27)$$

$$K'_{\varepsilon\pi} = EAK K_{\varepsilon\pi} V_{\pi} \left[ \frac{\epsilon}{m_{\pi}^3} \right] \quad (2.28)$$

$$K''_{\pi} = EAK K'_{\pi} \left[ \frac{\epsilon}{m_{\pi}^3} \right] \quad (2.29)$$

$$K''_{OT\Sigma} = K'_{OT\Sigma} V_{\pi} \left[ \frac{\epsilon}{m_{\pi}^3} \right] \quad (2.30)$$

Η ακαθάριστη αξία του πακέτου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$A_{\pi} = K''_{OT\Sigma} - K''_{\pi} - K'_{\varepsilon\pi} \left[ \frac{\epsilon}{m_{\pi}^3} \right] \quad (2.31)$$

Για να υπολογιστεί η καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) του κοιτάσματος πρέπει να εισαχθεί ο πληθωρισμός ή ο αποπληθωρισμός θεωρώντας ένα σταθερό σχέδιο εκμετάλλευσης και όχι σαν παράμετρος του λογισμικού. Αυτό έγινε καθότι υπάρχει ένα σχέδιο εκμετάλλευσης το οποίο δεν μπορεί να αλλάξει. Επίσης η απλοποίηση αυτή διευκολύνει πολύ τους υπολογισμούς χωρίς να εισάγει σφάλματα αφού η μέθοδος εκμετάλλευσης δεν είναι ευέλικτη όπως σε άλλου τύπου μεταλλοφορίες. Η ΚΠΑ ενός πακέτου (ΚΠΑ<sub>π</sub>) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$ΚΠΑ_{\pi} = \frac{A_{\pi}}{(1+\varepsilon)^t} \quad \left[\frac{\text{€}}{m_{\pi}^3}\right] \quad (2.32)$$

Όπου:

ε : Ο πληθωρισμός. [%]  
t : Ο χρόνος. [y]  
A<sub>π</sub> : Η αξία πακέτου.  $\left[\frac{\text{€}}{m_{\pi}^3}\right]$

Κάθε πακέτο επαναυπολογίζεται με βάση αυτόν τον τύπο ανεξάρτητα από την τιμή του (θετική ή αρνητική). Πλέον όλα είναι γνωστά εκτός από τον χρόνο που θα εξορυχθεί ένα πακέτο. Για να βρεθεί ο χρόνος εξόρυξης εισάγεται η επιφανειακή ταχύτητα προχώρησης της εκμετάλλευσης. Αυτή ουσιαστικά είναι η ταχύτητα που μετατίθεται η τομοταινία. Μπορεί να είναι μεταβλητή όμως σε πρώτη φάση επιλέγεται σταθερή. Ανάλογα με τη λειτουργία του ορυχείου, η οποία μπορεί να είναι παράλληλη ή στροφική θα πρέπει και η επιφανειακή ταχύτητα να είναι γραμμική ή γωνιακή αντίστοιχα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίζεται η γωνιακή ταχύτητα, για να γίνει αυτό πρέπει να είναι γνωστή μία χρονική περίοδος αναφοράς (T) και το εύρος της γωνίας (ξ) που θα διασχίσουν οι τομοταινίες. Η γωνιακή ταχύτητα (ω) υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\omega = \frac{\xi}{T} \quad \left[\frac{\text{rad}}{y}\right] \quad (2.33)$$

Με τον επόμενο τύπο υπολογίζεται ο χρόνος προσβολής του κάθε σημείου, εδώ της γεώτρησης:

$$t = \frac{\gamma}{\omega} \quad [y] \quad (2.34)$$

Προφανές είναι ότι οι συντεταγμένες κάθε γεώτρησης θα πρέπει να μετασχηματιστούν, για τον σκοπό αυτό δημιουργείται ένα νέο σύστημα αναφοράς με κέντρο τον κόμβο των ταινιοδρόμων. Ο μετασχηματισμός σε κομβικές τοπικές κυλινδρικές συντεταγμένες (γ, Α) πρέπει να γίνει ανεξάρτητα με το προβολικό σύστημα που έχουν δημιουργηθεί τα αρχικά δεδομένα. Έτσι με τους γνωστούς μετασχηματισμούς υπολογίζονται οι νέες συντεταγμένες. Είναι δυνατόν να εισαχθούν πολλοί κόμβοι για να προσομοιωθούν πολλές διατάξεις εκμετάλλευσης, τότε θα πρέπει να μετατραπούν πάλι οι συντεταγμένες, τόσες φορές όσοι θα είναι οι κόμβοι των ταινιοδρόμων.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν λαμβάνεται υπόψη το βάθος άμεσα, συνεπώς ένα στρώμα μπορεί να εξορυχθεί μετά ή πριν από ένα ή δυο χρόνια ανάλογα με την κλίση των πρανών λειτουργίας του ορυχείου. Καθώς τα κατώτερα στρώματα στη προσομοίωση θα εξορυχθούν νωρίτερα και τα ανώτερα αργότερα από τις πραγματικές συνθήκες πιθανόν να υπάρξουν διαφοροποιήσεις στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα έξοδα από τα ανώτερα άγονα στρώματα να θεωρηθούν ότι εξορύσσονται αργότερα και λιγνιτικά που βρίσκονται σε χαμηλότερο σημείο νωρίτερα. Όμως για στατιστικούς λόγους αυτές εξομαλύνονται και δεν εισάγονται μεγάλα σφάλματα.

Ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων έχει διπλό σκοπό. Πέρα από τον υπολογισμό του χρόνου εξόρυξης, πλέον είναι γνωστή και η απόσταση μεταφοράς (Α). Συνεπώς η απόσταση απόθεσης και μεταφοράς στον ΑΗΣ θα είναι δυναμική και όχι στατική.

Με αυτό τον τρόπο έχει υπολογιστεί ο χρόνος εξόρυξης που εισάγεται στο τύπο 2.32, ώστε κάθε στοιχείο να έχει μία ΚΠΑ. Αν τα αποθέματα βρεθούν διαφορετικά από τα αποθέματα αναφοράς, σημαίνει ότι αλλάζει και η επιφανειακή ταχύτητα. Τότε θα πρέπει η διάρκεια ζωής και το εύρος της γωνίας να τροποποιηθεί και να υπολογιστούν πάλι τα αποθέματα, προσεγγίζοντας έτσι την λύση καλύτερα.

## Κεφάλαιο 3 : Εκτίμηση αποθεμάτων κοιτασμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί μία νέα μεθοδολογία υπολογισμού αποθεμάτων ειδικά για πολυστρωματικά κοιτάσματα η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους του τύπους κοιτασμάτων. Αρχικά θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι υπολογισμού αποθεμάτων βασικό συστατικό των οποίων είναι η υλοποίηση ενός ψηφιακού ομοιώματος. Επίσης θα γίνει συνοπτική αναφορά στον αλγόριθμο LG, το βασικό «εργαλείο» που θα χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση. Θα αναλυθούν τα προβλήματα που εμφανίζονται κατά την ανάπτυξη του ψηφιακού ομοιώματος σε πολυστρωματικά κοιτάσματα και θα παρουσιαστούν οι βασικές προτεινόμενες και εφαρμοσμένες έως σήμερα μεθοδολογίες. Τέλος θα περιγραφεί η νέα μεθοδολογία ως προσπάθεια επίλυσης των προβλημάτων.

Ο υπολογισμός των αποθεμάτων έχει ως σκοπό να προσδιορίσει τον όγκο του υπό εκμετάλλευση γεωλογικού σχηματισμού. Είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί με επάρκεια χωρίς την χρήση Η/Υ και επομένως είναι αναγκαίο να αναπτυχθεί ένα ψηφιακό χωρικό ομοίωμα των γεωτρητικών ή/και άλλων δεδομένων. Η διαδικασία αυτή, δηλαδή η ογκομέτρηση του χώρου, δεν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη αλλά γίνεται καθώς υπεισέρχονται τρεις επιβαρυντικοί παράγοντες, τουλάχιστον στα πολυστρωματικά λιγνιτικά κοιτάσματα.

Ο πρώτος αφορά τους περιορισμούς που θέτει ο Η/Υ και ο εκάστοτε αλγόριθμος κατά την ανάπτυξη του ψηφιακού ομοιώματος. Οι περιορισμοί αυτοί σχετίζονται με την εύρεση των ελάχιστων διαστάσεων που ένα στοιχείο είναι ομοιογενές. Ο δεύτερος αφορά την αβεβαιότητα ενδιάμεσα των σημείων δειγματοληψίας, στα οποία είναι δαπανηρό να πραγματοποιηθεί γεώτρηση, συνεπώς παραμένουν «κενά» και πρέπει να καλυφθούν με κάποια μέθοδο παρεμβολής. Ο τρίτος είναι οι περιορισμοί που θέτουν οι τεχνικές και οι ρυθμιστικές παράμετροι, οι οποίες με την σειρά τους εισάγουν κριτήρια για την αξιολόγηση για να προσδιοριστούν τα όρια του ορυχείου. Έτσι ο υπολογισμός του όγκου είναι δύσκολος μιας και δεν είναι γνωστό σε επάρκεια ούτε τι περιέχεται σε αυτόν τον όγκο, ούτε ποια είναι τα όριά του.

Τέλος γίνεται η ολοκλήρωση δηλαδή η άθροιση όλων των στοιχείων που έχουν αξιολογηθεί. Τα τέσσερα αυτά στάδια (διακριτοποίηση, παρεμβολή, αξιολόγηση και ογκομέτρηση) είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των αποθεμάτων ενός κοιτάσματος για μία μόνο ιδιότητα. Κάθε φορά βελτιστοποιείται μόνο μία ιδιότητα και για κάθε μία νέα ιδιότητα θα πρέπει να επαναλαμβάνεται αυτή η διαδικασία.

### 3.1 : Ομοιογένεια και διακριτοποίηση

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ποια έννοια έχει το σημείο. Το σημείο εδώ δεν αντιπροσωπεύει μία αδιάστατη οντότητα αλλά ένα στερεό παραλληλεπίπεδο ενίοτε κύβο με συγκεκριμένες διαστάσεις. Το ακριβές μέγεθος των διαστάσεων του στηρίζεται στην έννοια της ομοιογένειας.

Η ομοιογένεια υπάρχει όταν μία τιμή παραμένει σταθερή στο χώρο. Η αίσθηση της μεταβλητότητας σχετίζεται με την αξία του απολήψιμου υλικού. Για παράδειγμα ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός των ορυχείων (Skenderidis et al., 1996) έχει πραγματοποιηθεί με την παραδοχή ότι η τιμή της ΚΘΙ του καυσίμου ελεύθερου τέφρας, υγρασίας και CO<sub>2</sub> παραμένει σταθερή για όλο το κοίτασμα. Επομένως το κοίτασμα φαινομενικά είναι ομοιογενές ως προς αυτή την ιδιότητα. Κρίθηκε περιττό να γίνει περαιτέρω ανάλυση καθώς αυτή θα ήταν δαπανηρή και θα είχε ελάχιστη επίδραση στη ακρίβεια του αποτελέσματος ή θεωρήθηκε ότι είχαν εξαντληθεί όλες οι αναλύσεις. Συνεπώς μεταβλητότητα της ΚΘΙ όπως για παράδειγμα λόγω της διαφορετικής περιεκτικότητας σε ομάδες φυτόκλαστων (macerals) δεν λήφθηκε υπόψη. Μεταγενέστερες μελέτες (Antoniadis et al., 2006) έδειξαν ότι υπάρχει διαφοροποίηση. Μάλιστα ορισμένα λιγνιτικά στρώματα δεν είναι κατάλληλα για καύση στον ΑΗΣ για τον οποίον σχεδιάστηκαν ενώ κάποια άλλα είναι καταλληλότερα για άλλον ΑΗΣ.

Το ελάχιστο μέγεθος στο οποίο μία ιδιότητα είναι σταθερή ονομάζεται ογκοστοιχείο (voxel) ή κυψελίδα ή απλά στοιχείο. Κάθε «σημείο», εντός του χώρου του κοιτάσματος έχει διαφορετικό μέγεθος στοιχείου. Αυτό μπορεί να διευκολύνει τον τρόπο που υπολογίζει ο μελετητής χειρογραφικά τα αποθέματα όμως κάνει εξαιρετικά δύσκολη την χρήση ενός αλγόριθμου για τον σκοπό αυτό. Για την λειτουργία του αλγόριθμου όλα τα στοιχεία του κοιτάσματος πρέπει να έχουν τις ίδιες διαστάσεις.

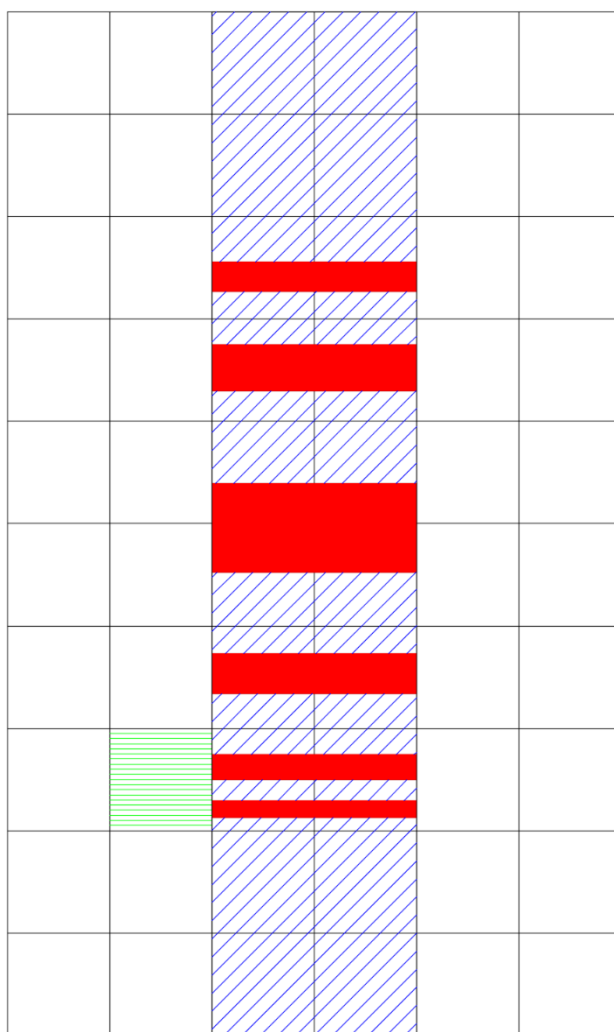
#### 3.1.1 : Προσδιορισμός της ακρίβειας της διακριτοποίησης

Επειδή όλα τα στοιχεία πρέπει να έχουν το ίδιο μέγεθος και κανονική μορφή (κύβος, παραλληλεπίπεδο) δημιουργείται ένα χωροπλέγμα από όμοια στοιχεία. Αυτό υλοποιείται από μία περιοδική διάταξη

επαναλαμβανόμενων στοιχείων τα οποία περικλείονται από ένα εξωτερικό παραλληλεπίπεδο που περιλαμβάνει όλα τα γεωτρητικά και μη δεδομένα. Αυτό το παραλληλεπίπεδο είναι γραμμικός συνδυασμός ενός εκ των εσωτερικών στοιχείων, από μαθηματική άποψη, και αποτελεί τα όρια του ομοιώματος. Το κάθε στοιχείο ταυτοποιείται από τρεις δείκτες  $i, j, k$  ή με συντεταγμένες  $X, Y, Z$  ενός ορθογώνιου καρτεσιανού συστήματος αναφοράς οι οποίοι συνήθως ταυτίζονται με το πραγματικό σύστημα αναφοράς και όχι κάποιο τοπικό.

Ο αλγόριθμος δέχεται τις τιμές από τα γεωτρητικά δεδομένα, που απεικονίζονται ως αδιάστατα σημεία (κέντρα των στρωμάτων), και τις αποδίδει στα στοιχεία. Συγκεκριμένα τα αποδίδει στους κόμβους ή τα κέντρα ή οποιοδήποτε άλλο σημείο των στοιχείων οριστεί. Είναι φανερό πως η σχέση μεταξύ σημείων-στοιχείων δεν ακολουθεί κάποια κανονικότητα δηλαδή δεν ταυτίζονται τα γεωτρητικά σημεία με τα κέντρα των στοιχείων. Θα πρέπει η απόσταση μεταξύ των κέντρων να επιλεγεί μικρότερη από την ελάχιστη απόσταση των αδιάστατων σημείων σε κάθε διάσταση. Αν δεν γίνει αυτό κάθε σημείο δεν θα αντιστοιχεί σε τουλάχιστον ένα στοιχείο και θα «χαθούν» ή θα προστεθούν τιμές, τόσες όσο μεγαλύτερα είναι τα στοιχεία δηλαδή τα σημεία δειγματοληψίας του αλγόριθμου.

Στο Σχήμα 3.2 έχει σχεδιαστεί μία γεώτρηση με μερικά λιγνιτικά στρώματα και ένα χωροπλέγμα (λευκό). Με βάση αυτή την διακριτοποίηση μόνο το τρίτο στρώμα θα εμφανιστεί στο ψηφιακό ομοίωμα και μάλιστα αυτό θα έχει το ίδιο πάχος με ένα άγονο και ίσο με ένα στοιχείο. Όπως αναλύθηκε ο αλγόριθμος θα ανιχνεύσει τα σημεία στρώματα που βρίσκονται σε κάθε κόμβο του χωροπλέγματος, σε αυτή την περίπτωση το μόνο λιγνιτικό στρώμα που βρίσκεται σε κόμβο είναι το τρίτο.



Σχήμα 3.1: Δισδιάστατο χωροπλέγμα (μαύρες γραμμές), γεωτρητικά δεδομένα (στρώματα λιγνίτη με κόκκινο, άγονα με μπλέ διαγράμμιση) και διαφορετική διακριτοποίηση με πράσινο χρώμα.

Φαινόμενα όπως το προηγούμενο οφείλονται στον αλγόριθμο ενός λογισμικού, είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας του εκάστοτε προγραμματιστή να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων. Έχουν όμως ως αποτέλεσμα να μειωθούν ή να αυξηθούν εικονικά τα αποθέματα γι' αυτό θα αναφέρονται ως εικονική αραίωση. Τονίζεται η έννοια της αραίωσης διότι αν συμπεριληφθεί ένα μικρό στοιχείο μεταλλεύματος δεν επηρεάζει πολύ τα αποθέματα όμως όταν αυτό το στοιχείο είναι άγονο τότε θα μετατρέψει το μέταλλευμα σε στείρο ή αν δεν συμπεριληφθεί τότε θα εμφανιστεί σαν μέταλλευμα υλικό που δεν είναι απολήψιμο.

Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα υπολογίζεται ο σταθμικός μέσος όρος πολλών στρωμάτων. Αυτό ουσιαστικά μεταφράζεται σε μία νέα ιδιότητα για την οποία πρέπει να γίνει παρεμβολή και αξιολόγηση. Αν δεν επιλεγεί η κατάλληλη ιδιότητα πάλι υπάρχει εικονική αραίωση αυτή την φορά λόγω του λανθασμένου μέσου όρου ή του λάθος κριτηρίου αξιολόγησης. Δηλαδή το πρόβλημα της διακριτοποίησης μετατίθεται σε άλλες διαδικασίες.

### 3.1.2 : Βέλτιστη διακριτοποίηση σε πολυστρωματικά κοιτάσματα

Για να ανιχνευθούν ακόμα και τα πιο λεπτά στρώματα απαιτείται διάστημα δειγματοληψίας του αλγόριθμου που να είναι μικρότερο ή ίσο από το ελάχιστο ύψος του λεπτότερου στρώματος του πυρήνα της γεώτρησης. Λιγνιτικά στρώματα λεπτότερα από 0.5 m δεν είναι εύκολο να εξορυχθούν εκλεκτικά και κατά συνέπεια αυτό θα έπρεπε να είναι το όριο του διαστήματος δειγματοληψίας του αλγόριθμου. Πρακτικά κάτι τέτοιο θα ήταν λανθασμένο καθώς θα υπάρξει εικονική αραίωση, αφού στείρα στρώματα αυτού του πάχους βγάζουν εκτός πολύ μεγαλύτερα λιγνιτικά. Θα πρέπει δηλαδή να αναγνωριστούν όλα τα στρώματα ανεξάρτητα από το αν θα εξορυχθούν εκλεκτικά, το οποίο συνεπάγεται ύψος στοιχείου τουλάχιστον 0.01 m. Η ακρίβεια της Z συντεταγμένης της γεώτρησης είναι 0.01 m και υπάρχουν αρκετά στρώματα πάχους λίγων cm, έστω ότι το πρώτο στρώμα ταυτίζεται με την κορυφή της γεώτρησης αν η διακριτοποίηση είναι μεγαλύτερη από 0.01 m δεν θα εντοπιστούν τα λεπτότερα στρώματα. Σχετικά με το μέγεθος του στοιχείου στο επίπεδο X, Y αυτό επιλέγεται με βάση δεδομένα ύψους παραγωγής και ανάλογα με την μέση απόσταση γεωτρήσεων και όχι βάσει των ασυνεχειών καθώς αυτές αν και υπάρχουν δεν είναι γνωστή, εκ των προτέρων, η θέση τους. Στο Σχήμα 3.2 έχει σχεδιαστεί η διακριτοποίηση (πράσινο) ώστε να ανιχνευτούν και τα λεπτότερα στρώματα.

### 3.1.3 : Διακριτοποίηση στις εφαρμοσμένες μεθοδολογίες

Η διακριτοποίηση στις παρακάτω εργασίες έχει σκοπό να μειώσει τον όγκο των υπό επεξεργασία δεδομένων προκειμένου να καλύπτει τις ανάγκες της μεθόδου παρεμβολής και αξιολόγησης. Συνεπώς είναι αρκετά μεγαλύτερη από το βέλτιστο.

Ξεκινώντας από το λογισμικό Metal, που χρησιμοποιείται από την ΔΕΗ για την αξιολόγηση των ελληνικών πολυστρωματικών κοιτασμάτων (Καραμαλίκης, 1992), δημιουργούνται στοιχεία σύμφωνα με τους περιορισμούς της ακτίνας αναζήτησης των αντιστρόφων αποστάσεων. Στη τρίτη διάσταση δεν διαχωρίζονται τα στρώματα τα οποία απλά αθροίζονται, δηλαδή δημιουργείται ένα τρισδιάστατο μοντέλο παρά το ότι ανιχνεύονται όλα τα στρώματα. Το ίδιο συμβαίνει και σε άλλες εργασίες, στις οποίες επιλέγονται άλλες μέθοδοι παρεμβολής όπως η Krigging (Pavlidis, 2016).

Στην παλαιότερη ερευνητική εργασία (Mastoris, 1994) που αναπτύχθηκε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό ομοίωμα και χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος LG γίνεται μία πολύ μεγάλη διαμέριση. Αυτή βελτιώνεται με την τεχνική του reblocking, που εφαρμόζεται για την βελτιστοποίηση του αλγόριθμου LG. Όμως η διαδικασία αυτή δεν είναι ικανή ώστε να αποτυπωθούν και τα πιο λεπτά στρώματα. Επίσης το αρχικό μοντέλο προέρχεται από το Metal με αποτέλεσμα πάλι να εισάγονται σφάλματα. Τέλος σε άλλες εργασίες (Κακοτρίχη, 2011; Οικονόμου, 2012; Σαμιώτης, 2012) στις οποίες δημιουργείται ένα τρισδιάστατο στερεό των γεωλογικών σχηματισμών, χρησιμοποιείται μεγάλο μέγεθος στοιχείου (0.5 m). Είναι φανερό πως μία σωστή διακριτοποίηση θα πρέπει να αποτυπώνει και τα πιο λεπτά στρώματα διαφορετικά θα εμφανίζεται η εικονική αραίωση ταυτόχρονα θα πρέπει να αναφέρεται στις τρεις διαστάσεις και όχι μόνο στις δύο.

## 3.2 : Στοιχεία μεθόδων απόδοσης τιμής

Οι μέθοδοι αυτοί έχουν σκοπό να αποδώσουν στο χώρο τιμές γεωλογικών και μεταλλευτικών ιδιοτήτων και όχι να υπολογίσουν μεταλλευτικά αποθέματα όπως αρκετές φορές γίνεται κατά σύμβαση. Για να επιτευχθεί αυτό κατ' αρχήν τα δεδομένα περιορίζονται στα όρια του σχηματισμού που εμπίπτει σε κάποια

γεωλογικά κριτήρια αξιολόγησης. Η διαφορά μεταλλευτικών και γεωλογικών αποθεμάτων έγκειται στο ότι τα πρώτα μπορούν να αποτιμηθούν σε αξία καθώς είναι άμεσα απολήψιμα. Τα γεωλογικά μπορούν να αποτιμηθούν αλλά η εκτίμηση αυτή αγνοεί όλες τις μεταλλευτικές παραμέτρους άρα έχει και μεγαλύτερη αβεβαιότητα, η οποία θα πρέπει να αναφέρεται. Η ιδιαιτερότητα στα πολυστρωματικά κοιτάσματα είναι ότι δεν υπάρχει σχέση ανάλογα με την απόσταση αν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια. Αυτό το γεγονός δεν λαμβάνεται υπόψη στις υπάρχουσες μεθοδολογίες με αποτέλεσμα να εισάγονται σφάλματα.

### 3.2.1 : Βασικές μέθοδοι παρεμβολής

Όλες οι μέθοδοι αποδίδουν τιμή με βάση την απόσταση από μία ή περισσότερες γεωτρήσεις, εκτός από την βαθμωτή παρεμβολή, ανεξάρτητα αν ο τρόπος απόδοσης της τιμής είναι αιτιοκρατικός ή στοχαστικός. Το πλήθος των γεωτρήσεων καθορίζεται από ένα ελλειψοειδές αναζήτησης, αν δεν έχουν περιοριστεί τα δεδομένα μόνο στον υπό μελέτη σχηματισμό τότε τοπικά θα υπάρχουν υποεκτιμήσεις ή υπερεκτιμήσεις του ορίου του σχηματισμού γιατί το ελλειψοειδές είναι μία στατιστική αποτύπωση της εκτίμησης της πραγματικότητας. Επομένως σε κάθε μία από τις παρακάτω μεθόδους, αν υπάρχει επιφάνεια ασυνέχειας, θα πρέπει να δημιουργηθούν φράγματα στο πεδίο τιμών που θα ορίζουν την ασυνέχεια. Διαφορετικά με βάση μία τιμή της ιδιότητας του μεταλλεύματος θα αποκτήσει τιμή ένα άγονο στοιχείο ή ένα άγονο θα δώσει τιμή στο μέταλλευμα.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Γαλετάκης, 2012; Μενεγάκη, 2010; Μόδης, 2010; Τσουτρέλης, 1983; Χριστόπουλος, 2014) η πρώτη κατηγορία μεθόδων απόδοσης τιμής αναφέρεται σαν συμβατικές ή γεωμετρικές ή αιτιοκρατικές μέθοδοι. Αυτές είναι:

- **Πολυωνυμική παρεμβολή**

Με την παρεμβολή αυτή ένα πολυώνυμο κάποιου βαθμού προσεγγίζει τα δεδομένα. Οι παρεμβολές αυτού του τύπου δεν παράγουν καλά αποτελέσματα με την άμεση εφαρμογή τους στα δεδομένα καθώς δεν λαμβάνουν υπόψη τη στοχαστικότητα του φαινομένου. Ωστόσο αν υπάρχει πολύ λεπτομερής αποτύπωση μετώπου θα ήταν δυνατόν να γίνουν τέτοιου είδους παρεμβολές προκειμένου να γίνει σύγκριση με την πρόβλεψη που έχει πραγματοποιηθεί με άλλες μεθόδους. Κυρίως όμως χρησιμοποιείται έμμεσα σε συνδυασμό με την μέθοδο krigging, αν υπάρχει τάση στην μετρούμενη ιδιότητα.

- **Βαθμωτή παρεμβολή**

Η βαθμωτή παρεμβολή (Μπατάλας, 2011) ή discrete (Carlson, 2011) είναι ουσιαστικά ο πιο στοιχειώδης τρόπος για να επιτευχθεί απόδοση τιμών. Είναι υποπερίπτωση της προηγούμενης καθώς αποτελεί ένα πολυώνυμο βαθμού μηδέν. Η τιμή του πολυωνύμου αυτού δεν είναι απαραίτητο να είναι η τιμή μόνο της γεώτρησης στο σημείο αλλά μπορεί να είναι συνισταμένη και άλλων μεταβλητών όπως για παράδειγμα στη μέθοδο φυσικών γειτόνων. Με αυτό τον τρόπο η μέθοδος μπορεί να αποκτήσει πολύ μεγάλη ευελιξία ανάλογη με αυτή άλλων μεθόδων στοχαστικών ή αιτιοκρατικών.

Η βαθμωτή παρεμβολή διαφέρει από τις υπόλοιπες καθώς κάθε δειγματοληπτικό γεωτρητικό σημείο θεωρείται σαν ένα επίπεδο πρίσμα (εδώ στρώμα) ίσου πάχους. Συνεπώς θα πρέπει το κάθε ένα να έχει διαφορετική διαμέριση. Αυτό δεν συμβαίνει σε άλλου τύπου παρεμβολές διότι θεωρείται ο χώρος συνεχής, ανεξάρτητα με το είδος της παρεμβολής αιτιοκρατικής ή στοχαστικής. Επομένως αυτά έχουν μία συσχέτιση με βάση την απόσταση. Στη συγκριμένη παρεμβολή τα μοναδιαία αυτά στρώματα θεωρούνται σε μία πρώτη προσέγγιση ασυσχέτιστα. Δηλαδή μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων (δειγματοληπτικών σημείων) και γεωτρήσεων υπάρχουν νοητές ασυνέχειες και ο χώρος θεωρείται διακριτός, χωρίς όμως να υπάρχουν κενά.

Όταν η μοναδιαία αυτή κυψελίδα σχηματίζεται από τις μεσοκαθέτους μεταξύ των γεωτρήσεων δημιουργείται η μέθοδος πολυγώνων Voronoi. Αν τα σημεία ενώνονται μεταξύ τους και η τιμή ορίζεται από των μέσο όρο των τριών κατασκευάζεται η μέθοδος των τριγώνων. Μπορεί να σχεδιαστεί οποιοδήποτε σχήμα για την κατασκευή του μοναδιαίου πολυγώνου ή πολύεδρου ή πρίσματος αρκεί τα σχήματα να είναι συμπληρωματικά στις τρεις διαστάσεις, δηλαδή να μην υπάρχουν κενοί χώροι μεταξύ τους. Συνήθως αυτό επιτυγχάνεται

με πολύγωνα ή τρίγωνα στις δύο διαστάσεις και πολύεδρα στις τρεις διαστάσεις. Το ύψος του πολύεδρου καθορίζεται πάλι με την μέση απόσταση, αυτή την φορά, δυο συνεχόμενων σημείων δειγματοληψίας εντός της γεώτρησης. Με την κατασκευή αυτού είναι δυνατόν να υπολογιστούν τα αποθέματα δηλαδή είναι μία μέθοδος υποτυπώδους αξιολόγησης. Εδώ χρησιμοποιήθηκε ο όρος πολύεδρο και όχι στοιχείο καθώς γίνεται αναφορά στο χώρο που θα καταλαμβάνει μία τιμή η οποία πρέπει (δεν είναι πάντα εφικτό) να περιλαμβάνει πολλά στοιχεία – κόμβους της διακριτοποίησης στα οποία θα αποδοθεί αυτή η τιμή.

- **Βαρών αντιστρόφων αποστάσεων**

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο διαδεδομένη από τις αιτιοκρατικές μεθόδους λόγω της ευελιξίας της με την αλλαγή των δυνάμεων ( $p$ ). Στη μέθοδο αυτή κάθε μία τιμή εντός μίας ακτίνας επιρροής από το σημείο εκτίμησης αποκτά μία τιμή από τον τύπο (3.1). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος αυτή δεν προσφέρει εκτίμηση του σφάλματος άμεσα παρά μόνο με κάποια μέθοδο διασταυρωτικής επαλήθευσης όπως η leave one out. Επίσης τα δεδομένα θα πρέπει να περιοριστούν εντός του σχηματισμού διαφορετικά τα σημεία εκτίμησης θα διαμορφώνονται και με βάση τιμές αγόνων. Το  $z - s_i$  είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου εκτίμησης και των δεδομένων. Τα  $X(z)$  και  $X(s_i)$  είναι οι τιμές στα σημεία εκτίμησης και δεδομένων αντίστοιχα.

$$X(z) = \sum_{i=1}^N \frac{|z-s_i|^{-p}}{\sum_{i=1}^N |z-s_i|^{-p}} X(s_i) \quad (3.1)$$

Η άλλη κατηγορία αναφέρεται σαν γεωστατιστικές, στατιστικές, στατιστικομαθηματικές ή στοχαστικές μέθοδοι παρεμβολής και εδώ θα πρέπει τα δεδομένα να περιορίζονται για τον ίδιο λόγο. Αυτές είναι:

- **Ελάχιστα τετράγωνα**

Η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων είναι η περισσότερο διαδεδομένη μέθοδος παρεμβολής τιμών σε σημεία που περιέχουν αβεβαιότητα. Ωστόσο δεν είναι συνίσταται για κοιτάσματα διότι δεν λαμβάνει υπόψη την ιδιαίτερη κατανομή μιας ιδιότητας στο χώρο.

- **Krigging**

Η κατηγορία αυτών των μεθόδων είναι ίσως η πιο διαδεδομένη μέθοδος αλλά ταυτόχρονα και αρκετά περίπλοκη για την απόδοση τιμών στο χώρο του κοιτάσματος. Θεωρητικά αποτελεί την βέλτιστη γραμμική αμερόληπτη μεσοσταθμική μέθοδο εκτίμησης. Τα βασικά πλεονεκτήματά της είναι ότι βασίζεται σε θεωρητικό υπόβαθρο, επίσης μπορεί να υπολογίσει τη μέση τιμή και τη διακύμανση του σημείου εκτίμησης.

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι βασισμένοι στη θεωρία των μη-γραμμικών συστημάτων (θεωρία του χάους) και των πολύ-δυναμονομικών μοντέλων (Χριστόπουλος, 2014) αλλά είναι σε πρώιμο ερευνητικό στάδιο όσον αφορά την μεταλλευτική. Μία άλλη προσέγγιση και με πιο προχωρημένη ερευνητική δραστηριότητα είναι η τεχνητή νοημοσύνη (Galetakis and Vasiliou, 2010; Γαλετάκης, 2012). Σε αυτό τον τομέα έχουν υπάρξει μελέτες στον τομέα της μεταλλευτικής που ερευνά τα πολυστρωματικά λιγνιτικά κοιτάσματα. Ωστόσο δεν διευρύνεται στην παρούσα εργασία καθώς βασικό κομμάτι είναι η εύρεση των βέλτιστων ορίων και όχι η πιστότερη απόδοση τιμών των ιδιοτήτων ενός γεωλογικού σχηματισμού στο χώρο.

### 3.2.2 : Το πρόβλημα της παρεμβολής στα πολυστρωματικά κοιτάσματα

Όσον αφορά τον τρόπο παρεμβολής η δυσκολία υλοποίησης ενός τρισδιάστατου ομοιώματος βρίσκεται στην αδυναμία συσχέτισης των στρωμάτων και στρώσεων μεταξύ της ίδιας και των άλλων γεωτρήσεων. Ο αριθμός των διαφορετικών λιγνιτικών στρωμάτων φτάνει ακόμα και στα 70 σε κάποιες γεωτρήσεις, δηλαδή είναι αναγκαίο να συσχετιστούν 140 στρώματα μεταξύ τους.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι παρά το γεγονός ότι οι γεωτρήσεις παρουσιάζουν πολύ καλή συσχέτιση στις δύο διαστάσεις (Modis et al., 2006) αυτό δεν συμβαίνει στις τρεις με αποτέλεσμα να χρειάζονται

πύκνωση. Δηλαδή ενώ το αθροιστικό πάχος του λιγνίτη ενδεχομένως να είναι συσχετίσιμο, τα μεμονωμένα στρώματα δεν είναι καθώς βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις και πάχη. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μην μπορούν να αντιστοιχηθούν ένα προς ένα τα στρώματα και οι στρώσεις μεταξύ τους σε διαφορετικές γεωτρήσεις. Αυτό διαπιστώνεται από την αποτύπωση μετώπου του τομέα έξι στο ορυχείο Καρδιάς (Μπάρμπας, 2013) και με την περαιτέρω ανάλυση που έγινε (Δεληγιώργης, 2013). Αποτέλεσμα είναι οι μεταλλευτικές παράμετροι που εισάγονται να μην είναι αρκετά εξειδικευμένοι και να δημιουργούνται σοβαρές αποκλίσεις της πρόβλεψης από την επίτευξη των εκσκαφών και του λιγνίτη. Συνεπώς δεν μπορεί να υπάρξει λεπτομερής γεωλογική συσχέτιση εκτός αν πραγματοποιηθεί ένα εξαιρετικά δαπανηρό γεωτρητικό πρόγραμμα ή με την αποτύπωση μετώπου κατά την εξόρυξη.

Προκειμένου να προσδιοριστεί αυτή η έντονη μεταβλητότητα μεταξύ των στρώσεων μίας γεώτρησης κατά το γεωτρητικό πρόγραμμα χρησιμοποιείται ένα πολύ πυκνό διάστημα δειγματοληψίας. Ωστόσο για όλες τις ιδιότητες των δειγμάτων αυτών, γεωλογικές και μεταλλευτικές, δεν υπάρχει κάποιος τρόπος συσχέτισης ή ομαδοποίησής τους χωρίς να αλλοιωθούν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά κατά την παρεμβολή και αξιολόγησή τους. Το ίδιο συμβαίνει και μεταξύ των υπόλοιπων γεωτρήσεων διότι υπάρχει πολύ μεγάλη αβεβαιότητα αυτή την φορά λόγω ρηγμάτων, αποσφηνώσεων, αποθυσανώσεων, διαβρώσεων κτλ. Με αποτέλεσμα η όποια συσχέτιση κυρίως με την βοήθεια των οριζόντων *Neritina* και χαρακτηριστικής άμμου (στο συγκεκριμένο κοίτασμα) να μην διευκολύνει την προσομοίωση παρά μόνο σε επίπεδο οριζόντων και όχι σε αντιστοιχία στρωμάτων ή στρώσεων.

Συνοψίζοντας όσον αφορά την παρεμβολή η αιτία την δυσκολίας ανάπτυξης ενός ψηφιακού ομοιώματος οφείλεται στο πολύ μεγάλο πλήθος δειγμάτων στη κατακόρυφη διεύθυνση, στο μικρό πλήθος δειγμάτων στο επίπεδο Χ, Ψ και στον τρόπο με τον οποίο οι αλγόριθμοι των λογισμικών κατασκευάζουν ένα ομοίωμα. Επομένως δεν είναι δυνατόν να υλοποιηθεί ένα ακριβές τρισδιάστατο ομοίωμα από κάποιο υπάρχον λογισμικό Η/Υ με βάση τα υπάρχοντα γεωτρητικά στοιχεία.

### 3.2.3 : Εφαρμοσμένοι τρόποι παρεμβολής σε πολυστρωματικά κοιτάσματα

Σε ένα πολυστρωματικό κοίτασμα ελληνικού τύπου ενώ έχουν δημιουργηθεί πολλά μεταλλευτικά μοντέλα δύο διαστάσεων είναι αδύνατο να δημιουργηθεί τριών, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο εδάφιο, αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχει γεωλογική συσχέτιση, άρα δεν είναι γνωστό το ελλειψοειδές επίδρασης ή επιρροής.

Αυτό είναι σημαντικό καθώς μέθοδοι όπως η βαρών αντιστρόφων αποστάσεων που χρησιμοποιεί το Metal (Καραμαλίκης, 1992) ή η μέθοδος Krigging που χρησιμοποιήθηκε με τον δείκτη εκμεταλλευσιμότητας (Pavlidis, 2016) απαιτούν ένα ελλειψοειδές επίδρασης. Συνεπώς οι μέθοδοι αυτοί προσπαθώντας να λύσουν το πρόβλημα του τρισδιάστατου ομοιώματος το μετατρέπουν σε δισδιάστατο αθροίζοντας μέρος ή όλα τα λιγνιτικά εκμεταλλεύσιμα στρώματα. Με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχει η ανάγκη για συσχέτισή τους ένα προς ένα. Όμως δεν είναι δυνατόν να εισαχθούν παράμετροι για την αξιολόγηση που αφορούν πλήρη τεχνοοικονομικά δεδομένα.

Αυτό είναι και το βασικό μειονέκτημα όλων των μεθόδων, δηλαδή δεν αποδίδουν τιμές σε ένα τρισδιάστατο ομοίωμα αλλά σε ένα δισδιάστατο αλλοιώνοντας τον χαρακτήρα του κοιτάσματος. Όσον αφορά την εργασία (Mastoris, 1994) χρησιμοποιείται η μέθοδος krigging αφού πρώτα έχει γίνει επεξεργασία με το metal. Το πρόβλημα που ανακύπτει είναι το ίδιο καθώς αλλοιώνεται ο χαρακτήρας του κάθε στρώματος αφού δεν μετράτε η μεταβλητότητα της ΚΘΙ ή της Τ.ε.ξ αλλά η περιεκτικότητα κάθε στοιχείου σε λιγνίτη. Η αλλοίωση αυτή δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί με κάποιο κριτήριο αξιολόγησης.

### 3.3 : Βασικά στοιχεία μεθόδων αξιολόγησης

Εδώ εμπίπτουν οι μέθοδοι που αξιολογούν τις τιμές που έχουν αποδοθεί στο χώρο και δεν πρέπει να αποδίδουν τιμές στο χώρο. Σκοπός τους είναι να προσδιορίσουν τα τελικά όρια του ορυχείου, προκειμένου να γίνει αυτό δημιουργείται ένα αρχικό σώμα και μετά αυτό επεκτείνεται. Η επέκταση αυτή είναι μία διαφορική επέκταση και η διαφορά σε κάθε μέθοδο έγκειται στο σχήμα που αυτή έχει και το είδος των περιορισμών που εφαρμόζονται. Η δυσκολία αξιολόγησης των πολυστρωματικών κοιτασμάτων οφείλεται στις μεθόδους παρεμβολής καθώς με την εφαρμογή τους χάνεται ο «χαρακτήρας» του στρώματος. Επίσης η νέα ιδιότητα που έχει δημιουργηθεί για τον σκοπό της παρεμβολής είναι δύσκολο να αξιολογηθεί, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να εφαρμοστούν πολλά κριτήρια κατά την αξιολόγηση.

### 3.3.1 : Παρουσίαση ευρετικών μεθόδων

Οι ευρετικές μέθοδοι σχεδιάζονται για να βρίσκουν καλές προσεγγιστικές λύσεις σε δύσκολα συνδυαστικά προβλήματα τα οποία διαφορετικά δεν μπορούν να επιλυθούν με τους διαθέσιμους αλγόριθμους βελτιστοποίησης. Μία ευρετική μέθοδος είναι μία τεχνική άμεσης αναζήτησης που χρησιμοποιεί εμπειρικούς κανόνες για να εντοπίσει βέλτιστες λύσεις. Το πλεονέκτημα των ευρετικών μεθόδων είναι ότι συνήθως βρίσκουν γρήγορα (καλές) λύσεις. Το μειονέκτημα είναι ότι η ποιότητα της λύσης είναι (σε σχέση με την πραγματική βέλτιστη λύση) γενικά άγνωστη. Ένας ευρετικός αλγόριθμος τερματίζει όταν δεν βρει μία καλύτερη από την προηγούμενη λύση δηλαδή παγιδεύονται σε ένα τοπικό ακρότατο. Οι μεταευρετικοί αλγόριθμοι κατά κύριο λόγο σχεδιάζονται ώστε να αποφεύγουν την παγίδευση σε τοπικά ακρότατα (Taha, 2014). Τέτοιες είναι οι μέθοδοι :

- **Κινητού κώνου**

Μια από τις περισσότερο χρησιμοποιημένες μεθόδους είναι αυτή του κινητού κώνου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί έναν ανεστραμμένο κώνο με κορυφή την βάση ενός στοιχείου του κοιτάσματος. Η γωνία πρηνούς ορίζεται με βάση τις διαστάσεις του στοιχείου. Με την συστηματική μετακίνηση αυτού του κώνου σε κάθε στοιχείο υπολογίζεται το άθροισμα της ΚΠΑ των στοιχείων εντός του κώνου. Αν αυτό είναι θετικό τότε το στοιχείο αυτό είναι εκμεταλλεύσιμο αν όχι απορρίπτεται ολόκληρος ο κώνος. Η περιβάλλουσα που δημιουργείται από τα στοιχεία που είναι οριακά εκμεταλλεύσιμα είναι το όριο του κοιτάσματος στο τρισδιάστατο χώρο. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές της μεθόδου αυτής, όπως η μέθοδος Korobov.

- **Lersch-Grossman**

Ο αλγόριθμος Lersch-Grossman (LG) είναι ο πιο διαδεδομένος, στις διάφορες παραλλαγές του (2D, 3D, 4D), ώστε να υπολογιστούν τα όρια ενός ορυχείου. Βασίζεται στη θεωρία γραφημάτων και βρίσκει ένα οικονομικά αποδεκτό όριο το οποίο αποτελεί και ένα πολύ καλό όριο του ορυχείου αλλά όχι πάντα το βέλτιστο. Η μέθοδος θα παρουσιαστεί αναλυτικά σε επόμενο εδάφιο. Για την εισαγωγή του χρόνου (4D) χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος whittle (Sattarvand, 2009).

- **Μεταευρετικοί αλγόριθμοι**

Στη μεταλλευτική έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι μεταευρετικοί αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από την εξέλιξη και λειτουργία βιολογικών συστημάτων όπως: γενετικοί εξελικτικοί αλγόριθμοι (Evolutionary genetic algorithms), αλγόριθμοι βελτιστοποίησης βασισμένοι στη λειτουργία των αποικιών μυρμηγκιών (Ant colony optimization) και αλγόριθμοι βελτιστοποίησης βασισμένοι στη θερμοδυναμική ισορροπία κατά τη διάρκεια ανόπτησης υλικών (Annealing optimization) (Sattarvand, 2009).

- **Εμπειρικές – Ημι-εμπειρικές**

Στις μεθόδους αυτές με βάση απολογιστικά στοιχεία εκμετάλλευσης και οικονομικών αποτελεσμάτων καθορίζονται τα όρια μιας εκμετάλλευσης βασισμένα στη μέγιστη επιτρεπόμενη σχέση εκμετάλλευσης.

### 3.3.2 : Ιδιότητες για την αξιολόγηση πολυστρωματικών κοιτασμάτων

Το πρόβλημα στην αξιολόγηση δεν προκύπτει τόσο λόγω ακατάλληλης μεθόδου αλλά κυρίως λόγω ανεπαρκών κριτηρίων. Όπως αναλύθηκε το πρόβλημα της ελλιπούς διακριτοποίησης επιλύεται, παροδικά, με την εισαγωγή μίας νέας ιδιότητας κατά την παρεμβολή των τιμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μην γίνεται αξιολόγηση με το σύνολο των παραμέτρων που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά μόνο

με μία νέα ιδιότητα. Με τον τρόπο αυτό αλλοιώνεται ο «χαρακτήρας» του στρώματος και είναι πλέον αδύνατος ο συγκερασμός των παραμέτρων σε ένα. Συνεπώς η ιδιότητα αυτή δεν είναι επαρκής για να περιγράψει το κοίτασμα.

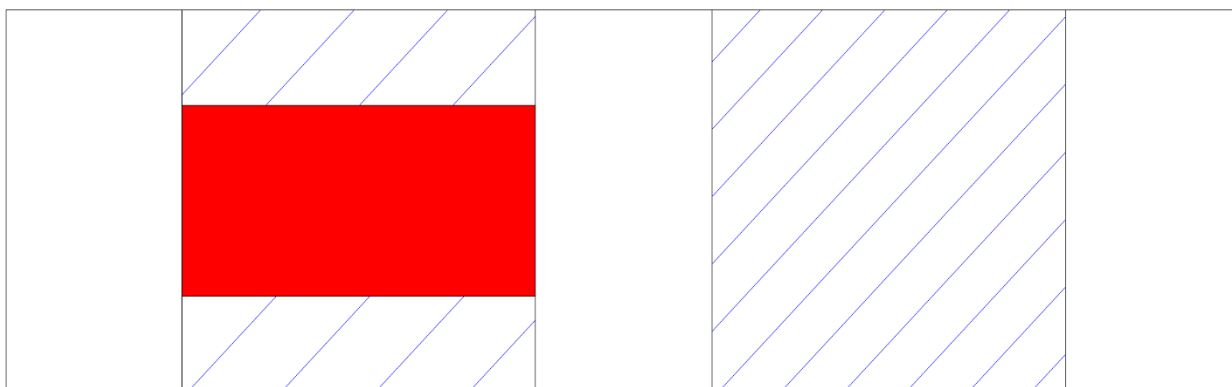
Η περιγραφή του συνολικού πλήθους και της αλληλεξάρτησης των παραγόντων θα μπορούσε να γίνει με την ξεχωριστή εισαγωγή, πολλών κριτηρίων για τον χαρακτηρισμό ενός στρώματος σαν εκμεταλλεύσιμο ή όχι. Όχι δηλαδή με τον συγκερασμό των ιδιοτήτων τους σε ένα κριτήριο. Όμως με τον τρόπο αυτό εισάγονται σφάλματα, η μέθοδος γίνεται εξαιρετικά πολύπλοκη και χρονοβόρα, ενώ τέλος πολλά από αυτά όπως ΚΘΙ και Τ.ε.ξ. αλληλεπικαλύπτονται.

Ο περιορισμός των δεδομένων μέσω της αποκοπής τους από τα διαφορετικά κριτήρια εισάγει σφάλματα καθώς αφαιρούνται δεδομένα τα οποία έχουν μία μικρή επιρροή στο τελικό αποτέλεσμα. Πιο συγκεκριμένα τα σφάλματα εμφανίζονται γιατί αγνοείται η αθροιστική συνέργεια των παραγόντων με αποτέλεσμα να εξαιρούνται ή να συμπεριλαμβάνονται στρώματα ή τμήματα αυτών που δεν θα έπρεπε. Είναι λανθασμένη επιλογή να αγνοηθούν μερικοί παράγοντες καθώς δεν θα είναι εφικτό να μελετηθούν διαφορετικές περιπτώσεις εκμετάλλευσης.

Το παρακάτω παράδειγμα (Σχήμα 3.2) περιγράφει το πρόβλημα του περιορισμού των δεδομένων. Για να υπολογιστεί η ιδιότητα σε όλη την έκταση ενός στοιχείου και όχι μόνο στο στρώμα λιγνίτη χρησιμοποιείται ο σταθμικός μέσος όρος μόνο μίας ιδιότητας. Μία τέτοια ιδιότητα είναι το θερμικό περιεχόμενο ενός πάσου ή πακέτου ή block εκφρασμένο σε ΚΘΙ και συνεπώς ενός στοιχείου. Σε ένα τυχαίο στοιχείο διαστάσεων 10m x 10m x 10m διακρίνονται δύο ακραίες περιπτώσεις, στη πρώτη υπάρχει ένα εκμεταλλεύσιμο λιγνιτικό στρώμα (1500 kcal/kg) πάχους 5m σε συνδυασμό με άγονα φτωχά σε οργανική ύλη (0 kcal/kg). Στη δεύτερη το στοιχείο περιέχει μόνο ένα μη εκμεταλλεύσιμο στρώμα το οποίο είναι πολύ πλούσιο σε οργανική ύλη (800 kcal/kg). Στην πρώτη περίπτωση το στοιχείο περιέχει 0.9 Gcal και στη δεύτερη 0.96 Gcal. Με ένα κριτήριο ελάχιστου ή μέγιστου θερμικού περιεχομένου ανά στοιχείο (έστω 0.88 Gcal ή 1 Gcal) το αποτέλεσμα θα ήταν ίδιο και για τα δύο στοιχεία, ενώ στη πραγματικότητα θα έπρεπε το ένα να απορριφθεί. Όπως έχει αναλυθεί αυτό είναι το φαινόμενο της εικονικής αραίωσης με άλλη μορφή.

Στο ίδιο παράδειγμα παρατηρείται ότι τα στρώματα έχουν διαφορετικό πάχος, υποθέτοντας ότι το κριτήριο ήταν ορθό και τα στρώματα ήταν εκμεταλλεύσιμα, πάλι δεν θα ήταν επαρκές καθώς υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που χαρακτηρίζουν την εκμεταλλευσιμότητα. Ένας από αυτούς είναι ότι το λεπτότερο στρώμα έχει μεγαλύτερο μοναδιαίο κόστος εξόρυξης από το παχύτερο λόγω μειωμένης απόδοσης του εξοπλισμού. Αυτή η διαφορά θα καθιστούσε το λεπτότερο μη εκμεταλλεύσιμο.

Συνεπώς φαίνεται ότι με την εφαρμογή ενός νέου κριτηρίου ελάχιστου θερμικού περιεχομένου δεν εξομαλύνεται το πρόβλημα της διακριτοποίησης άρα δεν θα ήταν δυνατή η σωστή αξιολόγηση. Επίσης αυτό δεν είναι επαρκές διότι υπάρχουν και άλλες ιδιότητες που πρέπει να περιοριστούν με κριτήρια όπως η παραγωγικότητα του εξοπλισμού. Τα δύο αυτά κριτήρια περιορίζουν με διαφορετικό τρόπο τα δεδομένα και αφαιρούν η εξαιρούν εκμεταλλεύσιμα ή μη στρώματα. Ο συγκερασμός τους σε ένα κριτήριο, εκτός της οικονομικής αξίας, είναι αδύνατος διότι δεν υπάρχει τρόπος σύγκρισης για παράδειγμα της ΚΘΙ με την απόδοση του ΕΚ στις μέχρι τώρα μελέτες.



Σχήμα 3.2: Απεικόνιση του παραδείγματος περιορισμού δεδομένων, (δεξιά, πρώτη περίπτωση, αριστερά δεύτερη περίπτωση).

### 3.3.3 : Εφαρμοσμένοι τρόποι αξιολόγησης σε πολυστρωματικά κοιτάσματα

Με βάση την περιγραφή των προβλημάτων, στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν ορισμένοι τρόποι αντιμετώπισης και ιδιότητες που έχουν προταθεί επιστημονικά ή εφαρμόζονται στη πράξη γι' αυτού

του τύπου τα κοιτάσματα. Ένα από τα μειονεκτήματά τους είναι ότι δεν λαμβάνουν υπόψη τον προγραμματισμό και τις συνθήκες παραγωγής. Ακόμα λίγες είναι οι προσπάθειες κατασκευής τρισδιάστατου ομοιώματος χωρίς ωστόσο αυτό να περιέχει την ΚΠΑ ενώ όσα την περιέχουν δεν είναι τρισδιάστατα.

Η βασική ιδιότητα που αξιολογείται είναι η σχέση εκμετάλλευσης (ΣΕ), επίσης έχει χρησιμοποιηθεί το θερμικό περιεχόμενο και σε περιορισμένη μορφή η οικονομική αξία χωρίς όμως μία αξιόπιστη μέθοδο σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης του ψηφιακού ομοιώματος. Η οριακή ΣΕ (ΟΣΕ), όσον αφορά την έως τώρα διαδικασία αποτίμησης των αποθεμάτων είναι μία έκφανση της οριακής περιεκτικότητας (cut-off grade). Αυτό συμβαίνει διότι η ελάχιστη αποδεκτή ΚΘΙ καθορίζεται από τον ΑΗΣ και δεν είναι «διαπραγματεύσιμη», επομένως το συνολικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων είναι αυτό που καθορίζει την εκμεταλλευσιμότητα σε όσα στρώματα ξεπερνούν την ελάχιστη ΚΘΙ. Καθώς το πάχος είναι συνάρτηση του αριθμού των λιγνιτικών στρωμάτων η ΣΕ μπορεί να θεωρηθεί σαν περιεκτικότητα λιγνίτη ανά μέτρο μεταλλοφόρου σχηματισμού.

Το ίδιο συμβαίνει και με άλλες παρόμοιες σχέσεις όπως η σχέση Ε/Λ (ενδιάμεσα προς λιγνίτη) η οποία μπορεί να θεωρηθεί σαν μία άλλη έκφανση της περιεκτικότητας ίσως περισσότερο αντιπροσωπευτική αλλά λιγότερο λειτουργική από τη ΣΕ. Επίσης ο δείκτης εκμεταλλευσιμότητας (Pavlidis et al., 2008; Παυλίδης, 2008), ο οποίος είναι κομμάτι της σχέσης Ε/Λ με οικονομικούς όρους, εκφράζει και αυτός στην ουσία μία πυκνότητα στρωμάτων. Συνεπώς για τον καθορισμό των ορίων του κοιτάσματος σημασία έχει η ΟΣΕ και όχι, τουλάχιστον άμεσα, η ΚΘΙ του λιγνίτη. Όσον αφορά την ορολογία έχει επικρατήσει ο όρος σχέση εκμετάλλευσης αντί σχέση αποκάλυψης όταν γίνεται αναφορά στο χαρακτηρισμό λιγνιτικών κοιτασμάτων, πιθανόν λόγω της σχέσης της με την οριακή περιεκτικότητα.

Το κοιτάσμα θα πρέπει να αξιολογηθεί τουλάχιστον σε επίπεδο ενεργειών και όχι μόνο αποθεμάτων σε μάζα λιγνίτη καθώς μπορεί να τροφοδοτεί πολλούς ή να σχεδιαστεί άλλος ΑΗΣ. Τα αποθέματα σε τόνους μπορεί να ισχύουν για διαφορετικές ποιότητες ενώ για μία ποιότητα μπορεί να υπάρχουν διαφορετικά αποθέματα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι αποκλίσεις του Τομέα 6 του ορυχείου Καρδίας που ήδη έχει γίνει αναφορά. Μία ιδιότητα που μπορεί να ανταποκριθεί σε αυτό είναι το θερμικό περιεχόμενο του στρώματος εκφρασμένο σε ΚΘΙ και συνεπώς ενός στοιχείου. Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιήθηκε (Pavlidis, 2016) όμως αποκλειστικά και μόνο για τα λιγνιτικά στρώματα. Στη πραγματικότητα λόγω της ρύπανσης και αραίωσης των στρωμάτων από τα άγονα κατά την εκλεκτική εξόρυξη ελαττώνεται η ΚΘΙ. Επειδή στα άγονα δεν είχε αποδοθεί μία τιμή για την ΚΘΙ δεν λήφθηκε υπόψη αυτό το φαινόμενο.

Η οικονομική αξία έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές περιπτώσεις όχι όμως με ένα ολοκληρωμένο τρόπο. Ένα απλό τρισδιάστατο ομοίωμα (Mastoris, 1994) είχε εισαχθεί και αξιολογηθεί με τον αλγόριθμο LG χωρίς όμως να γίνεται κοστολογική ανάλυση ενώ δεν συμπεριλήφθηκε η ΚΠΑ. Με την βοήθεια της γεωστατιστικής ανάλυσης κατασκευάστηκε ένα ομοίωμα με οικονομικές αξίες μέσω του μέτρου εκμεταλλευσιμότητας και αξιολογήθηκε με εμπειρικές τιμές (Pavlidis, 2016). Αυτό περιείχε αρκετά κοστολογικά στοιχεία, βασικό μειονέκτημα όμως είναι η απουσία τρισδιάστατου ομοιώματος και η έλλειψη της ΚΠΑ. Τέλος μία αρκετά ολοκληρωμένη ανάλυση (Ρούμπρος, 2004) επετεύχθηκε βάσει αναλυτικών οικονομικών κριτηρίων, αυτά όμως δεν συνδυάζονται με ένα τρισδιάστατο γεωλογικό και μεταλλευτικό ομοίωμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση σε μία μεταγενέστερη (Karageridis and Kolonos, 2009) και στην προηγούμενη (Mastoris, 1994) χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Metal. Παρά τα αξιόπιστα αποτελέσματα που αποδίδει το λογισμικό αυτό δεν μπορεί να δημιουργήσει ένα λεπτομερές τρισδιάστατο ομοίωμα. Έτσι τα οικονομικά στοιχεία δεν συνδέονται «οργανικά» με το κοιτάσμα παρά μόνο σε επίπεδο όγκου μεταλλεύματος και αγόνων, δηλαδή δεν είναι δυνατόν να δημιουργηθεί μία αυτοματοποιημένη επαναληπτική διαδικασία βελτιστοποίησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην είναι εύκολη η αξιολόγηση καθώς για κάθε κριτήριο που θα περικλύπτει τα δεδομένα θα πρέπει η διαδικασία να επαναλαμβάνεται από την αρχή.

Όλες οι μέθοδοι για να ξεπεράσουν το πρόβλημα του τρισδιάστατου ομοιώματος εισάγουν μια ιδιότητα πυκνότητας των στρωμάτων την οποία και αξιολογούν. Για κάθε ιδιότητα περιορίζονται τα δεδομένα και με όσα απομένουν υπολογίζονται τα αποθέματα σε τόνους. Συνήθως με την μέχρι τώρα ανάλυση χρησιμοποιείται κατά βάση ένα κριτήριο πυκνότητας (ΣΕ) του οποίου το όριο είναι εμπειρικό. Γι' αυτό δημιουργείται η ανάγκη της εισαγωγής εμπειρικών συντελεστών ώστε να διορθωθούν οι αποκλίσεις, αυτό γίνεται κυρίως μέσω των συντελεστών ρύπανσης και αραίωσης. Όμως αυτοί οι εμπειρικοί συντελεστές ισχύουν μόνο για συγκεκριμένους τομείς του ορυχείου και όχι για όλο όπως συμβιβαστικά εφαρμόζεται. Παρόλο που μπορεί να είναι ακριβέστατοι για ορισμένους τομείς, σε μακροπρόθεσμη βάση είναι τρωτοί. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η ρύπανση και η αραίωση δεν εισάγεται στο λογισμικό Metal ώστε να χρησιμοποιείται σαν συντελεστής διόρθωσης του μοντέλου με την πραγματικότητα αλλά για να περιγράψουν την επίδραση την εκλεκτικής εξόρυξης. Συνεπώς είναι λανθασμένο αυτοί να ρυθμίζονται ώστε η πρόβλεψη να συμφωνεί με τα δεδομένα τις παραγωγής.

Ο εμπειρικός σχεδιασμός με τον οποίο η ΔΕΗ (Ρούμπος and Παυλουδάκης, 2010) υπολογίζει τα αποθέματα μέσω μη αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Πρώτα εισάγονται τα γεωτρητικά δεδομένα στο Metal στο οποίο γίνεται ταυτόχρονα η παρεμβολή και η αξιολόγηση μετά κατασκευάζονται ισοδιάστατοι χάρτες των ιδιοτήτων. Στην συνέχεια με βάση τους χάρτες ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Χάραξη πυθμένα ορυχείου με γραμμική ΣΕ < ΟΣΕ και εξομάλυνση του ορίου.
- Σχεδιασμός πρानών.
- Διαφορική - τμηματική επέκταση με μέγιστη τοπική ΣΕ διπλάσια της ΟΣΕ.
- Σχεδιασμός τελικής εκσκαφής.

Το μειονέκτημα του τρόπου αυτού είναι ότι καθορίζεται με εμπειρικό τρόπο το πόσο μεγαλύτερη θα είναι η ΟΣΕ από την γραμμική ΣΕ όπως επίσης και σε επόμενο βήμα η τοπική ΣΕ να είναι διπλάσια από την ΟΣΕ. Αποτέλεσμα αυτών είναι η μη ολοκληρωμένη εκτίμηση των αποθεμάτων και της αξίας του πραγματικού κοιτάσματος. Μεταξύ άλλων δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί το μέγιστο βάθος που μπορεί να φτάσει το ορυχείο.

### 3.4 : Μέθοδοι ολοκλήρωσης (ογκομέτρησης)

Με αυτές τις μεθόδους δημιουργείται ένα στερεό σώμα το οποίο αντιπροσωπεύει τα μεταλλευτικά αποθέματα ποιοτικά και ποσοτικά. Με τις παραπάνω μεθόδους κάθε στοιχείο έχει αποκτήσει μία τιμή και αυτή έχει αξιολογηθεί, για να έχει νόημα θα πρέπει να «συνδεθεί» με τα υπόλοιπα στοιχεία για να δημιουργήσει ένα στερεό σώμα, αυτό το σκοπό υπηρετούν οι μέθοδοι ολοκλήρωσης. Εισάγουν ένα πολύ μικρό σφάλμα σε σχέση με την παρεμβολή το οποίο συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη. Αυτές είναι:

- **Μέθοδος τομών**

Η μέθοδος αυτή έχοντας ορισμένες τομές ενός κοιτάσματος το οποίο θα πρέπει να έχει αξιολογηθεί υπολογίζει τη μέση περιεκτικότητα και τον όγκο μεταξύ δύο τομών με τον σταθμικό μέσο όρο. Εργαζόμενοι ανά δύο τομές μπορεί να υπολογιστεί το σύνολο των αποθεμάτων του κοιτάσματος. Ουσιαστικά αυτή είναι η μέθοδος του τραpezίου ο τύπος της οποίας περιλαμβάνεται σε μία οικογένεια τύπων γνωστή και ως εκφράσεις ολοκλήρωσης Newton-Cotes. Σε αυτές εμπεριέχονται οι κανόνες Simpson οι οποίοι συναντιούνται συχνά στη μεταλλευτική.

- **Τύποι γεωμετρίας**

Εφόσον τα όρια είναι γνωστά όπως για παράδειγμα το σχήμα των αποθέσεων μπορούν να εφαρμοστούν τύποι όπως αυτοί της κόλουρης πυραμίδα, κόλουρου κώνου κτλ. Ανάλογα το είδος του κοιτάσματος και εφόσον περιγράφεται εύκολα γεωμετρικά τότε επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος. Συνήθως μία τέτοια μέθοδος επιλέγεται αν δεν είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της ποιότητας.

- **Άθροιση των στοιχείων**

Αυτή είναι η συνηθέστερη μέθοδος όσον αφορά τους Η/Υ. Αφού έχουν δημιουργηθεί στοιχεία σταθερού μεγέθους και αυτά αποτελούν μόνο μέρος του κοιτάσματος είναι δυνατόν να αθροιστούν και έτσι να υπολογιστούν ποσοτικά και ποιοτικά τα αποθέματα.

- **Μέθοδος Gauss-Legendre**

Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με την πρώτη με την διαφορά ότι κάθε τομή θα πρέπει να έχει γίνει σε συγκεκριμένες θέσεις.

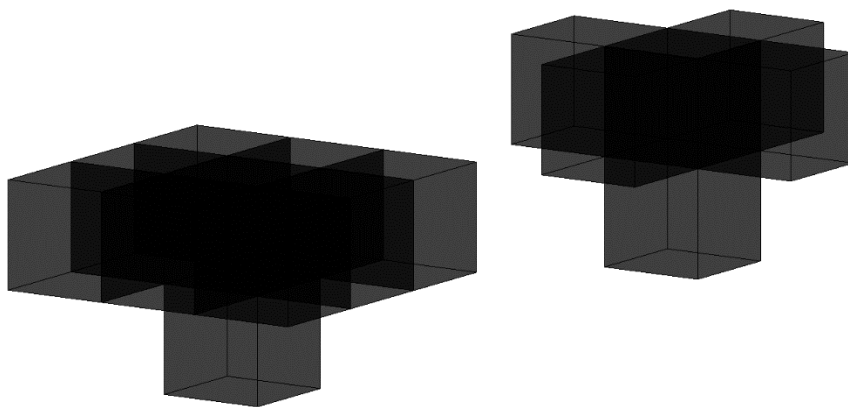
Αναλυτικότερες περιγραφές υπάρχουν για την μέθοδο των τομών και για γεωμετρικούς τύπους (Με-νεγάκη, 2010; Τσουτρέλης, 1983) ενώ για τις κλασικές μεθόδους ολοκλήρωσης περιγράφονται αναλυτικά οι τύποι και οι αλγόριθμοι (Chapra and Canale, 2014; Ακρίβης and Δουγάλης, 2010).

### 3.6 : Αλγόριθμος Lerchs – Grossman

Ο αλγόριθμος LG βασίζεται στη θεωρία γραφημάτων (γράφων ή δικτυωμάτων). Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν ορισμένες βασικές έννοιες από την θεωρία δένδρων γραφημάτων και συνοπτικά μέσα από ένα παράδειγμα θα παρουσιαστεί ο αλγόριθμος. Ο αλγόριθμος εξετάζει κατά πόσο τα συνδεδεμένα (υπερκείμενα) στοιχεία είναι οικονομικά αποδεκτό να εξορυχθούν προκειμένου να εξαχθεί το υπό εξέταση στοιχείο.

Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι για δύο, δυόμιση και τρεις διαστάσεις αυτός που θα παρουσιαστεί είναι ο τελευταίος. Οι άλλοι δύο δεν εξάγουν, παρά μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις, ένα πολύ καλό όριο του ορυχείου. Αυτό γίνεται διότι δεν λαμβάνουν υπόψη όλα τα υπερκείμενα στοιχεία παρά μόνο τα τρία που βρίσκονται στην ίδια γραμμή με το υπό εξέταση στοιχείο. Στον αλγόριθμο για τρεις διαστάσεις μπορεί να θεωρηθεί ότι για να εξαχθεί ένα στοιχείο πρέπει να εξαχθούν πέντε σε σχήμα σταυρού ή εννιά υπερκείμενα στοιχεία (Σχήμα 3.3), σωστότερη είναι η δεύτερη θεώρηση. Οι απλοποιήσεις αυτές είχαν ιδιαίτερη σημασία παλιότερα καθώς δεν υπήρχε επάρκεια επεξεργαστικής ισχύος και ήταν ιδιαίτερα αργή η επεξεργασία των δεδομένων. Σήμερα όμως δεν υπάρχει τόσο έντονο πρόβλημα έτσι ακόμα και ένας μη βέλτιστα προγραμματισμένος αλγόριθμος μπορεί να είναι ταχύς.

Για να λειτουργήσει η μέθοδος χρειάζεται σε κάθε στοιχείο να έχει υπολογιστεί η αξία του. Η αξία αυτή μπορεί να είναι παρούσα αξία (ΠΑ) ή η καθαρά παρούσα αξία (ΚΠΑ), η δεύτερη είναι και η πιο δύσκολη περίπτωση διότι η ΚΠΑ εξαρτάται από το ύψος και τον προγραμματισμό παραγωγής, αν γίνουν ορισμένες παραδοχές για αυτά είναι εφικτό να εισαχθεί η ΚΠΑ χωρίς χρήση πιο περίπλοκων αλγορίθμων όπως του Whittle. Επίσης θα πρέπει να προσδιοριστούν οι διαστάσεις του στοιχείου, οι διαστάσεις αυτές καθορίζονται από τον τρόπο εξόρυξης και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος. Έτσι το μέγιστο ύψος στο οποίο ο εξοπλισμός είναι αποδοτικό να λειτουργεί θα είναι και το ύψος του στοιχείου ενώ ανάλογα με την επιτρεπτή κλίση και την θεμιτή παραγωγή ορίζεται και ο λόγος ύψος:πλάτος του στοιχείου. Για να εισαχθούν μέχρι δύο διαφορετικές κλίσεις πρέπει η βάση του στοιχείου να μην είναι τετράγωνη αλλά ορθογώνια.



Σχήμα 3.3: Αριστερά η διάταξη 1-9 και δεξιά η διάταξη 1-5.

#### Βασικοί ορισμοί

Κάθε στοιχείο το οποίο έχει μία συντεταγμένη ( $X, Y, Z$ ) ή ένα δείκτη ( $i, j, k$ ) αποκτά ένα νέο όνομα  $x_i$ . Το στοιχείο αυτό πλέον ονομάζεται **κόμβος** και συμβολίζεται με ένα κύκλο. Το σύνολο των σημείων συμβολίζεται με  $\Sigma$ . Κάθε κόμβος είναι συνδεδεμένος με την αξία του στοιχείου που εκπροσωπεί η οποία είναι το βάρος του.

Για να προσομοιωθεί μία υπαίθρια εκμετάλλευση κάθε υποκείμενο στοιχείο ενώνεται με τα 9 εγγύτερα υπερκείμενά στοιχεία του. Οι συνδέσεις αυτές ονομάζονται ακμές ή **κλάδοι** και χαρακτηρίζονται με οποιαδήποτε σειρά του ζεύγους των κόμβων που τις απαρτίζει  $k_{ij} = (x_i, x_j)$  ή  $(x_j, x_i)$ . Το σύνολο των  $k_{ij}$  συμβολίζεται με  $K$ .

Με τον προηγούμενο ορισμό δεν είναι ξεκάθαρο ποιο θα εξορυχθεί πρώτα το υποκείμενο ή τα υπερκείμενα. Γι' αυτό δίνεται και μία διεύθυνση σε κάθε κλάδο με την οποία δημιουργείται ένα **τόξο** και

συμβολίζεται με  $\tau_k$ . Τώρα έχει σημασία η σειρά των δεικτών καθώς το  $l$  δείχνει ποιο στοιχείο θα εξορυχθεί πρώτα και το  $k$  το υποκείμενο στοιχείο. Το σύνολο των τόξων συμβολίζεται με  $T$ .

Το **γράφημα** συμβολίζεται με  $\Gamma = (Σ, K)$  και είναι όλοι οι κόμβοι  $Σ$  που ενώνονται με τους κλάδους  $K$ . **Προσανατολισμένο ή κατευθυνόμενο** γράφημα δημιουργείται όταν όλοι οι κόμβοι  $Σ$  συνδέονται με τόξα  $T$ .

Ένα **υπογράφημα** μπορεί να είναι προσανατολισμένο ή όχι και αυτό εξαρτάται από το αν το υποσύνολο του  $Σ$ , έστω  $N$  συνδέεται με τόξα ή κλάδους αντίστοιχα.

**Αλυσίδα** είναι μία ακολουθία κλάδων στην οποία κάθε κόμβος ενώνει δύο κλάδους. Όταν σε μία αλυσίδα ο αρχικός και ο τελευταίος κόμβος είναι ίδιοι δημιουργείται ένας **κύκλος**.

**Μονοπάτι** είναι μία ακολουθία τόξων τέτοια ώστε ο τελευταίος κόμβος κάθε τόξου να είναι ο αρχικός του επόμενου. Όταν στο μονοπάτι ο τελευταίος και ο πρώτος κόμβος είναι ο ίδιος δημιουργείται ένα **κύκλωμα**.

**Συνεκτικό** είναι ένα γράφημα του οποίου όλοι οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους τουλάχιστον μέσω μιας αλυσίδας.

Ένα **δένδρο** είναι ένα συνεκτικό και προσανατολισμένο γράφημα που δεν περιέχει κάποιο κύκλωμα. Κάθε δέντρο περιέχει μόνο μία **ρίζα**. Όταν από ένα δέντρο κόβεται ένα τόξο δημιουργείται ένα **κλαδί** αυτό είναι ένα δέντρο με ρίζα το κόμβο του τόξου που δεν περιέχεται στο αρχικό δέντρο.

Ο αλγόριθμος LG επιλέγει τους κλάδους με θετική αθροιστική αξία. Κάθε τέτοιο σύνολο συνδεδεμένων κλάδων σχηματίζει μία οικονομικά επιτρεπτή (συμφέρουσα) εκσκαφή, το σύνολο των κλάδων που συγκεντρώνουν την μέγιστη αξία αποδίδει και το βέλτιστο όριο του ορυχείου. Κάθε σύνολο που σχηματίζει μια οικονομικά επιτρεπτή εκσκαφή αποτελεί ένα υπογράφημα του συνόλου  $Σ$  και ονομάζεται καταληκτικό (closure). Το υπογράφημα που αναπαριστά την βέλτιστη τελική εκσκαφή (ultimate pit limit) είναι το καταληκτικό με την μέγιστη οικονομική αξία.

Στην ουσία ο αλγόριθμος υπολογίζει την παράγωγο της αξίας, το διάστημα «παραγωγής» δεν είναι σταθερό και πρέπει να περιέχει τουλάχιστον δύο στοιχεία. Μπορεί να είναι ένα οριακό πρυνές ή μία οριακή επέκταση του ορυχείου. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα του αλγόριθμου και δύο παραδείγματα.

## Ο αλγόριθμος LG

Ξεκινώντας από ένα δένδρο  $\Delta^0$  το οποίο μπορεί να είναι ένα οικονομικά εκμεταλλεύσιμο τμήμα του κοιτάσματος, δημιουργείται μία ακολουθία δένδρων  $\Delta^n$  όπου κάθε προηγούμενο δέντρο έχει μικρότερη συνολική κερδοφορία και ΕΑΚ, δηλαδή ο κάθε νέος κλάδος που προστίθεται θα πρέπει να έχει αθροιστική αξία μεγαλύτερη από 0 ή όπως αλλιώς οριστεί. Η επίλυση του αλγόριθμου δύναται να επιτευχθεί με δύο τρόπους, ο πρώτος είναι να δημιουργηθεί ένα αρχικό δένδρο με αυθαίρετη συνδεσμολογία και μόνο μία σύνδεση με την ρίζα. Στο δεύτερο κάθε κόμβος του αρχικού δένδρου είναι συνδεδεμένος με την ρίζα με μία ακμή.

Προτού παρουσιαστούν οι δύο τρόποι θα γίνει μία εισαγωγή σε κάποια στοιχεία που είναι κοινά και στις δύο περιπτώσεις. Κάθε τόξο κωδικοποιείται σαν αρνητικό αν κατευθύνεται προς τη ρίζα αλλιώς είναι θετικό. Επίσης αν η διεύθυνση είναι θετική ή αρνητική και το αθροιστικό βάρος (αθροιστική αξία) των κόμβων του είναι θετικό ή αρνητικό αντίστοιχα τότε χαρακτηρίζεται ως ισχυρό αλλιώς ως αδύναμο (Πίνακας 3.1).

Όσα στοιχεία είναι ισχυρά με θετική διεύθυνση είναι εκμεταλλεύσιμα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μπορεί να επιλεγεί πιο θα είναι το όριο εκμεταλλευσιμότητας, καθώς μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ισχυρό το αθροιστικό βάρος εκτός των θετικών τιμών και των μηδενικών. Επίσης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν εκμεταλλεύσιμο και βάρος με μικρή αρνητική τιμή. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα να βρεθεί το βέλτιστο όριο με χαμηλότερη ΕΑΚ αλλά υψηλότερα συνολικά κέρδη. Στα εμπορικά λογισμικά ακολουθείται η σήμανση του Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Τρόπος σήμανσης των κόμβων του δικτύου με βάση τα χαρακτηριστικά του.

Περίπτωση	Απεικόνιση	Διεύθυνση	Αθροιστικό Βάρος	Σήμανση
ΘΙ	=====	Θετική	Θετικό	Ισχυρό
ΘΑ	-----	Θετική	Αρνητικό	Αδύναμο
ΑΑ	-----	Αρνητική	Θετικό	Αδύναμο
ΑΙ	=====	Αρνητική	Αρνητικό	Ισχυρό

Η ρίζα που προστίθεται στο αρχικό γράφημα συμβολίζεται με  $x_0$ . Όταν αφαιρείται ένα τόξο  $(x_\alpha, x_\tau)$  κατά την διαδικασία του αλγόριθμου τότε αν είναι ισχυρό-αρνητικό αντικαθίσταται από ένα τόξο  $(x_0, x_\alpha)$ , αν είναι ισχυρό-θετικό από ένα τόξο  $(x_0, x_\tau)$ . Όταν κόβεται ένας αδύναμος κόμβος  $(x_0, x_\tau)$  συνδέεται με τον κόμβο με αθροιστικό θετικό βάρος  $(x_{\text{ισχυρού}}, x_\tau)$ .

### Μία μόνο σύνδεση με την ρίζα

**Βήμα 1:** Κατασκευάζεται ένα δέντρο το οποίο έχει μόνο μία σύνδεση με την ρίζα και όλες οι άλλες συνδέσεις γίνονται με τυχαίο τρόπο, όμως πάντα πρέπει να ισχύει το μοτίβο 1-9, έπειτα ονομάζονται τα τόξα.

**Βήμα 2:** Αντικαθίστανται τα ισχυρά τόξα με βάση την προαναφερθείσα συλλογιστική.

**Βήμα 3:** Ονοματίζονται τα τόξα.

**Βήμα 4:** Αν δεν υπάρχει άλλο ισχυρό τόξο το οποίο να είναι **έμμεσα** συνδεδεμένο με την ρίζα το γράφημα είναι κανονικοποιημένο (normalized). Τότε υπολογίζεται το αθροιστικό βάρος του, που είναι το κέρδος από την εκμετάλλευση του ορυχείου και τερματίζεται ο αλγόριθμος. Αν υπάρχει άλλο ισχυρό τόξο έμμεσα συνδεδεμένο με την ρίζα τότε ακολουθείται το βήμα 2 και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

### Αποκλειστικά όλες οι συνδέσεις με την ρίζα

**Βήμα 1:** Κατασκευάζεται ένα δέντρο στο οποίο όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι με την ρίζα με τον περιορισμό 1-9, με αποτέλεσμα να έχουν όλα θετική διεύθυνση.

**Βήμα 2:** Ονοματίζονται τα τόξα.

**Βήμα 3:** Τα τόξα χωρίζονται σε δύο σύνολα, αυτό που περιέχει τα εκμεταλλεύσιμα στοιχεία (θετικά ισχυρά)  $O'$  και το συμπλήρωμά του  $O'' \subseteq \Sigma$  έστω  $N'$ , το οποίο περιέχει τους υπόλοιπους κόμβους.

**Βήμα 4:** Γίνεται αναζήτηση ώστε να συνδεθούν οι κόμβοι των διαφορετικών συνόλων. Αν υπάρχει δυνατή διασύνδεση τότε αυτή γίνεται με την παραπάνω συλλογιστική, αλλιώς υπολογίζεται το αθροιστικό βάρος και τερματίζεται ο αλγόριθμος.

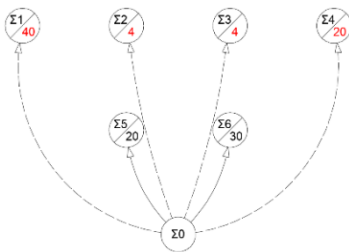
Ο πιο συνηθισμένος είναι ο δεύτερος αλγόριθμος και με αυτόν θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα του αλγόριθμου. Η διαδικασία των τεσσάρων βημάτων γίνεται επαναληπτικά μέχρι να μην είναι δυνατή κάποια διασύνδεση και τερματίζεται η διαδικασία. Το παρακάτω παράδειγμα (Σχήμα 3.4 έως Σχήμα 3.10) χρειάζεται 6 επαναλήψεις μέχρι να φτάσει στο καταληκτικό γράφημα. Μετά το παράδειγμα αυτό θα παρουσιαστεί συνοπτικά ένα δεύτερο παράδειγμα που αποτυγχάνει η μέθοδος κινητού κώνου και λειτουργεί ο αλγόριθμος LG. Το δεύτερο παράδειγμα βρίσκεται αυτούσιο στο βιβλίο (Hustrulid and Kuchta, 2006).

Στο Σχήμα 3.11 απεικονίζεται ένα μεταλλευτικό ομοίωμα με οικονομικές αξίες μίας εκσκαφής δύο βαθμίδων κατά την οποία θα εκσκαφούν οχτώ block υπερκειμένων. Η μέθοδος κινητού κώνου στη συγκεκριμένη περίπτωση θα εξετάσει δύο κώνους ο πρώτος θα περιέχει τα  $\Sigma 1, \Sigma 2, \Sigma 3, \Sigma 5$  και ο δεύτερος τα  $\Sigma 2, \Sigma 3, \Sigma 4, \Sigma 6$ , οι οποίοι έχουν την ίδια αξία (-2) χρηματικές μονάδες. Καθώς αυτή η αξία είναι αρνητική θα απορριφθούν και οι δύο συνεπώς δεν θα υπάρξει οικονομικά αποδεκτή εκσκαφή. Αυτό συμβαίνει διότι θα υπολογιστούν δύο φορές τα block  $\Sigma 2$  και  $\Sigma 3$  μία για κάθε κώνο.

Είναι φανερό ότι ο αλγόριθμος αποτυγχάνει, κατά μία έννοια με την μέθοδο αυτή εισάγεται ένας επιθυμητός συντελεστής ποσοστού κέρδους ο οποίος είναι μεταβλητός και εξαρτάται από τα ειδικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, όμως είναι άγνωστος. Όταν τα κέρδη από μία εκσκαφή είναι πολύ χαμηλά, καθώς οι κώνοι με την μέθοδο αυτή αλληλεπικαλύπτονται, απαιτείται πολύ υψηλό κέρδος για να υπερκεραστεί το κόστος των επιπλέον άγονων υλικών τα οποία στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν. Τότε αυτός ο συντελεστής δεν ικανοποιείται και τελικά δεν είναι οικονομικά αποδεκτή η εκσκαφή. Αντίθετα όταν τα κέρδη είναι πολύ υψηλά βρίσκεται το βέλτιστο όριο του ορυχείου, κάτι το οποίο θα γινόταν στο παράδειγμα αν τα βάρη ήταν -1.

$\Sigma 1$ 4	$\Sigma 2$ 4	$\Sigma 3$ 4	$\Sigma 4$ 4
	$\Sigma 5$ 10	$\Sigma 6$ 10	

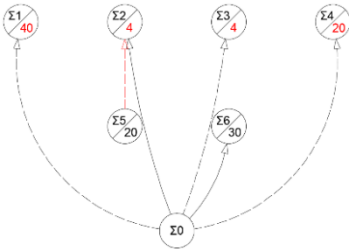
Σχήμα 3.11: Διδιάστατη εκσκαφή ορυχείου κατά την οποία αποτυγχάνει η μέθοδος κινητού κώνου.



Για να δημιουργηθεί το αρχικό δένδρο ενώνονται όλοι οι κόμβοι με την ρίζα. Έτσι οι κόμβοι:

- $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4$  είναι ΘΑ και ανήκουν στο  $N^0$ .
- $\Sigma_0, \Sigma_5, \Sigma_6$  είναι ΘΙ και ανήκουν στο  $O^0$ .

Σχήμα 3.4: Κατασκευή δέντρου  $\Delta^0$ .



Μία διασύνδεση των ομάδων είναι δυνατή μέσω του  $T_{52}$ , έτσι,

- κόβεται το  $T_{05}$ .
- το  $T_{52}$  είναι ΑΑ και το  $T_{02}$  είναι ΘΙ.
- $\Sigma_1, \Sigma_3, \Sigma_4$  ανήκουν στο  $N^1$ .
- $\Sigma_0, \Sigma_6, \Sigma_2, \Sigma_5$  ανήκουν στο  $O^1$ .

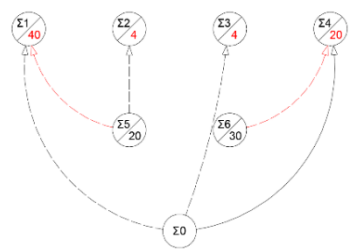
Σχήμα 3.5: Κατασκευή δέντρου  $\Delta^1$ .



Μία διασύνδεση των ομάδων είναι δυνατή μέσω του  $T_{51}$ , έτσι,

- κόβεται το  $T_{02}$  και δημιουργείται το  $T_{01}$ .
- το  $T_{51}$  είναι ΑΑ, το  $T_{52}$  είναι ΘΑ και το  $T_{01}$  είναι ΘΑ.
- $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4, \Sigma_5$  ανήκουν στο  $N^2$ .
- $\Sigma_0, \Sigma_6$  ανήκουν στο  $O^2$ .

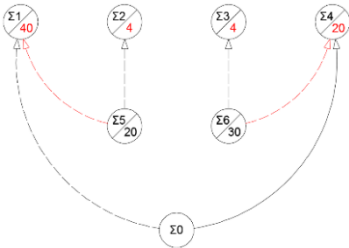
Σχήμα 3.6: Κατασκευή δέντρου  $\Delta^2$ .



Μία διασύνδεση των ομάδων είναι δυνατή μέσω του  $T_{64}$ , έτσι,

- Κόβεται το  $T_{06}$  και δημιουργείται το  $T_{04}$ .
- Το  $T_{64}$  είναι ΑΑ και το  $T_{04}$  είναι ΘΙ.
- $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_5$  ανήκουν στο  $N^3$ .
- $\Sigma_0, \Sigma_4, \Sigma_6$  ανήκουν στο  $O^3$ .

Σχήμα 3.7: Κατασκευή δέντρου  $\Delta^3$ .



Μία διασύνδεση των ομάδων είναι δυνατή μέσω του  $T_{63}$ , έτσι,

- κόβεται το  $T_{03}$  και δημιουργείται το  $T_{63}$ .
- το  $T_{63}$  είναι ΘΑ.
- $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_5$  ανήκουν στο  $N^4$ .
- $\Sigma_0, \Sigma_3, \Sigma_4, \Sigma_6$  ανήκουν στο  $O^4$ .

Σχήμα 3.8: Κατασκευή δέντρου  $\Delta^4$ .



Μία διασύνδεση των ομάδων είναι δυνατή μέσω του  $T_{62}$ , έτσι,

- κόβεται το  $T_{04}$ .
- το  $T_{64}$  είναι ΘΑ, το  $T_{63}$  είναι ΘΑ, το  $T_{62}$  είναι ΑΑ, το  $T_{52}$  είναι ΘΙ.
- $\Sigma_1, \Sigma_0$  ανήκουν στο  $N^5$ .
- $\Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4, \Sigma_5, \Sigma_6$  ανήκουν στο  $O^5$ .

Σχήμα 3.9: Κατασκευή δέντρου  $\Delta^5$ .

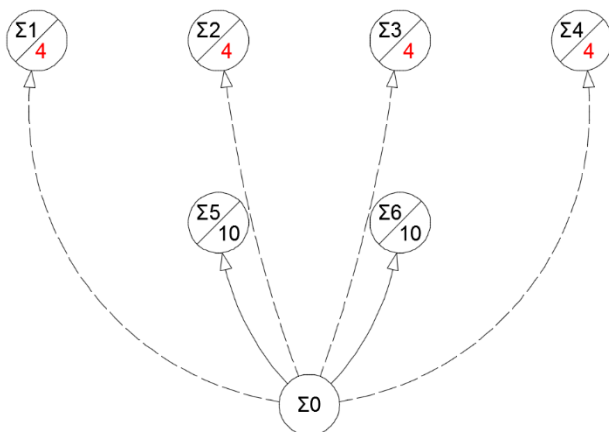


Δεν υπάρχουν άλλες διασυνδέσεις αλλά το  $T_{52}$  είναι ΘΙ χωρίς να είναι συνδεδεμένο με τη ρίζα, έτσι,

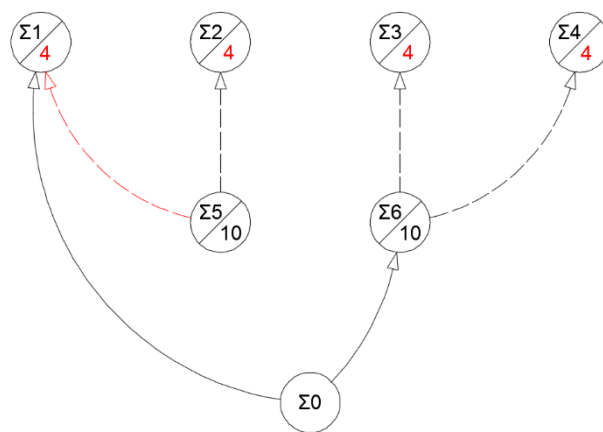
- κόβεται το  $T_{52}$  και δημιουργείται το  $T_{02}$ .
- το  $T_{02}$  είναι ΘΙ.
- $\Sigma_1, \Sigma_5$  ανήκουν στο  $N^6$ .
- $\Sigma_0, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4, \Sigma_6$  ανήκουν στο  $O^6$ .
- Ο αλγόριθμος τερματίζει και το ορυχείο είναι οι κόμβοι του  $O^6$ .

Σχήμα 3.10: Κατασκευή δέντρου  $\Delta^6$ .

Αυτό δεν συμβαίνει όταν εφαρμόζεται ο αλγόριθμος LG. Στο Σχήμα 3.12 φαίνεται το ισοδύναμο γράφημα του προηγούμενου σχήματος και στο Σχήμα 3.13 το τελικό αποτέλεσμα του αλγορίθμου LG. Σε αυτή την περίπτωση θεωρείται ότι θα εξορυχθούν μόνο τέσσερα και όχι οχτώ υπερκείμενα για να γίνει η εκσκαφή και συνεπώς το γράφημα είναι καταληκτικό άρα τα block στα οποία αντιστοιχεί αποτελούν μία οικονομικά αποδεκτή εκσκαφή.



Σχήμα 3.12: Ισοδύναμο γράφημα εκσκαφής του προηγούμενου σχήματος.



Σχήμα 3.13: Εφαρμογή του αλγορίθμου LG.

### 3.4 : Νέα μεθοδολογία

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι παραπάνω προκλήσεις αναπτύχθηκε μία νέα μεθοδολογία που καθορίζει τον τρόπο διακριτοποίησης, παρεμβολής και σε μικρότερο βαθμό αξιολόγησης μέσα από διάφορα λογισμικά. Μελλοντικά αυτή μπορεί να δομήσει ένα ολοκληρωμένο λογισμικό. Ο πυρήνας της νέας μεθόδου είναι η χρήση της ιδιότητας της αξίας – κέρδους (PROFIT) καθώς και η διαμέριση του χώρου που περικλείει το κοίτασμα σε πολύ μικρά (διαφορικά) στοιχεία.

Η αναγκαιότητα της πρώιμης χρήσης της αξίας στο λογισμικό Carlson ανέκυψε κατά την πορεία της εργασίας διότι δεν ήταν δυνατόν να αποτιμηθεί ένα στοιχείο με πολλά και δυναμικά κριτήρια συνεπώς αυτά έπρεπε να παρακαμφθούν, επιπροσθέτως το επέβαλε ο αλγόριθμος LG καθώς η κατασκευή ενός ομοιώματος αξιών με βάση την μεθοδολογία που προτείνει η εταιρία που το παρείχε ήταν εξαιρετικά αργή έως αδύνατη. Η υιοθέτηση μίας πολύ μικρής διαμέρισης κρίθηκε επιτακτική λόγω των φαινομένων της εικονικής αραίωσης. Συνεπώς τα δύο αυτά χαρακτηριστικά αλλά και ο μηχανισμός εισαγωγής τους στο λογισμικό Carlson συνθέτουν την καινοτομία αυτής της εργασίας.

Το λογισμικό Carlson όπως και τα άλλα μεταλλευτικά λογισμικά δεν μπορούν να διαχειριστούν τις απαιτήσεις της νέας μεθοδολογίας γι' αυτό τροποποιήθηκε η προτεινομένη μεθοδολογία του λογισμικού ώστε να είναι συμβατό με αυτές. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά τα βήματα της νέας μεθοδολογίας.

- Αρχικά δημιουργείται μια εκτατική ιδιότητα, η αξία - κέρδος (PROFIT) από την ειδική αξία και τον όγκο του υπό δημιουργία στοιχείου.
- Έπειτα με βάση αυτή την ιδιότητα κατασκευάζεται το πρώτο ομοίωμα με τόσο λεπτή διαμέριση όσο απαιτεί η ακρίβεια του υπολογισμού σε κάθε διάσταση. Δηλαδή τέτοια ώστε κάθε στοιχείο να μπορεί να θεωρηθεί ομοιογενές. Στα πολυστρωματικά κοιτάσματα η διαδικασία γίνεται μόνο στη τρίτη διάσταση (Z) αφού στο οριζόντιο επίπεδο (X, Y) θεωρείται ότι δεν υπάρχουν τόσο έντονες μεταβολές που να είναι εκ των προτέρων γνωστές. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται το πρώτο διαφορικό ομοίωμα.
- Τα διαφορικά στοιχεία που δημιουργήθηκαν τώρα προσθέτονται και δημιουργούν ένα νέο μεγαλύτερο το οποίο έχει τις διαστάσεις που υπόκεινται στους περιορισμούς των κλίσεων των πρανών. Υλοποιείται έτσι ένα δεύτερο ομοίωμα με μεγαλύτερα στοιχεία.
- Εν συνεχεία στο νέο αυτό ομοίωμα, χωρίς επεξεργασία, εφαρμόζεται μία μέθοδος αξιολόγησης με την οποία υπολογίζονται τα όρια και έμμεσα τα αποθέματα του κοιτάσματος τόσο σε ποσότητα όσο και σε ποιότητα.

Η ιδιότητα της αξίας σε συνδυασμό με την λεπτή διαμέριση περιορίζουν δραστικά τα σφάλματα και κάνουν εφικτή την κατασκευή ενός αξιόπιστου χωρικού ομοιώματος. Χωρίς την μέθοδο αυτή θα ήταν εξαιρετικά χρονοβόρο ή/και δαπανηρό ακόμα και για ένα πολύ ακριβό σταθμό εργασίας να κατασκευάσει το ομοίωμα με την ίδια ακρίβεια στη τρίτη διάσταση. Πρέπει να σημειωθεί ότι η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόζεται σε κάθε τύπο κοιτάσματος που μεταβάλλονται τόσο έντονα οι ιδιότητες του και προφανώς σε αυτά που δεν μεταβάλλονται.

Πάραυτα η μέθοδος παρεμβολής είναι κατάλληλη κυρίως για πολυστρωματικά κοιτάσματα καθώς έχει χρησιμοποιηθεί με εφάμιλλα των άλλων μεθόδων αποτελέσματα (Pavlidis et al., 2008; Παυλίδης, 2008). Σε τρεις διαστάσεις δεν ήταν δυνατόν να ακολουθηθεί η προγενέστερη διαδικασία (Mastoris, 1994) διότι δεν λαμβάνονται υπόψη όλες οι παράμετροι όπως αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 2. Ωστόσο μόλις δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο χωρικό ομοίωμα με γεωστατιστικές μεθόδους είναι εύκολο να εισαχθεί.

Εξ' αιτίας της πολυπλοκότητας της μεθοδολογίας και του πλήθους των παραμέτρων η αυτοματοποίηση θα απαιτούσε εξ' αρχής προγραμματισμό ενός ολοκληρωμένου λογισμικού. Αυτό λόγω του χρονικού περιορισμού δεν πραγματοποιήθηκε με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθούν ένα πλήθος διαφορετικών λογισμικών χωρίς δυνατότητα αυτόματης διασύνδεσης μεταξύ τους. Η διαδικασία είναι χρονοβόρα καθώς η επαναληψιμότητα της μεθόδου είναι αργή, χωρίς όμως να επηρεάζονται τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του τελικού αποτελέσματος. Σε ένα πολυστρωματικό κοιτάσμα λόγω της περιορισμένης ευελιξίας τα εξεταζόμενα σενάρια όσον αφορά τον προγραμματισμό παραγωγής είναι λίγα άρα και η παραπάνω διαδικασία σχετικά γρήγορη. Αυτό δεν συμβαίνει σε άλλου τύπου κοιτάσματα όπου η εξόρυξη με την μέθοδο ασυνεχούς λειτουργίας και η αποκομιδή των υλικών επιτρέπει ευέλικτες κινήσεις οι οποίες είναι δύσκολο να προσομοιωθούν με την παρούσα μεθοδολογία. Άρα θα είναι χρονοβόρος ο υπολογισμός της ΚΠΑ σε εκείνα τα κοιτάσματα.

### 3.4.1 : Καθορισμός της ιδιότητας

Ο ορθός τρόπος για να εισαχθούν όλες οι ιδιότητες μαζί είναι μέσα από την αποτίμησή τους όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2 και όχι με την εφαρμογή ξεχωριστών κριτηρίων. Συνεπώς προτού δημιουργηθεί οποιοδήποτε ομοίωμα τα γεωτρητικά δεδομένα μετατρέπονται σε οικονομικές αξίες. Η αξία είναι μία σύνθεση εντατικών ιδιοτήτων (ειδικών αξιών) όλων των στρωμάτων και όλων των ιδιοτήτων πολλαπλασιασμένες με την έκταση (όγκος στοιχείου,  $m^3_\pi$ ) στον οποίο εκτιμάται ότι εμπεριέχονται. Με ένα κριτήριο οικονομικής αξίας όσα στοιχεία έχουν θετική αξία θα είναι εκμεταλλεύσιμα ανεξάρτητα από την τιμή των διάφορων παραμέτρων. Το κριτήριο αυτό δεν δημιουργεί σύγχυση σε σύγκριση με την πληθώρα κριτηρίων που απαιτούνται σε άλλες μεθοδολογίες.

Βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας είναι ότι δεν υπολογίζεται άμεσα η οριακή περιεκτικότητα αλλά είναι συνάρτηση της παραγωγικότητας της εργασίας και άλλων μεταλλευτικών παραμέτρων. Συνεπώς η οριακή περιεκτικότητα δεν είναι σταθερή για κάθε στρώμα και δεν έχει μία τιμή αλλά υπολογίζεται αυτόματα μέσω αναλυτικών σχέσεων κατά την εφαρμογή μίας ευρετικής μεθόδου. Δηλαδή ενώ σε ένα τομέα η οριακή ΣΕ μπορεί να είναι 1:5 σε άλλον μπορεί να είναι 1:6 παρά αυτή την διαφορά πιθανόν να έχουν την ίδια κερδοφορία. Ακόμα στρώμα ίδιου πάχους μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο ανάλογα με το βάθος εκσκαφής. Επίσης εισάγεται και ο προγραμματισμός της παραγωγής αφού ο χρόνος εξόρυξης ενός block είναι και αυτός μία ιδιότητα που εξετάζεται. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ΚΠΑ υπολογίστηκε μόνο για ένα σχέδιο εκμετάλλευσης δηλαδή για έναν προγραμματισμό παραγωγής. Θα μπορούσε να υπολογιστεί και για περισσότερους εφόσον εισάγονταν και άλλα σχέδια παραγωγής. Μία αναλυτική εξέταση των διάφορων σχεδίων παραγωγής έχει γίνει για τα κοιτάσματα στην Ελασσόνα (Ακύλας, 2003). Αυτά θα μπορούσαν να εισαχθούν στην νέα μεθοδολογία. Με τα παραπάνω έχει πλέον καθοριστεί η ιδιότητα που θα αξιολογηθεί όμως αυτή αντιστοιχεί μόνο σε ένα σημείο (δείγμα) στη γεώτρηση και όχι σε ένα στερεό (σηματισμό) στο χώρο.

### 3.4.2 : Δημιουργία ομοιώματος στρώματος και στρώσεων

Αφού έχει προσδιοριστεί ποια ιδιότητα θα χρησιμοποιηθεί είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα στερεό ομοίωμα κάθε στρώσης, αυτό επιτάσσει την χρήση μιας μεθόδου παρεμβολής διότι από τις γεωτρήσεις υπάρχουν μόνο σημεία σε συγκεκριμένες θέσεις και όχι σε όλο τον χώρο. Επειδή με τις άλλες μεθόδους

δεν δημιουργούνται ομοιογενή στοιχεία επιλέχθηκε η μέθοδος της βαθμωτής παρεμβολής. Με την παρεμβολή αυτή κάθε διαφορετικό σημείο στη γεώτρηση θα αποδώσει τιμή σε ένα στοιχείο. Η έκταση του στοιχείου καθορίζεται από τις μεσοκαθέτους δημιουργώντας ένα πολύγωνο. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται πολύγωνα Voronoi, επειδή αναφέρονται στις τρεις διαστάσεις είναι πρίσματα.

Ουσιαστικά δημιουργείται ένα ψεύδο-γεωλογικό μοναδιαίο χωρικό μοντέλο το οποίο χρησιμεύει στον υπολογισμό των εκτατικών μεταβλητών ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) ενός στρώματος. Σε ολόκληρο το πρίσμα ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) αποδίδονται τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά (εντατικές μεταβλητές) με την λογική της βαθμωτής παρεμβολής δηλαδή η τιμή (χωρίς κάποια τροποποίηση) της ιδιότητας της γεώτρησης. Δεν υπάρχει καμία συσχέτιση μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων της ίδιας ή άλλης γεώτρησης, δίνοντας έτσι την δυνατότητα διαχωρισμού των σχηματισμών. Δηλαδή δεν έχει δημιουργηθεί έπειτα από γεωλογική χαρτογράφηση και ανάλυση αλλά μόνο από τα γεωτρητικά δεδομένα. Με τον προσδιορισμό αυτών των «αυθαίρετων» ορίων είναι δυνατό να αποδοθεί στο χώρο η οικονομική αξία.

Με βάση αυτό το ψευδο-γεωλογικό μοντέλο αποδίδονται τιμές στους κόμβους του χωροπλέγματος, δηλαδή στα στοιχεία. Οι διαστάσεις των στοιχείων καθορίζονται από την κλίση των πρανών του ορυχείου στο  $X$  και στο  $Y$  άξονα. Το μέγεθος της διακριτοποίησης στο  $Z$  άξονα καθορίζεται, σύμφωνα με την ανάλυση στα προηγούμενα εδάφια, προκειμένου να εξαλειφθεί η εικονική αραίωση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτό σημαίνει ότι τα στοιχεία θα πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον  $0.01\text{m}$  ώστε να προσομοιώσουν στρώσεις των  $0.01\text{m}$ . Ακόμα και αυτή η εξαιρετικά λεπτή διαμέριση δεν είναι επαρκής καθώς με τον υπολογισμό της ρύπανσης και της αραίωσης δημιουργούνται αριθμοί αρκετών σημαντικών ψηφίων. Επειδή τα στρώματα είναι πολλά, μερικές φορές εκατοντάδες, θα πρέπει να δημιουργηθούν στοιχεία ύψους  $0.001$  ή  $0.0001\text{m}$  για να μην εισαχθούν μεγάλα σφάλματα. Κάτι τέτοιο κρίθηκε αδύνατο ακόμα και για την διακριτοποίηση των  $0.01\text{m}$  γι' αυτό δημιουργήθηκε διακριτοποίηση  $0.1\text{m}$ .

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το πάχος των στρωμάτων λιγνίτη και αγόνων δεν αθροίζεται εκ των προτέρων ώστε τελικά να εμφανιστεί μία τελική στοιβάδα όπως στις άλλες εργασίες, αλλά το κάθε ένα στρώμα παραμένει στη θέση του και δομείται από δεκάδες ή εκατοντάδες διαφορετικά πρίσματα εκφρασμένα σε οικονομική αξία. Δεν είναι κάποια ιδιαίτερα περίπλοκη μέθοδος παρεμβολής με αυστηρά μαθηματική διατύπωση αλλά με την εισαγωγή της γίνεται προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος που εμφανίζεται στα ελληνικά λιγνιτικά πολυστρωματικά κοιτάσματα.

### 3.4.3 : Σύμπτυξη διαφορικών στοιχείων

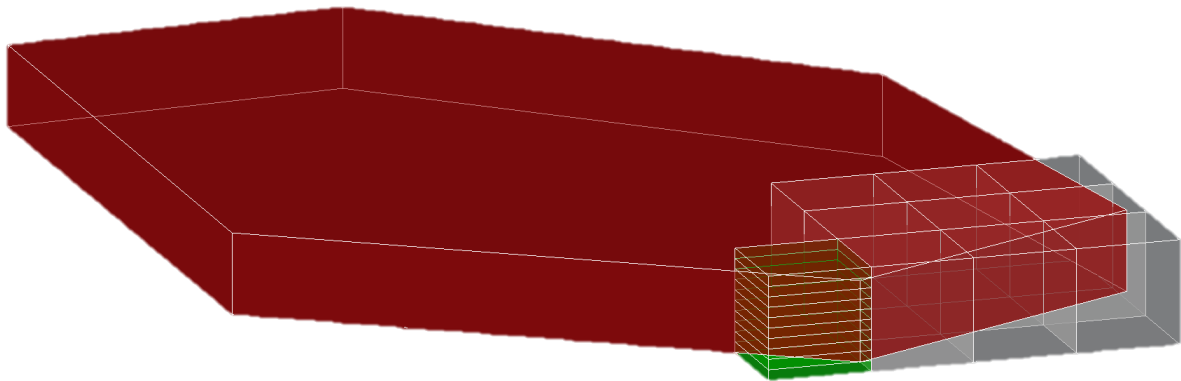
Με το προηγούμενο βήμα έχει δημιουργηθεί ένα πολύ λεπτομερές ομοίωμα το οποίο αποτελείται από εκατομμύρια διαφορικά στοιχεία. Δεν είναι άμεσα εμφανές ότι ο αριθμός αυτός είναι απαγορευτικός για να γίνει η αξιολόγηση ωστόσο η διάσταση του στοιχείου (έστω  $100 \times 100 \times 0.01$ ) δεν ανταποκρίνεται στη κλίση του κοιτάσματος, αν τροποποιηθεί θα πρέπει ο αριθμός των στοιχείων να ανέλθει σε μία τάξη μεγέθους  $10^{16}$ - $10^{17}$ , εξαιρετικά μεγάλος και προδήλως ακατάλληλος για οποιαδήποτε διαδικασία βελτιστοποίησης.

Πλέον αφού έχουν διακριθεί τα όρια μεταξύ των στρωμάτων το επόμενο βήμα είναι να αθροιστεί (ολοκληρωθεί) το σύνολο των στοιχείων αυτών σε ένα επιθυμητό πλήθος ομάδων ώστε να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων. Οι ομάδες αυτές θα είναι τα block εκμετάλλευσης στη συγκεκριμένη περίπτωση, χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο, κάλλιστα θα μπορούσαν να έχουν οποιεσδήποτε διαστάσεις εφόσον ικανοποιούν την επιτρεπτή κλίση πρανών, με αυτή την συλλογιστική δημιουργούνται τα σύνθετα δείγματα (composites). Στο Σχήμα 3.14 παρουσιάζεται η σχέση των στοιχείων του τελικού ομοιώματος με τα διαφορικά στοιχεία και τα πρίσματα.

Η άθροιση των διαφορικών πρισμάτων αξιών υλοποιείται μέσω των μακροεντολών του λογισμικού Carlson και με την συνέργεια κώδικα που αναπτύχθηκε γι' αυτό τον σκοπό η διαδικασία και οι κώδικες περιγράφονται στο Παράρτημα Α και στο Παράρτημα Β. Το λογισμικό Carlson λειτουργεί με βάση την «φιλοσοφία» του πολλαπλού δισδιάστατου μοντέλου και με πυρήνα αυτό αναπτύχθηκε η νέα μέθοδος. Ωστόσο το τελικό ομοίωμα μπορεί να εισαχθεί σε οποιοδήποτε εμπορικό λογισμικό ώστε με κάποια μέθοδο αξιολόγησης να εκτιμηθούν τα όρια του ορυχείου.

### 3.4.4 : Αξιολόγηση – Τελική βελτιστοποίηση

Με την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου ψηφιακού ομοιώματος αξιών είναι δυνατόν να γίνει η αξιολόγηση. Για την αξιολόγηση μπορούν να εφαρμοστούν διάφοροι μέθοδοι ωστόσο υπάρχει αναγκαιότητα τροποποίησης τους για να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες των υπό εξέταση κοιτασμάτων. Τέτοιες μέθοδοι είναι του κινητού κώνου, Κοροβον και οι αλγόριθμοι LG δυόμιση και τριών διαστάσεων. Επίσης είναι δυνατή η δημιουργία ισοδιάστατων (ίσης αξίας) χαρτών και τομών ώστε να εφαρμοστεί η χρησιμοποιούμενη ημιεμπειρική μέθοδος.



Σχήμα 3.14: Πολύεδρο Voronoι (κόκκινο), διαφορεικά στοιχεία (πράσινο) και στοιχεία τελικού ομοιώματος (γκρι).

## Κεφάλαιο 4 : Εφαρμογή μεθόδων σε πολυστρωματικά κοιτάσματα

Στο παρόν κεφάλαιο θα εφαρμοστούν ορισμένες από τις παραπάνω μεθοδολογίες σε συνθετικά και πραγματικά δεδομένα. Για να επιτευχθεί αυτό θα χρησιμοποιηθούν αρκετά διαφορετικά λογισμικά ενώ θα δημιουργηθούν και νέα. Προκειμένου να επαληθευτεί η νέα μεθοδολογία, θα υπολογιστούν τα αποθέματα σε ένα υποθετικό κοιτάσμα με τρεις τρόπους. Χειρογραφικά, με ένα σχεδιαστικό λογισμικό και με την νέα μεθοδολογία. Στους τρεις τρόπους γίνονται απλοποιήσεις όσον αφορά τα αρχικά δεδομένα για την ευκολία των υπολογισμών και της σύγκρισης. Αφού επαληθευτεί η μεθοδολογία τα δεδομένα αυτά θα εμπλουτισθούν και εκ νέου θα υλοποιηθεί το ομοίωμα του υποθετικού κοιτάσματος. Τέλος με την νέα μέθοδο θα γίνει ο υπολογισμός των αποθεμάτων στο πραγματικό κοιτάσμα.

### 4.1 : Λογισμικό και περιορισμοί του Η/Υ

Η χρήση ενός λογισμικού για την εκτίμηση των αποθεμάτων πολυστρωματικών κοιτασμάτων στην Ελλάδα ήταν και παραμένει επιτακτική λόγω του πλήθους των δεδομένων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση πάρθηκαν δεδομένα από 570 γεωτρήσεις (Σχήμα 4.5) και περιείχαν 55000 στρώσεις ενώ μετά την αξιολόγηση απέμειναν 20000. Προδήλως η επεξεργασία τους δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί χωρίς την βοήθεια κάποιου λογισμικού. Ακόμα όμως και τότε παρουσιάζονται πολλά προβλήματα, εδώ και περίπου 40 χρόνια δεν έχει δημιουργηθεί ένας αξιόπιστος τρόπος με τον οποίο να δημιουργείται ένα χωροχρονικό (4D), ομοίωμα και να αξιολογείται πλήρως ένα πολυστρωματικό κοιτάσμα.

Οι πρώτες προσπάθειες έγιναν σε μία συνεργασία της ΔΕΗ με το μεταλλευτικό ινστιτούτο Βελιγρადίου. Αργότερα αναπτύχθηκε το μεταλλευτικό λογισμικό METAL (Καραμαλίκης, 1992), με το οποίο ακόμα και σήμερα υλοποιείται, επικουρικά, ο μεταλλευτικός σχεδιασμός της ΔΕΗ. Καθώς το METAL δεν προσφέρει τις δυνατότητες των σχεδιαστικών λογισμικών, χρησιμοποιείται παράλληλα με αυτά. Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες να αναπτυχθεί μία μεθοδολογία είτε μέσω εμπορικών είτε μη εμπορικών αλγόριθμων αλλά λόγω των ιδιοτήτων αυτό δεν έχει επιτευχθεί πλήρως.

Έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά εμπορικά λογισμικά όπως το whittle (Mastoris et. al, 1992), Datamine (Leontidis et al., 2001), Surpac (Κακοτρίχη, 2011; Παυλουδάκης, 2001), Maptek (Karageridis and Kolonos, 2009) καθώς και το λογισμικό Carlson (Οικονόμου, 2012; Σαμιώτης, 2012). Το τελευταίο χρησιμοποιείται σε αυτή την εργασία καθώς είναι εξαιρετικά ευέλικτο και σχεδιασμένο για στρωσιγενή κοιτάσματα γαιάνθρακα. Ωστόσο όλα αυτά δεν ανταποκρίνονται στις ανάγκες των ελληνικών πολυστρωματικών κοιτασμάτων για τους λόγους που παρουσιάστηκαν. Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν διάφορα εμπορικά και μη, λογισμικά ενώ προγραμματίστηκαν και άλλα σε Visual Basic του Excel και σε C. Με την χρήση όλων αυτών έγινε εφικτό να υλοποιηθεί η νέα μεθοδολογία.

Ξεκινώντας από τα δεδομένα, αυτά εισάγονται σε ένα υπολογιστικό φύλλο. Με βάση τις τιμές των ιδιοτήτων που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2 υπολογίζεται η αξία κάθε δείγματος και με την μέθοδο που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3 υλοποιείται το πρώτο ψηφιακό ομοίωμα. Στη συνέχεια αυτό πρέπει να μειωθεί σε μέγεθος το οποίο επιτυγχάνεται μέσα από τις μακροεντολές του Carlson. Επειδή το λογισμικό αυτό έχει δημιουργηθεί για να διαχειρίζεται κοιτάσματα με λίγα στρώματα δεν περιέχει επαναληπτικές εντολές, για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε ένα μικρό λογισμικό σε γλώσσα C ώστε να παράγεται ο κώδικας (Παράρτημα Α) σε μορφή αναγνωρίσιμη από τις μακροεντολές του Carlson. Αφού δημιουργηθεί το νέο μικρότερο ομοίωμα αυτό εισάγεται σε κάποιο αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Στην παρούσα περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος LG τριών διαστάσεων του λογισμικού Carlson, οι αλγόριθμοι LG δυο και δυόμιση διαστάσεων, η μέθοδος κινητού κώνου και Κοροβον του μη εμπορικού λογισμικού UPL αλλά και ορισμένες ατελέςφορες δοκιμές με την μέθοδο κινητού κώνου με το μη εμπορικό λογισμικό CSM. Όλα τα παραπάνω έγιναν σε περιβάλλον Windows 7. Τέλος η τοπογραφική επιφάνεια δημιουργήθηκε μέσω της βιβλιοθήκης εντολών GDAL και του λογισμικού QGIS σε περιβάλλον Linux. Αναλυτικότερη περιγραφή των λογισμικών και των διαδικασιών γίνεται στο Παράρτημα Β. Στο Παράρτημα Α υπάρχουν ορισμένοι κώδικες που αναπτύχθηκαν για την εργασία αυτή.

Δεν πρέπει να δοθεί μικρότερη σημασία στην αλληλεπίδραση λογισμικού - hardware (υλισμικού ή υλικού) του Η/Υ. Ο Η/Υ που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Fujitsu-Siemens R570-2 με δύο επεξεργαστές Intel Xeon E5420. Μία κάρτα γραφικών Nvidia Quadro FX 3700, 24 GB μνήμη RAM DDR3 και ένα σκληρό δίσκο, τύπου SSD, 120 GB.

Διαπιστώθηκε ότι ο σκληρός δίσκος ήταν οριακά επαρκής σε χώρο και σε ταχύτητα εγγραφής καθώς ήταν απαραίτητο να διαβαστούν και να γραφούν πολλά και μικρά αρχεία υπήρχε μεγάλη καθυστέρηση

λόγω του περιορισμού στην σύνδεση SATA. Η μνήμη RAM κρίθηκε ανεπαρκής διότι δεν ήταν δυνατό να δημιουργηθεί ομοίωμα με στοιχείο διαστάσεων  $30 \times 40 \times 0.01 \text{ m}^3$  το οποίο θα χρειαζόταν 45GB μνήμη RAM. Η κάρτα γραφικών παρουσίασε, αλλά όχι με την απαιτούμενη ταχύτητα, το τελικό ομοίωμα. Τέλος οι δύο επεξεργαστές κρίθηκαν περιττοί καθώς το λογισμικό χρησιμοποιούσε μόνο τον ένα πυρήνα από τον ένα επεξεργαστή και όχι όλη την επεξεργαστική ισχύ. Βασική πηγή δυσκολιών ήταν το λογισμικό Carlson διότι δεν είναι ανοικτού κώδικα και δεν αξιοποιεί όλους τους πόρους του συστήματος. Περαιτέρω αναβάθμιση του συστήματος θα ήταν επαρκής μόνο με μεγάλο κόστος. Για την ταχύτερη διεκπεραίωση είναι επιτακτική η δημιουργία νέου ολοκληρωμένου λογισμικού που θα χρησιμοποιεί πλήρως τους πόρους ενός Η/Υ.

## 4.2 : Επαλήθευση της νέας μεθόδου στο υποθετικό κοίτασμα

Το υποθετικό κοίτασμα περιέχει δύο στρώματα λιγνίτη που είναι εξολοκλήρου εκμεταλλεύσιμα και σταθερής ποιότητας, το ανώτερο έχει πάχος 25m και το κατώτερο 35m. Ενδιάμεσα τους παρεμβάλλεται ένα στρώμα άγονων 75 m με κλίση  $4^\circ$  από δύση προς ανατολή όπως και τα λιγνιτικά. Το πρώτο στρώμα ξεκινάει από την επιφάνεια. Επίσης στα 600m από τα δυτικά αναπτύσσεται ένα ρήγμα  $30^\circ$  ίδιας διεύθυνσης με αυτήν της λιγνιτοφόρου στοιβάδας και με ύψος άλματος 52 m κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Το μήκος του κοιτάσματος είναι 1500 m και το πλάτος 700m στον άξονα Βορρά-Νότου (Υ), η γεωλογία της περιοχής περιγράφεται σε αυτό το ορθογώνιο. Η τελική κλίση των πρανών του ορυχείου θεωρήθηκε 3:1. Η κλίση αυτή επιλέχθηκε τόσο μεγάλη ώστε να είναι ολόκληρο το κοίτασμα εκμεταλλεύσιμο και να επαληθευτεί η μεθοδολογία. Για τα άγονα η μέση απόσταση απόθεσης είναι  $A_a=2.5 \text{ km}$  ενώ η αυλή λιγνίτη του ΑΗΣ βρίσκεται κατά μέσο όρο  $A_\lambda=3.5\text{km}$  από το κέντρο βάρους των λιγνιτικών στρωμάτων. Τέλος η πυκνότητα του λιγνίτη και των άγονων υλικών θεωρήθηκε  $\rho_\lambda=1.2 \text{ t/m}^3$  και  $\rho_a=1.8 \text{ t/m}^3$  αντίστοιχα.

Λόγω της συμμετρίας αλλά και της ομοιογένειας των στρωμάτων του υποθετικού κοιτάσματος αυτά προσομοιώνονται επαρκώς από μία σειρά γεωτρήσεων από ανατολή προς δύση. Εννιά γεωτρήσεις (Πίνακας 4.1) τοποθετούνται ανά 150m.

Όσον αφορά τα οικονομικά στοιχεία το κόστος εξόρυξης είναι  $\rho_\lambda=0.4 \text{ €/tkm}$  και  $\rho_a=0.5 \text{ €/tkm}$  (Galetakis and Roumpis, 2011) για το λιγνίτη και τα άγονα αντίστοιχα. Η ειδική κατανάλωση του καυσίμου θεωρήθηκε  $C_s=2 \text{ t/MWh}$  και το κόστος που αφορά την λειτουργία του ΑΗΣ  $K_{\text{ΑΗΣ}}=30 \text{ €/MWh}$ . Τέλος η τιμή πώλησης ΗΕ θεωρήθηκε  $\text{OTS}=55 \text{ €/MWh}$ . Από τους τύπους (2.22), (2.23) υπολογίζεται το μερίδιο του κέρδους-κόστους των ορυχείων ανά MWh σε  $K_{\text{op}}=15 \text{ €/m}^3$ . Το κόστος εξόρυξης και αποκομιδής των υλικών υπολογίζεται από τους τύπους (2.18) και (2.19) σε  $1.68 \text{ €/m}^3$  και  $2.25 \text{ €/m}^3$  για τον λιγνίτη και τα άγονα αντίστοιχα.

Πίνακας 4.1: Πάχη (m) διατρηθέντων σχηματισμών του συνθετικού κοιτάσματος και γραμμική ΣΕ.

Σχηματισμός	Γεωτρήσεις								
	Γ1	Γ2	Γ3	Γ4	Γ5	Γ6	Γ7	Γ8	Γ9
Υ	10.5	21.0	31.5	42.0	102.5	113.0	123.5	134.0	144.5
Ε	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
Λ1	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Λ2	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Σχέση εκμετάλλευσης [m/m]	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	3.1	3.3	3.5	3.7

### 4.2.1 : Ημ εμπειρικός τρόπος υπολογισμού

Ο συμβατικός (εμπειρικός) τρόπος υπολογισμού έγινε με τον χειρογραφικό σχεδιασμό του ορυχείου ενώ υπολογίστηκε από τον όγκο του κοιτάσματος η αξία του. Η ογκομέτρηση έγινε με δύο τρόπους με βάση το πάχος των σχηματισμών στις γεωτρήσεις αλλά και το πάχος στο γεωλογικό μοντέλο. Η οριακή σχέση εκμετάλλευσης (ΟΣΕ) υπολογίζεται σε:

$$ΟΣΕ = \frac{\kappa_\varepsilon - p_\lambda}{p_a} = \frac{13.32 \frac{m}{m}}{2.25 \frac{m}{m}} = 5.92 \frac{m}{m} \quad (4.1)$$

Η μέγιστη γραμμική ΣΕ που εμφανίζεται στο κοίτασμα είναι στη γεώτρηση Γ9 (3.70 m/m), άρα όλο το κοίτασμα είναι εκμεταλλεύσιμο και το ορθογώνιο (1500m x 700m) θα αποτελεί την περίμετρο του πυθμένα του ορυχείου. Η διαφορά της μεθόδου της ΔΕΗ σε σχέση με αυτή ενός λογισμικού προγράμματος είναι ότι στη δεύτερη μέθοδο εισάγονται οι μεταλλευτικές και οικονομικές παράμετροι καθώς και οι εξισώσεις που τις καθορίζουν. Εν συνεχεία οι υπολογισμοί γίνονται αυτοματοποιημένα αναζητώντας τα τελικά όρια

με κάποια μέθοδο βελτιστοποίησης όπως ο αλγόριθμος LG. Στη προκειμένη περίπτωση το ζητούμενο είναι να δειχθεί ότι τα αποτελέσματα με όλες τις μεθόδους είναι ίδια ώστε να επαληθευθεί η νέα και όχι να συγκριθούν τυχόν αποκλίσεις. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα δημιουργήθηκαν τα συνθετικά δεδομένα ώστε ο εμπειρικός σχεδιασμός της ΔΕΗ να υπολογίζει όλο το κοίτασμα εκμεταλλεύσιμο. Δεν έγινε εξομάλυνση του ορίου του πυθμένα καθώς σε διαφορετική περίπτωση δεν θα ήταν εφικτή η άμεση σύγκριση των δύο ομοιωμάτων συνεπώς θα υπήρχε αβεβαιότητα στη σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα από αυτή την μέθοδο παρουσιάζονται στο Πίνακα 4.2. Μία ακόμα προσθήκη είναι ο υπολογισμός του κύκλου εργασιών για λόγους που σχετίζονται με την επενδυτική απόφαση. Το παρόν υποθετικό κοίτασμα αν εκμεταλλευόταν για 10 χρόνια με μία γρήγορη εκτίμηση για τις χρηματοροές θα είχε κέρδη 35 Μ€ το χρόνο.

Η διαφορά μεταξύ των αποθεμάτων των δύο ομοιωμάτων οφείλεται στην ύπαρξη του ρήγματος, το ορθό είναι το γεωλογικό μοντέλο. Το κανονικό ρήγμα βυθίζει τα δύο στρώματα και επειδή υπάρχει περιορισμός της γεωλογίας στο ορθογώνιο αφαιρούνται δύο πρίσματα (Σχήμα 4.1, κίτρινο χρώμα) από αυτά. Το «γεωτρητικό» μοντέλο υπερεκτιμά τα αποθέματα, η υπερεκτίμηση εξαρτάται από το άλμα του ρήγματος και την γωνία των κλίσεων του ρήγματος και του στρώματος. Για σταθερό άλμα η μέγιστη απόκλιση υφίσταται για γωνία ρήγματος-στρώματος 45°. Η ελάχιστη είναι μηδέν και εμφανίζεται στις 90°, για κατακόρυφα ρήγματα.

Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα υπολογισμών των αποθεμάτων χειρογραφικά.

	Μονάδα Μέτρησης	Γεωτρητικά	Γεωλογικά	Διαφορά [%]
Λιγνίτης (Λ)	[m <sup>3</sup> ]	63,000,000	62,150,298	-1.37
Συνολικές εκσκαφές (Ε)	[m <sup>3</sup> ]	281,266,792	281,266,792	0.00
Ενδιάμεσα και υπερκείμενα (Ε+Υ)	[m <sup>3</sup> ]	218,266,792	219,116,494	0.39
Σχέση εκμετάλλευσης	[m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> ]	3.47	3.53	1.70
Αξία αποθεμάτων	[€]	348,059,718	334,829,858	-3.95
Κύκλος εργασιών	[€]	1,472,010,282	1,460,692,251	-0.77

#### 4.2.2 : Υπολογισμός με το σχεδιαστικό λογισμικό

Το σχεδιαστικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Autocad. Σχεδιάστηκαν δύο ομοιώματα, ένα με βάση τις γεωτρήσεις (Σχήμα 4.2) και ένα με βάση την γεωλογία της περιοχής (Σχήμα 4.1). Η διαφορά των δύο γεωλογικών ομοιωμάτων (Πίνακας 4.2 και Πίνακας 4.3) έγκειται στο ότι εδώ οι υπολογισμοί των όγκων γίνονται με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Ακόμα μετρήθηκαν με ακρίβεια τα επιπρόσθετα πρίσματα που διαπιστώθηκαν προηγουμένως (κίτρινο χρώμα) του κάθε στρώματος, ο συνολικός τους όγκος είναι 1.266.218 m<sup>3</sup>. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι πρέπει να χρησιμοποιείτε πολύ μεγάλη ακρίβεια γιατί το ορυχείο δεν σχεδιάζεται αναλυτικά, δηλαδή, με την πληκτρολόγηση των διαστάσεων και των στερεών γωνιών. Αν δεν γίνει κάτι από τα δύο τότε το Autocad με διαδοχικές εντολές όπως **trim**, **stretch** κτλ. θα αλλοιώσει της διαστάσεις λόγω των σφαλμάτων των αριθμητικών μεθόδων (αποκοπή και στρογγύλευση). Με αποτέλεσμα οι επιφάνειες να μην συμφωνούν και να μην μπορεί να δημιουργηθεί το στερεό ή να δημιουργείται χωρίς να είναι αξιόπιστο το αποτέλεσμα.

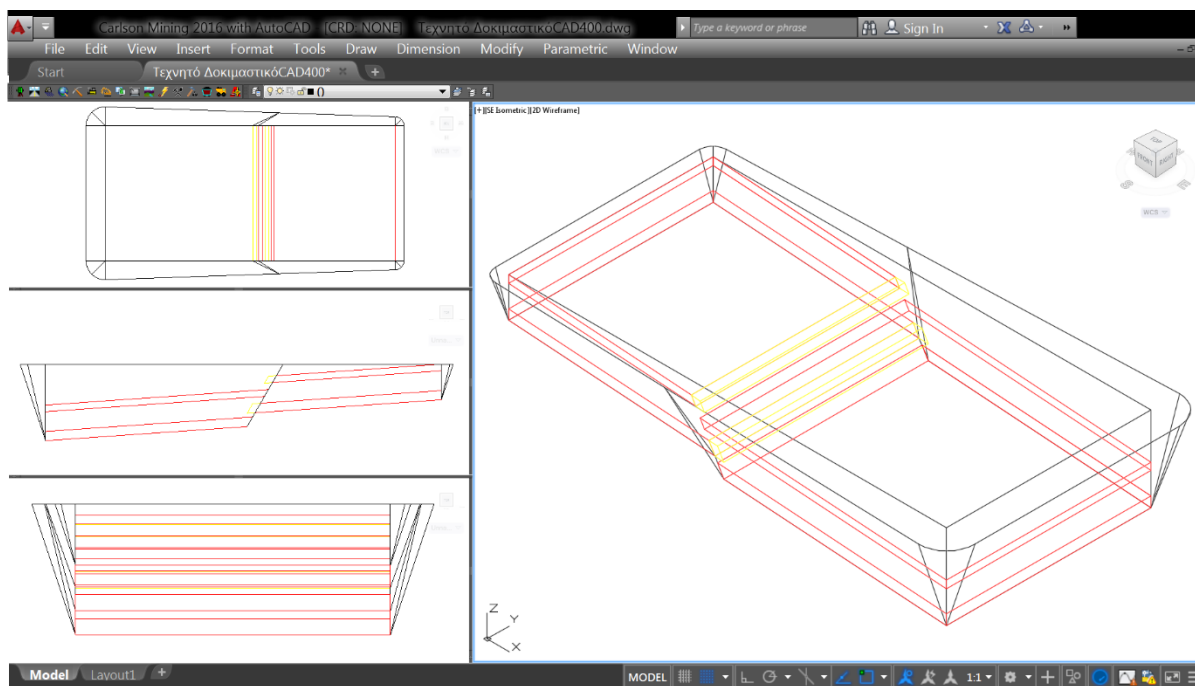
Η ακρίβεια και η αβεβαιότητα του κάθε δείκτη είναι διαφορετική, με την μεγαλύτερη ακρίβεια να εμφανίζει ο κύκλος εργασιών λόγω του πλήθους των σημαντικών ψηφίων το οποίο οφείλεται στην ύπαρξη μόνο της πρόσθεσης ενώ έχει την μεγαλύτερη αβεβαιότητα καθώς η αξία του κοιτάσματος μεταβάλλεται ευκολότερα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ένα σφάλμα 2%, εισάγει 5% σφάλμα στη αξία δηλαδή 2.5 φορές μεγαλύτερο.

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα υπολογισμών των αποθεμάτων με το Autocad.

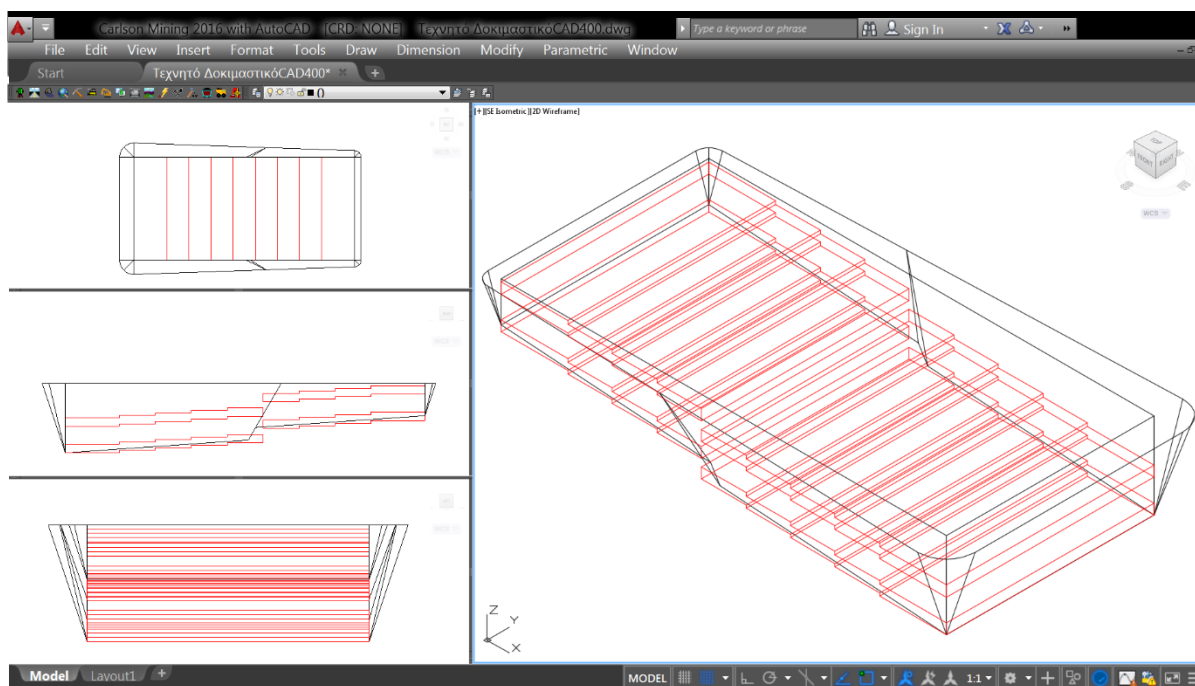
	Μονάδα Μέτρησης	Γεωτρητικά	Γεωλογικά	Διαφορά [%]
Λιγνίτης (Λ)	[m <sup>3</sup> ]	63,000,000	61,733,782	-2.05
Συνολικές εκσκαφές (Ε)	[m <sup>3</sup> ]	261,528,495	261,528,495	0.00
Ενδιάμεσα και υπερκείμενα (Ε+Υ)	[m <sup>3</sup> ]	198,528,495	199,794,713	0.63
Σχέση εκμετάλλευσης	[m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> ]	3.15	3.24	2.78
Αξία αποθεμάτων	[€]	392,470,886	372,755,872	-5.29
Κύκλος εργασιών	[€]	1,285,849,114	1,271,832,080	-1.10

### 4.2.3 : Εφαρμογή της νέας μεθοδολογίας

Προκειμένου να κατανοηθεί το λογισμικό και να βελτιστοποιηθεί το σύνολο των διαδικασιών έγιναν αρκετές δοκιμές. Σε αυτές τροποποιήθηκαν οι διαστάσεις των στοιχείων στους X, Y, Z άξονες αλλά και η τιμή του μεταλλεύματος. Τα αρχεία του ομοιώματος ανάλογα με την ανάλυση έχουν μέγεθος από μερικά MB ως 6.7 GB το κάθε ένα, σε υπερβολικά ακριβείς δοκιμές τερματίστηκε η λειτουργία του λογισμικού διότι δεν είχε μείνει καθόλου χώρος στο δίσκο περίπου 80 GB. Ο χρόνος επεξεργασίας περιορίστηκε για τα μεγάλα ομοιώματα σε λιγότερο από 15 min, αν και το λογισμικό απαιτούσε πάνω από 120 h κατ' εκτίμηση.

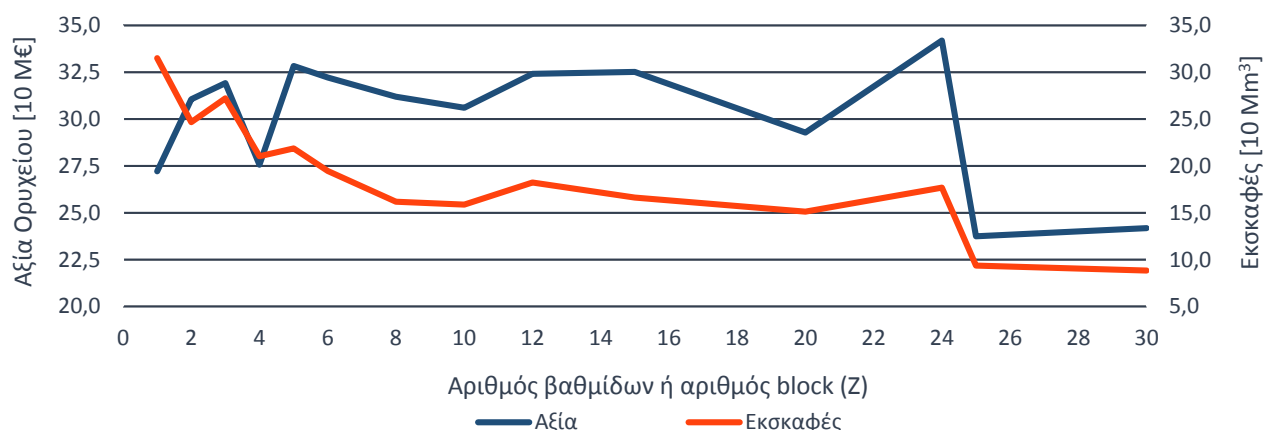


Σχήμα 4.1: Ακριβές ομοίωμα με βάση τη γεωλογική του δομή.



Σχήμα 4.2: Ομοίωμα με βάση τις γεωτρήσεις.

### Σχέση όγκου στοιχείου με την αξία του ορυχείου και τις εκσκαφές του



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα αριθμού βαθμίδων με συνολικές εκσκαφές (δεξιά) και την αξία τους (αριστερά).

Έγιναν αρκετές δοκιμές από τις οποίες 23 επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν (Πίνακας 4.4), τα προοπτικά σχέδια των ορυχείων βρίσκονται στο Παράρτημα Δ, Σχήμα Δ.1 – Δ.23. Σε αυτά τα σχήματα με κόκκινο χρώμα εντός της εκσκαφής φαίνονται τα λιγνιτικά στρώματα. Οι περιπτώσεις 17- 23 έγιναν πρώτες και μετά ακολούθησαν οι 1 – 16. Συνοπτικά αναφέρεται ότι στις 1-14, 18, 19 μεταβάλλεται το ύψος της βαθμίδας και συνεπώς αυτό του στοιχείου, δηλαδή αλλάζουν και οι άλλες δύο διαστάσεις αφού αλληλεξαρτώνται από το ύψος μέσω της κλίσης. Στις 15, 16, 17 ελέγχεται η μεταβλητότητα της αξίας πώλησης του λιγνίτη η οποία θεωρήθηκε 20, 30 και 50 €/m<sup>3</sup> αντίστοιχα. Στις 20 – 23 τροποποιείται μόνο η κλίση και συνεπώς υπάρχει αλλαγή μόνο του ύψους του στοιχείου.

Από τις πρώτες κιάλες δοκιμές παρουσιάστηκε το πρόβλημα της εξάρτησης των αποθεμάτων από το μέγεθος του στοιχείου. Η μη αναμενόμενη λειτουργία του λογισμικού, η οποία συνοψίζεται στο Σχήμα 4.3, παρατηρήθηκε και στις τρεις οικογένειες περιπτώσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι το φαινόμενο αυτό δεν σχετίζεται με το παρόμοιο φαινόμενο στη βιβλιογραφία block size effect (Mastoris, 1994) καθώς το τελευταίο αναφέρεται σε ομοιώματα με περιεκτικότητα σε χρήσιμο συστατικό. Το φαινόμενο αυτό στη προαναφερθείσα περίπτωση εμφανίζεται λόγω της αδυναμίας αποτύπωσης όλων των στρωμάτων το οποίο την καθιστά μία μη επαρκή μέθοδο για τον υπολογισμό των αποθεμάτων πολυστρωματικών κοιτασμάτων.

Από τον Πίνακα 4.4 πέρα από το παράδοξο αυτό, συμπεραίνεται ότι δεν είναι επαρκές κριτήριο αυτό της ΕΑΚ ή της ΚΠΑ. Πιο συγκεκριμένα στις περιπτώσεις 2, 3, 7, 8, 11 τα κέρδη μετά την εξόρυξη του μεταλλεύματος θα είναι συγκρίσιμα αλλά οι συνολικές εκσκαφές κυμαίνονται από 151 έως 272 Mm<sup>3</sup>. Συνεπώς το τελικό παραγόμενο προϊόν και τα αποθέματα θα είναι διαφορετικά.

Το πιστότερο αποτέλεσμα παρουσιάζει η περίπτωση 3, το οποίο βρίσκεται αρκετά κοντά στην πραγματικότητα. Οι εκσκαφές εμφανίζονται μεγαλύτερες καθώς είναι μεγαλύτερα τα στοιχεία (block), με αποτέλεσμα να μην προσεγγίζουν καλά τα πραγματικά όρια και δημιουργείται εικονική υπερεκσκαφή. Τα επιπλέον υλικά προς εξόρυξη είναι ανάλογα με την κλίση και επειδή αυτή είναι 3:1 δεν επηρεάζει πολύ το αποτέλεσμα καθώς μειώνει την αξία περίπου με 10-15 Mm<sup>3</sup>, το οποίο αντιστοιχεί περίπου σε 20 – 30 Μ€. Επίσης πολύ μικρό μέρος του κοιτάσματος δεν περιέχεται στην τελική εκσκαφή το οποίο μάλλον σχετίζεται με το παράδοξο το οποίο παρατηρείται και στις άλλες περιπτώσεις. Το πρόβλημα επιτείνεται τόσο όσο αυξάνει το βάθος του ορυχείου αλλά και στα περιφερειακά στοιχεία του κοιτάσματος ανεξάρτητα από το βάθος. Στο πραγματικό κοίτασμα που θα εξεταστεί ο παραπάνω μηχανισμός θα εισάγει σημαντικά σφάλματα καθώς η κλίση είναι 1:5 ή και μεγαλύτερη και είναι ποιο βαθύ κατά τόπους.

Επίσης αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση 12 σε συνδυασμό με την 13 καθώς με μόνο μία βαθμίδα διαφορά, παρουσιάζεται μεγάλη απόκλιση στις εκσκαφές. Φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερα είναι τα στοιχεία τόσο ευκολότερα μοντελοποιείται το κοίτασμα, αυτό αντιβαίνει τους περιορισμούς του Carlson οι οποίοι απαιτούν τουλάχιστον 3 βαθμίδες υπερκειμένων για να λειτουργήσει ο αλγόριθμος LG, ενώ έχουν γίνει υπολογισμοί με μία μόνο «βαθμίδα». Είναι φανερό πως αυτή η συμπεριφορά δεν είναι αναμενόμενη, αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον διότι είναι ένα εμπορικό λογισμικό υψηλού κόστους κτήσης και όχι κάποιος ερευνητικός αλγόριθμος.

Πίνακας 4.4: Περιπτώσεις και παράμετροι κάθε ομοιώματος από τα συνθετικά δεδομένα.

A/A	Κλίση (Υψος : Πλάτος)	Αριθμός Βαθμίδων	H [m]	X, Ψ [m]	Εκσκαφές [Mm <sup>3</sup> ]	Κέρδος [Μ€]
1	3	1	300	100.00	315	272
2	3	2	150	50.00	247	311
3	3	3	100	33.33	272	319
4	3	4	75	25.00	210	276
5	3	5	60	20.00	219	328
6	3	6	50	16.67	195	322
7	3	8	37.5	12.50	162	312
8	3	10	30	10.00	159	306
8LG2D	3	10	30	10.00	242	424
8KO	3	10	30	10.00	248	421
9	3	12	25	8.33	182	324
10	3	15	20	6.67	166	325
11	3	20	15	5.00	151	293
12	3	24	12.5	4.17	177	342
13	3	25	12	4.00	94	237
14	3	30	10	3.33	88	242
15	3	10	30	10.00	232	756
16	3	10	30	10.00	256	1403
17	3	15	20	6.67	255	2657
18	3	15	20	6.67	-	-
19	3	25	12	4	-	-
20	3	3	100	33.3	-	-
21	2.25	4	75	33.3	-	-
22	1.8	5	60	33.3	-	-
23	1.5	6	50	33.3	-	-

Καθώς ο αλγόριθμος δεν λειτουργεί ικανοποιητικά θα πρέπει να επαληθευτεί και με άλλο τρόπο η νέα μεθοδολογία. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε το μη εμπορικό λογισμικό UPL που λειτουργεί εντός του Excel. Δεν παρουσιάζει τις απεικονιστικές δυνατότητες του λογισμικού Carlson αλλά είναι δυνατόν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα με μεθόδους βελτιστοποίησης όπως ο αλγόριθμος LG δύο διαστάσεων η μέθοδος κινητού κώνου και η μέθοδος Korobov. Τα αποτελέσματα των περιπτώσεων με αυτό το λογισμικό, 8LG2D και 8KO, (Πίνακας 4.4 και Παράρτημα Γ), ταυτίζονται με τον χειρογραφικό σχεδιασμό του ορυχείου. Επιβεβαιώνοντας ότι ο αλγόριθμος του εμπορικού λογισμικού δεν λειτουργεί με τον σωστό τρόπο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος του κινητού κώνου απέτυχε να βρει κάποιο όριο για το ορυχείο πιθανόν για λόγους εσωτερικούς του λογισμικού.

### 4.3 : Εφαρμογή νέας μεθοδολογίας στο υποθετικό κοίτασμα

Αφού έχει επαληθευθεί η ακρίβεια της μεθοδολογίας, πριν αυτή εφαρμοστεί στο πραγματικό κοίτασμα με το πλήρες κόστος παραγωγής, είναι αναγκαίο να εισαχθούν δοκιμαστικά οι παράμετροι που περιλαμβάνουν τα πλήρη κοστολογικά δεδομένα ενός ορυχείου στο υποθετικό κοίτασμα. Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα συνθετικά δεδομένα χωρίς τις περιμετρικές γεωτρήσεις οι οποίες είναι όλες ίδιες χωρίς διαφοροποιήσεις. Επίσης στο Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται οι παράμετροι που εισήχθησαν στο ομοίωμα για τον υπολογισμό της ΚΠΑ της εκμετάλλευσης και τα αποτελέσματα.

Όσον αφορά τα δεδομένα των προηγούμενων περιπτώσεων, τροποποιούνται ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στη πραγματικότητα. Το ενδιαμέσο στρώμα αγόνων γίνεται στρώμα σκληρών ίδιου πάχους και προστίθεται ένα επιφανειακό στρώμα δέκα μέτρων. Έγινε εισαγωγή ενός κόμβου ταινιοδρόμων στα βόρεια πρηνή ώστε η απόσταση μεταφοράς να εξαρτάται από την θέση της γεώτρησης και να μην είναι απλά μία μέση απόσταση. Καθώς το κοίτασμα είναι μεγάλου πάχους και λίγων στρωμάτων δεν θα χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις που αφορούν την εκλεκτική εξόρυξη. Όμως θα υπολογιστεί το κόστος μεταφοράς και εξόρυξης με βάση την παραγωγικότητα της εργασίας και όχι σαν μία απλή τιμή όπως στα προηγούμενα παραδείγματα.

Για να δημιουργηθεί το πρώτο ομοίωμα χρειάστηκαν 50 min ενώ άλλα 100 για το δεύτερο. Το πρώτο αποτελείται από 630 M στοιχεία και καταλάμβανε 7.71GB χώρο στη μονάδα αποθήκευσης του υπολογιστή. Τα τελικά όρια περιλαμβάνουν όλο το κοίτασμα και οι συνολικές εκσκαφές είναι 288 Mm<sup>3</sup>. Η ΚΠΑ της εκμετάλλευσης είναι 617 Μ€. Σε σχέση με τα προηγούμενα όρια του ίδιου ορυχείου διαπιστώνεται ότι η αξία του ορυχείου είναι σαφώς μεγαλύτερη αφού χρησιμοποιείται πάγιος ηλεκτροκίνητος εξοπλισμός. Επίσης εδώ υπολογίζεται η ΚΠΑ και όχι απλά η ΠΑ.

#### 4.4 : Εφαρμογή στο πραγματικό κοίτασμα

Το πραγματικό κοίτασμα είναι το κοίτασμα λιγνίτη του Νοτιοδυτικού πεδίου ή πεδίου Υψηλάντη τα δεδομένα και οι οικονομικές σχέσεις που το χαρακτηρίζουν αναπτύσσονται στο Κεφάλαιο 2. Αυτά ισχύουν για όλα τα κοιτάσματα, ωστόσο για καλύτερη μοντελοποίηση εισήχθησαν και παράμετροι που αφορούν πολυστρωματικά κοιτάσματα και την συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης που εφαρμόζονται σε όλα τα λιγνιτικά κοιτάσματα. Οι παράμετροι εισαγωγής παρουσιάζονται στο Πίνακα 4.6. Η περιοχή μελέτης αφορά ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο διαστάσεων 11 x 8.5 x 0.7 km<sup>3</sup> και η ενεργή έκταση (τάφρος) του ορυχείου εκτιμάται ότι καταλαμβάνει έκταση 2 km<sup>2</sup>. Όσον αφορά το επιφανειακό κόστος, το κόστος ανασκαφών των τελευταίων πέντε ετών ανέρχεται στα 20 Μ€ για το ορυχείο Καρδιάς το οποίο αντιστοιχεί σε  $K_a = 1 \text{ €/m}^2$ . Για την αποκατάσταση τοπίου και εδαφών έχει προϋπολογιστεί μία δαπάνη  $K_t = 3 \text{ €/m}^2$ . Το κόστος απαλλοτριώσεων και μετεγκατάστασης προσδιορίζεται δικαστικά, ένα τυπικό κόστος είναι  $K_v = 6 \text{ €/m}^2$ . Για την μετεγκατάσταση του οικισμού Ποντοκώμης, έκτασης 0.877 km<sup>2</sup>, θα υπάρξει αποζημίωση 144 Μ€. Η δαπάνη ανοιγμένη στην επιφάνεια αναφοράς είναι  $K_{\text{μετ}} = 7.4 \text{ €/m}^2$ . Η τοπογραφική επιφάνεια του έτους 2001 φαίνεται στο Σχήμα 4.4.

Χρειάστηκαν 8.5 GB αποθηκευτικού χώρου και 10 h συνολικά για την δημιουργία του ενός τελικού ομοιώματος. Το πρώτο ομοίωμα αποτελούνταν από 550 M στοιχεία. Στο Πίνακα 4.6 εκτός από τις παραμέτρους εισαγωγής υπολογίζονται στις τελευταίες γραμμές η ΚΠΑ, ο κύκλος εργασιών, οι συνολικές εκσκαφές το απόλυτο υψόμετρο του πυθμένα του ορυχείου, η έκτασή του και εκτιμήσεις για τα αποθέματα λιγνίτη και το μοναδιαίο κόστος εξόρυξής τους.

Όσον αφορά τον κύκλο εργασιών αυτός εμφανίζεται μειωμένος καθώς υπολογίστηκε από τα εξορυσσόμενα block με θετικές αξίες τα οποία περιέχουν και αρνητικές αξίες, συνεπώς ο πραγματικός κύκλος εργασιών θα είναι αισθητά μεγαλύτερος. Οι εκτιμήσεις για τα αποθέματα λιγνίτη και το μοναδιαίο κόστος εξόρυξης είναι εκτιμήσεις του μελετητή και βασίζονται στην παρούσα αξία που θεωρήθηκε διπλάσια της ΚΠΑ και σε τυπικές ειδικές καταναλώσεις καυσίμου για κάθε απόδοση του ΑΗΣ. Δεν εξάγονται από την μεθοδολογία. Η ακριβής εκτίμηση μέσω της μεθοδολογίας είναι μία χρονοβόρα διαδικασία και στα πλαίσια της εργασίας αυτής δεν ήταν δυνατόν να επιτευχθεί, ωστόσο μία αδρή εκτίμηση κρίθηκε επιτακτική. Στα σχήματα έχουν σχεδιαστεί τα προοπτικά σχέδια των ορυχείων χωρίς τις αποθέσεις και σε αυτά διακρίνονται τα τελικά όρια της εκσκαφής. Στο Παράρτημα Ε έχουν σχεδιαστεί περίπου 140 τομές, μία για κάθε περίπτωση στις οποίες απεικονίζονται και οι ποιότητες των block και μία ακόμη που περιέχει τα τέσσερα τοπογραφικά του ανάγλυφου της περιοχής πριν την διάνοιξη του νέου ορυχείου και ένα για τον πυθμένα του ορυχείου σε κάθε περίπτωση.

Μία γενική παρατήρηση είναι ότι εμφανίστηκε το παράδοξο να αυξάνεται το βάθος του ορυχείου περιμετρικά και εκτός του κοιτάσματος. Αυτή είναι η αιτία που δημιουργούνται μεγαλύτερα όρια από το αναμενόμενο. Αυτό συμβαίνει κυρίως στο βόρειο τμήμα του ορυχείου.

Δεν κατέστη σαφής ο μηχανισμός δημιουργίας αυτού του παραδόξου ωστόσο μπορεί να σχετίζεται είτε με την δυσλειτουργία του λογισμικού Carlson, όπως αναλύθηκε ή στο τρόπο εισαγωγής του ομοιώματος δηλαδή στη θεώρηση του μεταβλητού ή του σταθερού block model. Ο δεύτερος μηχανισμός εικάζεται καθώς τα συνθετικά δεδομένα του υποθετικού κοιτάσματος δημιουργήθηκαν όλα με σταθερό υψόμετρο για την απλότητα των υπολογισμών με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα σταθερό block model εξ' αρχής. Τα πραγματικά δεδομένα όμως έχουν διαφορετικό υψόμετρο, το οποίο πιθανόν να οδηγεί στη δημιουργία μεταβλητού block model και τελικά σε αποκλίσεις. Δεν κατέστη δυνατό να προσδιοριστεί ποια από τις δύο ήταν η αιτία για την συμπεριφορά αυτή. Επομένως η τελική αξία του ορυχείου και στις τρεις περιπτώσεις θα είναι μεγαλύτερη καθώς δεν θα υπάρχει στην πραγματικότητα ο επιπρόσθετος όγκος για εκσκαφή και τα όρια θα είναι σαφώς μικρότερα.

Το παραπάνω αν και δεν εξηγήθηκε πλήρως δεν επηρεάζει την νέα μεθοδολογία διότι αυτή επαληθεύτηκε από άλλες μεθόδους αξιολόγησης άλλου λογισμικού (UPL). Επίσης τα αποτελέσματα στο πραγματικό κοίτασμα είναι ρεαλιστικά και «κοντά» στους υπολογισμούς της ΔΕΗ αν και απομειωμένα σε σχέση με τα αναμενόμενα. Αυτό συμβαίνει αφενός λόγω αυτού του παραδόξου που δημιουργεί μεγαλύτερη εκσκαφή

αφετέρου λόγω του υψηλότερου κόστους εξόρυξης που θεωρήθηκε και ορισμένων γεωτρήσεων που λείπουν.

Επιπρόσθετα θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα αποτελέσματα δεν ανταποκρίνονται απολύτως στη πραγματικότητα καθώς για λόγους εμπιστευτικότητας η διαδικασία τροποποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε τα ποιοτικά αποτελέσματα να παραμένουν ίδια αλλά να τροποποιούνται ελαφρώς τα ποσοτικά. Λόγω των ανωτέρω συμπεραίνεται ότι τα ποσοτικά και ποιοτικά αποθέματα δεν μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω παρά μόνο οι ποιοτικές σχέσεις που αναλύθηκαν.

Συνεπώς τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας από το πραγματικό κοίτασμα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άμεση σύγκριση με τα πραγματικά διότι διαφέρουν μεταξύ τους. Η απόκλιση οφείλεται στο υψηλότερο κόστος εξόρυξης, στα ελλιπή δεδομένα, στην τροποποίηση της μεθοδολογίας και τέλος στην λειτουργία του λογισμικού που χρησιμοποιείται.

Στη πρώτη περίπτωση (Σχήμα 4.7) η αρνητική ΚΠΑ οφείλεται στο τρόπο τερματισμού του αλγόριθμου. Ωστόσο καθώς έχει ζητηθεί ελάχιστη ΕΑΚ 2.5% το μέρος του κοιτάσματος θα αντιστοιχεί σε μικρότερο αλλά θετικό ποσοστό κέρδους. Η περιοχή των αποθέσεων καρδιάς φαίνεται πως δεν είναι εκμεταλλεύσιμη. Αυτή η περιοχή εσκεμμένα δεν αφαιρέθηκε, αφού ήδη έχει εξορυχθεί, προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση στην εκμεταλλευσιμότητα του κοιτάσματος. Με βάση αυτά τα κοστολογικά στοιχεία κρίνεται αντιοικονομική η αποκάλυψη του κοιτάσματος που υπόκεινται των αποθέσεων Καρδιάς. Βέβαια τα στοιχεία κόστους και ειδικά ο μισθός είναι αρκετά υψηλός με αποτέλεσμα να κρίνονται απολήψιμα μόνο 80 Mm<sup>3</sup> από τα περίπου 250 Mm<sup>3</sup> που υπολογίζει η ΔΕΗ. Επίσης θα πρέπει να τονισθεί ότι και σε αυτό το σενάριο θεωρήθηκε ότι γίνεται εμπλουτισμός, στην πράξη κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει αλλά εισάχθηκε στο βασικό σενάριο ώστε να προσομοιώσει άλλες λειτουργίες αναβάθμισης όπως η ανάμιξη με λιγνίτη τρίτων, η χρήση βιομάζας το κόστος πετρελαίου κατά την έναυση κτλ., το ίδιο ισχύει και στο επόμενο σενάριο. Στο τρίτο που είναι και το πλέον αισιόδοξο θεωρείται ότι θα κατασκευαστεί εργοστάσιο εμπλουτισμού.

Μία άλλη παρατήρηση είναι η όδευση της νέας εθνικής οδού. Ακόμα και με αυτή την χαμηλή ΣΕ του πρώτου σεναρίου χωρίς δηλαδή να φτάσει η κλειστή εκσκαφή του ορυχείου σε βάθος 350m φαίνεται πως είναι αναγκαστική η νέα όδευση της νέας εθνικής οδού ή η εγκατάλειψη τμήματος του κοιτάσματος. Η ανάγκη για επέκταση του ορυχείου στην κρασπεδική περιοχή γίνεται λόγω της ύπαρξης ενός κομματιού του κοιτάσματος υψηλής ΚΘΙ, σχετικά επιφανειακού, το οποίο είναι εκμεταλλεύσιμο ανεξάρτητα με το υπόλοιπο κοίτασμα που υπόκεινται. Επακόλουθο είναι να δημιουργείται στην περιοχή ένα όριο που προσβάλλει την νέα εθνική οδό ανεξάρτητα με το βάθος του ορυχείου. Η όδευση της νέας εθνικής οδού είχε χαραχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αντικαταστήσει την παλαιά εθνική οδό που έχει ήδη προσβληθεί από το ορυχείο. Επίσης μία άλλη επισημάνση αφορά το συνολικό βάθος του ορυχείου. Με βάση αυτό τον αρχικό υπολογισμό το μέγιστο υψόμετρο θα είναι τα 800 m περίπου ενώ το ελάχιστο τα 500 m. Μία υψομετρική διαφορά της τάξης των 300 m. Η εκσκαφή τέτοιου βάθους σε μία περιοχή με σύνθετη υδροφορία και εντατικό πεδίο καθιστά εξαιρετικά δύσκολο το εγχείρημα.

Στη δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 4.8) η μόνη τροποποίηση είναι η βελτίωση της απόδοσης του ΑΗΣ. Τα αποτελέσματα είναι εξαιρετικά ενδιαφέροντα καθώς σχεδόν διπλασιάζονται οι εκσκαφές με τον κύκλο εργασιών σχεδόν να τριπλασιάζεται. Αυτό συμβαίνει λόγω της καλύτερης απόδοσης του ΑΗΣ που οδηγεί σε πιο ευνοϊκή ειδική κατανάλωση συνεπώς είναι αποδεκτό υψηλότερο κόστος εξόρυξης του λιγνίτη το οποίο οδηγεί στην αύξηση της οριακής ΣΕ. Τελικά αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη αύξηση των αποθεμάτων και ακολούθως της κερδοφορίας του ορυχείου.

Στην τελευταία περίπτωση (Σχήμα 4.9) με πολύ καλές συνθήκες μπορεί να δημιουργηθεί ένα ορυχείο βάθους 600 m, ΚΠΑ 40 G€ και συνολικών εκσκαφών 6.3 Gm<sup>3</sup> με μία εκτιμώμενη ΣΕ 9:1. Το πολύ μεγάλο βάθος του ορυχείου δεν θα είναι στο σύνολό του σε κλειστή εκσκαφή καθώς το μέγιστο τοπικό βάθος μίας γεώτρησης στο βαθύτερο σημείο είναι 350m περίπου. Συνεπώς 400 m περίπου θα είναι σε κλειστή εκσκαφή και τα υπόλοιπα σε ανοιχτή στους πρόποδες του Ασκίου όρους. Η πολύ μικρή διαφορά κύκλου εργασιών και κερδών δείχνει ότι υπάρχει μεγάλο περιθώριο είτε μείωσης της τιμής πώλησης είτε αύξησης του κόστους εξόρυξης χωρίς να τροποποιηθούν τα αποθέματα. Αυτό με την σειρά του συνεπάγεται ότι η έλλειψη επενδύσεων μειώνει σε πολύ μεγάλο βαθμό τα αποθέματα διότι δεν μπορούν να εφαρμοστούν τεχνολογίες ανάκτησης του θερμικού περιεχομένου.

Πίνακας 4.5: Τυπικό απόσπασμα συνθετικών γεωτρητικών δεδομένων των λιγνιτικών γεωτρήσεων με πλήρη περιγραφή.

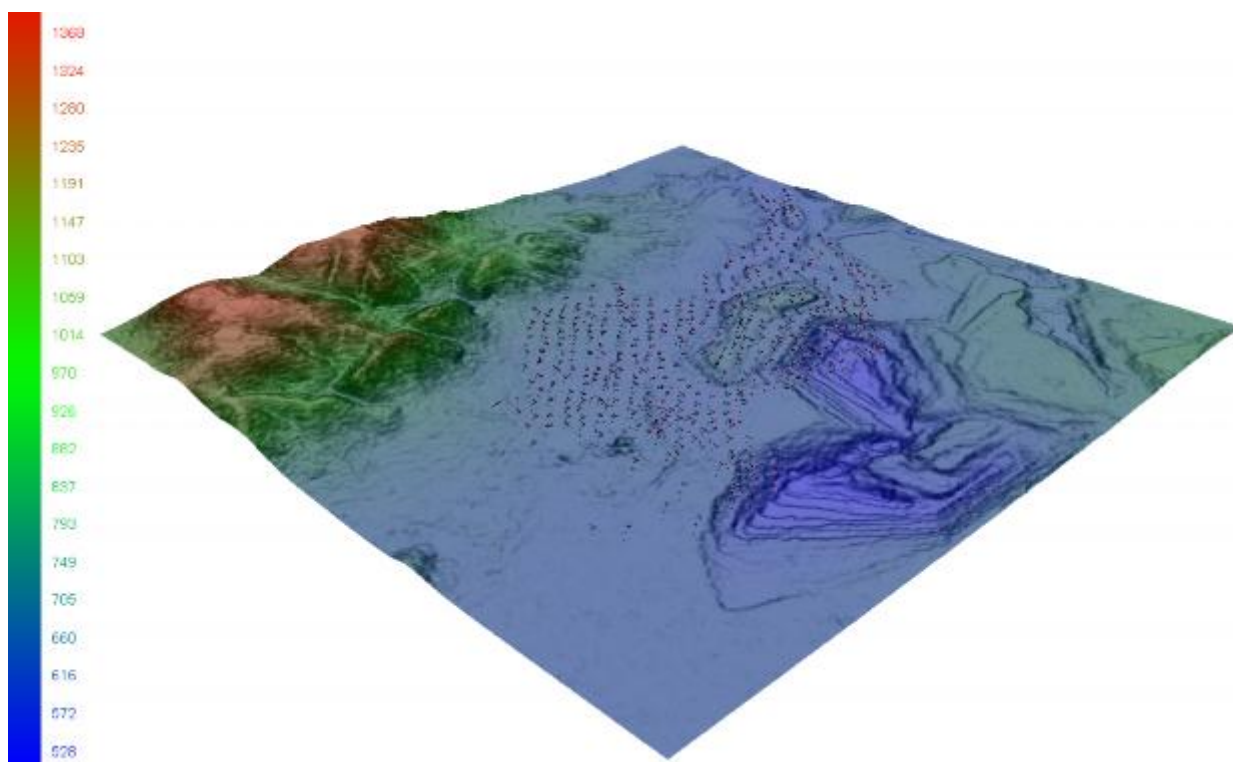
Γεώτρηση [-]	Ψ [m]	Χ [m]	Ζ [m]	Σχηματισμός [-]	Πάχος [m]	ΚΘΙ [kcal/kg]	Τ.ε.ξ. [%]	CO <sub>2</sub> [%]	Υγρασία [%]	Σκληρά [-]
Γ1	1501.67	4715.83	440.00	MR	10.0					
Γ1	1501.67	4715.83	429.50	MR	10.5					
Γ1	1501.67	4715.83	404.50	CO	25.0	1107	26.7	13.6	56.5	
Γ1	1501.67	4715.83	329.50	MR	75.0					D
Γ1	1501.67	4715.83	294.50	CO	35.0	1454	23.3	5.0	57.2	
Γ1	1501.67	4715.83	150.00	MR	144.5					
Γ2	1501.67	4865.83	440.00	MR	10.0					
Γ2	1501.67	4865.83	419.00	MR	21.0					
Γ2	1501.67	4865.83	394.00	CO	25.0	1180	33.1	13.8	54.1	
Γ2	1501.67	4865.83	319.00	MR	75.0					D
Γ2	1501.67	4865.83	284.00	CO	35.0	1306	13.1	5.9	64.9	
Γ2	1501.67	4865.83	150.00	MR	134.0					
Γ3	1501.67	5015.83	440.00	MR	10.0					
Γ3	1501.67	5015.83	408.50	MR	31.5					
Γ3	1501.67	5015.83	383.50	CO	25.0	1192	26.2	9.2	58.2	
Γ3	1501.67	5015.83	308.50	MR	75.0					D
Γ3	1501.67	5015.83	273.50	CO	35.0	1324	25.1	2.9	59.4	
Γ3	1501.67	5015.83	150.00	MR	123.5					
Γ4	1501.67	5165.83	440.00	MR	10.0					
Γ4	1501.67	5165.83	398.00	MR	42.0					
Γ4	1501.67	5165.83	373.00	CO	25.0	1202	30.1	7.3	56.3	
Γ4	1501.67	5165.83	298.00	MR	75.0					D
Γ4	1501.67	5165.83	263.00	CO	35.0	1326	24.0	3.8	59.8	
Γ4	1501.67	5165.83	150.00	MR	113.0					
Γ5	1501.67	5315.83	440.00	MR	10.0					
Γ5	1501.67	5315.83	337.50	MR	102.5					
Γ5	1501.67	5315.83	312.50	CO	25.0	1248	17.2	5.7	63.5	
Γ5	1501.67	5315.83	237.50	MR	75.0					D
Γ5	1501.67	5315.83	202.50	CO	35.0	1331	14.3	4.8	64.0	
Γ5	1501.67	5315.83	150.00	MR	52.5					
Γ6	1501.67	5465.83	440.00	MR	10.0					
Γ6	1501.67	5465.83	327.00	MR	113.0					
Γ6	1501.67	5465.83	302.00	CO	25.0	1306	13.1	5.9	64.9	
Γ6	1501.67	5465.83	227.00	MR	75.0					D
Γ6	1501.67	5465.83	192.00	CO	35.0	1413	27.7	1.8	57.1	
Γ6	1501.67	5465.83	150.00	MR	42.0					
Γ7	1501.67	5615.83	440.00	MR	10.0					
Γ7	1501.67	5615.83	316.50	MR	123.5					
Γ7	1501.67	5615.83	291.50	CO	25.0	1331	14.3	4.8	64.0	
Γ7	1501.67	5615.83	216.50	MR	75.0					D
Γ7	1501.67	5615.83	181.50	CO	35.0	1494	18.1	5.2	58.5	
Γ7	1501.67	5615.83	150.00	MR	31.5					
Γ8	1501.67	5765.83	440.00	MR	10.0					
Γ8	1501.67	5765.83	306.00	MR	134.0					
Γ8	1501.67	5765.83	281.00	CO	25.0	1326	24.0	3.8	59.8	
Γ8	1501.67	5765.83	206.00	MR	75.0					D
Γ8	1501.67	5765.83	171.00	CO	35.0	1508	17.9	2.8	60.1	
Γ8	1501.67	5765.83	150.00	MR	21.0					
Γ9	1501.67	5915.83	440.00	MR	10.0					
Γ9	1501.67	5915.83	295.50	MR	144.5					
Γ9	1501.67	5915.83	270.50	CO	25.0	1365	25.0	2.7	58.3	
Γ9	1501.67	5915.83	195.50	MR	75.0					D
Γ9	1501.67	5915.83	160.50	CO	35.0	1635	15.2	1.4	63.0	
Γ9	1501.67	5915.83	150.00	MR	10.5					

Ένα τέτοιο σενάριο θα ήταν ρεαλιστικό σε περίπτωση συμβολαιοποίησης της λιγνιτικής παραγωγής. Με τον τρόπο αυτό θα οδηγούνταν κεφάλαια άμεσα στα ορυχεία με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η εφαρμογή εμπλουτισμού, σύγχρονων σταθμών υψηλής απόδοσης κτλ. Οι επενδύσεις αυτές θα μείωναν το μοναδιαίο κόστος εξόρυξης αυξάνοντας το περιθώριο κέρδους του συστήματος ΑΗΣ-ορυχείου. Με το επιπλέον ποσοστό κέρδους θα ήταν δυνατόν να χρηματοδοτηθούν ΑΠΕ μέσω της υποχρεωτικής χρηματοδότησης του ΕΛΑΠΕ. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το κόστος ΗΕ θα μπορούσε να κατέλθει στα 20 €/MWh συνεπώς τα υπόλοιπα 100, που αντιστοιχούν στην τιμή πώλησης ΗΕ του σεναρίου 3, θα μπορούσαν να τροφοδοτήσουν τον ειδικό λογαριασμό για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΕΛΑΠΕ).

Με τον παραπάνω τρόπο δεν υποχρεώνεται μία επιχείρηση να εκμεταλλευτεί ληστρικά ένα κοίτασμα και το αξιοποιεί αποδίδοντας τις μέγιστες δυνατές θέσεις εργασίας στην εγχώρια οικονομία. Με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα αποθέματα και συνεπώς να διασφαλίζεται ο ενεργειακός εφοδιασμός της χώρας. Επίσης μειώνονται πολύ οι επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω του καθαρότερου καυσίμου και της καλύτερης

απόδοσης των διεργασιών. Δεν θα υπήρχε καμία διαφορά στην επίτευξη των στόχων για μείωση των ρύπων η οποία αντιθέτως θα γινόταν γρηγορότερα. Προφανώς ένα τέτοιο συμβόλαιο θα αφορούσε περιορισμένη παραγωγή (έστω 35% του συνόλου της ΗΕ) δίνοντας την δυνατότητα και σε παραγωγούς ΗΕ άλλων πηγών να παράγουν.

Σε αυτή την περίπτωση εγγυημένης τιμής (120 €/MWh) μικρότερη αρκετών επενδύσεων ΑΠΕ και σαφώς μικρότερη από το συνολικό κόστος του συστήματος υποστήριξης των ΑΠΕ, το κοίτασμα αποδίδει πολύ μεγαλύτερη εγχώρια προστιθέμενη αξία από μία αντίστοιχης ισχύος μονάδα παραγωγής ΗΕ. Η εξόρυξη λιγνίτη δημιουργεί πολύ περισσότερες εγχώριες θέσεις εργασίας σε σχέση με την εγκατάσταση εξοπλισμού ΑΠΕ, την διαχείριση του εισαγόμενου ΦΑ και πετρελαίου και την αγορά ηλεκτρική ενέργειας από πυρηνικά εργοστάσια του εξωτερικού. Οι περισσότερες θέσεις εργασίας οφείλονται στην δυσκολία διαχωρισμού αγόνων και λιγνίτη και τελικά στην ιδιαίτερη γεωλογική δομή των ελληνικών κοιτασμάτων. Τελικά παράγονται περισσότερα με λιγότερους πόρους κατά την εξόρυξη λιγνίτη.



Σχήμα 4.4: Γεωτρήσεις και τοπογραφική επιφάνεια με δεδομένα από το διαστημικό πρόγραμμα SRTM της NASA και του USGS.

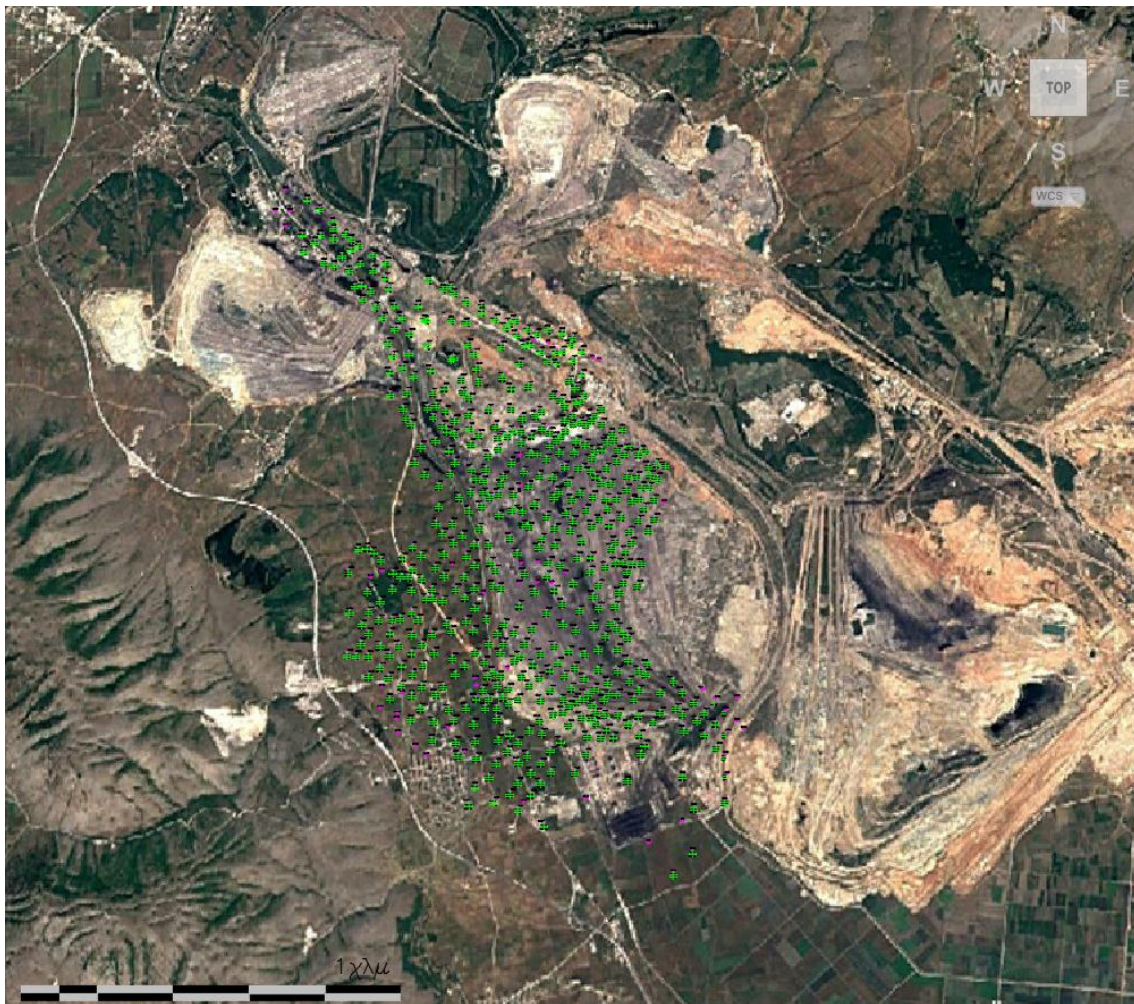
Πίνακας 4.6: Παράμετροι εισαγωγής και δεδομένα εξόδου του πραγματικού κοιτάσματος για διάφορες περιπτώσεις.

Παράμετρος	Μονάδα Μέτρησης	Υποθετικό	Περιπτώσεις		
			01	02	03
Κλίση πρανών Β, Ν	[-]	3:1	1:3	1:3	1:3
Κλίση πρανών Α, Δ	[-]	-	1:4	1:4	1:4
Αριθμός στοιχείων άξονα Ζ	[-]	10	70	70	70
Ύψος βαθμίδας	[m]	30	10	10	10
Μήκος στοιχείου	[m]	10	40	40	40
Πλάτος στοιχείου	[m]	10	30	30	30
Ύψος στοιχείου	[m]	0.01	0.1	0.1	0.1
Απόδοση ΑΗΣ	[-]	0.36	0.36	<b>0.42</b>	<b>0.5</b>
Συντελεστής οξείδωσης	[-]	0.9597	0.9597	0.9597	0.9597
Όριο ΑΗΣ ΚΘΙ	[kcal]	1000	1000	1000	1000
Όριο ΑΗΣ Τ.ε.ξ	[%]	-	-	-	-
Όριο υγρασίας	[%]	-	-	-	-
Ακτίνα καδοτροχού	[m]	8	8	8	<b>4</b>
Γωνία μετώπου πρανούς	[°]	60	60	60	60
Αρχική γωνία ένταξης	[°]	-33	-33	-33	-33
Τελική γωνία ένταξης	[°]	70	70	70	70
Βάθος εντομής	[%]	0.15	0.15	0.15	0.15
Αριθμός πάσων ανά πακέτο	[-]	20	20	20	20
Ελάχιστο πάχος λιγνίτη*	[m]	0.5	0.5	0.5	0.5
Στείρο διακοπής*	[m]	0.2	0.2	0.2	0.2
Πυκνότητα λιγνίτη	[t/m <sup>3</sup> <sub>lig</sub> ]	1.2	1.2	1.2	1.2
Πυκνότητα αγόνων	[t/m <sup>3</sup> <sub>e</sub> ]	1.8	1.8	1.8	1.8
Απόδοση εμπλουτισμού	[%]	-	10	10	<b>20</b>
Αναβάθμιση καυσίμου	[%]	-	180	180	180
Ειδική κατανάλωση εξοπλισμού *	[kWh/m <sup>3</sup> <sub>e</sub> ]	4	4	4	4
Αρχική γωνία τομοταινιών*	[rad]	3.14	1.5	1.5	1.5
Τελική γωνία τομοταινιών*	[rad]	6.28	3.2	3.2	3.2
Χρόνος εκμετάλλευσης	[y]	10	30	30	30
Μέρες εργασίας	[d/mo]	30	30	30	30
Ώρες εργασίας	[h/d]	8	8	8	8
Παραγωγικότητα εργασίας*	[m <sup>3</sup> /h]	200	50	50	<b>200</b>
Θέση κόμβου ταινιοδρόμων	[m, m]	5315, -751	-12604, 19752	-12604, 19752	-12604, 19752
Πληθωρισμός	[%]	2.5	2.5	2.5	2.5
Επιτόκιο δανεισμού	[%]	-	-	-	-
Μισθός	[€]	5000	5000	5000	<b>2000</b>
Κόστος αγοράς ΗΕ	[€/kWh]	0.05	0.05	0.05	0.05
Κόστος δικαιωμάτων ρύπων	[€/tco <sub>2</sub> ]	5	5	5	<b>0</b>
Κόστος ΑΗΣ	[€/MWh]	30	20	20	20
Κόστος εμπλουτισμού	[€/m <sup>3</sup> <sub>lig</sub> ]	-	8	8	<b>4</b>
Κόστος ισοδύναμης επιφάνειας	[€/m <sup>2</sup> <sub>e</sub> ]	10	17.4	17.4	<b>5</b>
Αποσβέσεις	[€/m <sup>3</sup> <sub>e</sub> ]	0.15	0.15	0.15	0.15
Άλλες δαπάνες	[€/m <sup>3</sup> <sub>e</sub> ]	0.15	0.325	0.325	0.15
Ποσοστό κέρδους (ΕΑΚ)	[%]	2.5	2.5	2.5	2.5
Τιμή πώλησης ΗΕ	[€/MWh]	55	50	50	<b>120</b>
Κόστος ανάμιξης	[€/m <sup>3</sup> <sub>lig</sub> ]	-	-	-	-
Κόστος ομογενοποίησης	[€/m <sup>3</sup> <sub>lig</sub> ]	-	-	-	-
ΚΠΑ	[G€]	-	-0.0096	0.7	40.3
Κύκλος εργασιών	[G€]	-	0.5	1.3	40.5
Εκσκαφές	[Gm <sup>3</sup> ]	-	1.1	1.9	6.3
Απόλυτο υψόμετρο πυθμένα	[m]	-	493	495	272
Επιφανειακή έκταση ορυχείου	[km <sup>2</sup> ]	-	40	42	60
Αποθέματα λιγνίτη *	[Mm <sup>3</sup> ]	-	80	130	730
Κόστος εκμετάλλευσης λιγνίτη*	[€/m <sup>3</sup> <sub>lig</sub> ]	-	12.5	20	110

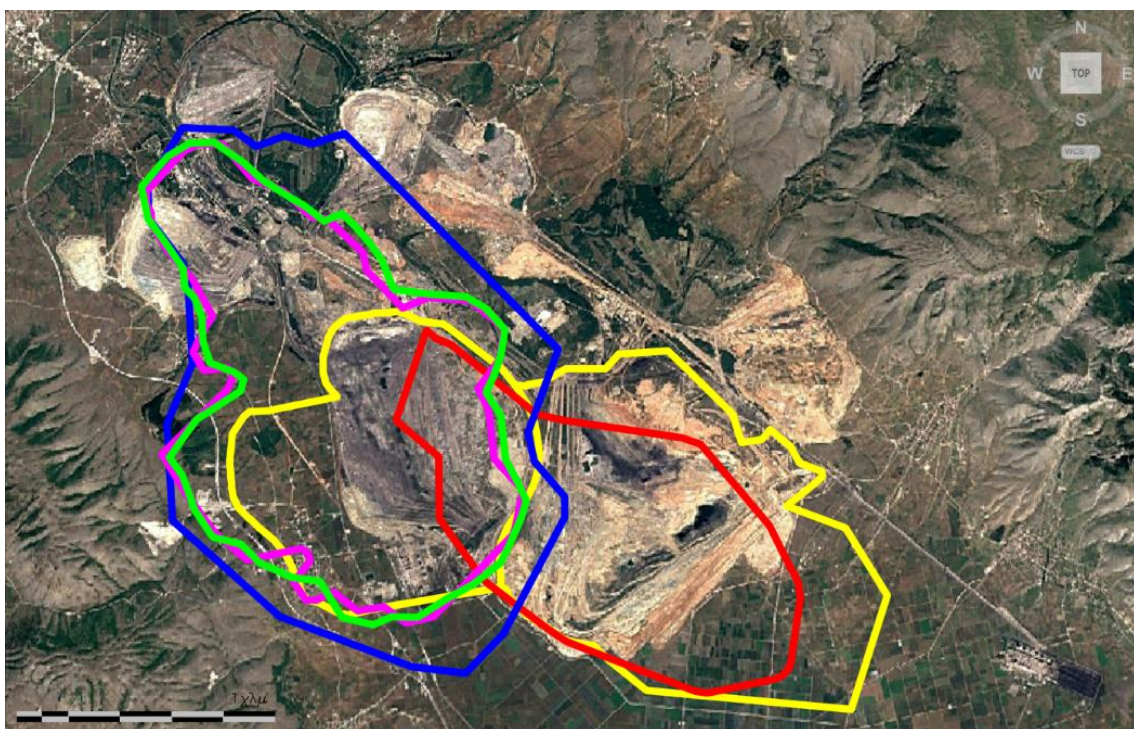
\*Το ελάχιστο πάχος εξόρυξης λιγνίτη και το πάχος στείρου διακοπής εισήχθησαν για τυπικούς λόγους. Πλέον το κόστος εξόρυξης υπολογίζεται σαν παράμετρος της παραγωγικότητας εργασίας και της παραγωγικότητας του εξοπλισμού. Συνεπώς τόσο λεπτά στρώματα είναι αδύνατο να είναι εκλεκτικά απολήψιμα με αυτό το μέγεθος ΕΚ και τις υπόλοιπες παραμέτρους του πίνακα.

Η ειδική κατανάλωση εξοπλισμού αναφέρεται μόνο στο σύστημα εξόρυξης και αποκομιδής. Η αρχική και τελική γωνία των τομοταινιών εισάγονται ώστε να υπολογιστεί η γωνιακή ταχύτητα των τομοταινιών και τελικά η ΚΠΑ. Η παραγωγικότητα εργασίας αναφέρεται στην εργασία ενός ατόμου για ένα μήνα και ένα 8ωρο, περιλαμβάνει το σύνολο του χρόνου παραγωγικού και μη παραγωγικού (αργίες, ρεπό, αναρρωτικές άδειες κτλ.).

Τα αποθέματα λιγνίτη και το κόστος εξόρυξης λιγνίτη δεν εξάγονται από την μεθοδολογία αλλά εκτιμούνται θεωρώντας την ΠΑ διπλάσια της ΚΠΑ (1.025<sup>30</sup>) και για τυπικές ειδικές καταναλώσεις του ΑΗΣ για κάθε περίπτωση.



Σχήμα 4.5: Δορυφορική απεικόνιση και χάρτης θέσεων γεωτρήσεων.



Σχήμα 4.6: Διάφορα όρια ορυχείων αποτυπωμένα στη δορυφορική εικόνα. Ορυχείο Καρδιάς (κίτρινο, αριστερά), ορυχείο Νοτίου Πεδίου (κίτρινο, δεξιά), σχεδιασμός του ορυχείου Νοτίου Πεδίου το 1970 (κόκκινο), πρώτη δεύτερη και τρίτη περίπτωση (ανοιχτό ιώδες, πράσινο και μπλε).

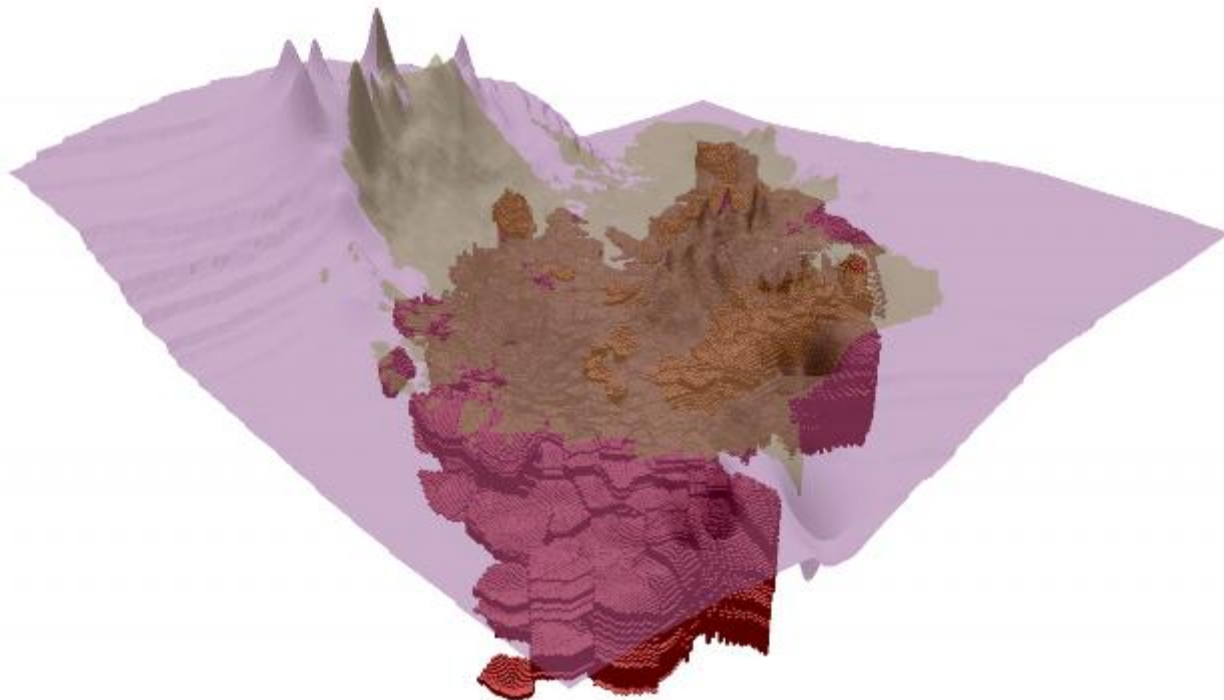
Στο Σχήμα 4.7, στο Σχήμα 4.8 και στο Σχήμα 4.9 φαίνονται προοπτικές απόψεις (ΝΑ) των τριών περιπτώσεων. Τα χρώματα της εκάστοτε τοπογραφικής επιφάνειας ταυτίζονται με αυτά του Σχήματος 4.6. Με σκούρο χρώμα πάνω στη τοπογραφική επιφάνεια έχει σχεδιαστεί η επιφάνεια που θα καταλαμβάνει το ορυχείο βάσει των υπολογισμών. Επίσης με κόκκινο χρώμα έχουν σχεδιαστεί τα στοιχεία μεταλλεύματος του μεταλλευτικού ομοιώματος. Τα στοιχεία που υπόκεινται της επιφάνειας που θα καταλαμβάνει το ορυχείο και έχουν πιο έντονο χρώμα είναι τα εκμεταλλεύσιμα.

Η κατακόρυφη κλίμακα είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτή στο επίπεδο. Δηλαδή αντί 700 m το ύψος είναι 7 km, για τον λόγο αυτό φαίνονται τόσο έντονα μεταβαλλόμενο το τοπογραφικό ανάγλυφο. Επίσης εμφανίζονται τοπικά βυθίσματα και εξάρματα τα οποία σχετίζονται με τα γεωτρητικά δεδομένα αλλά και αλγόριθμους βελτιστοποίησης του λογισμικού που δεν είναι τροποποιήσιμοι.

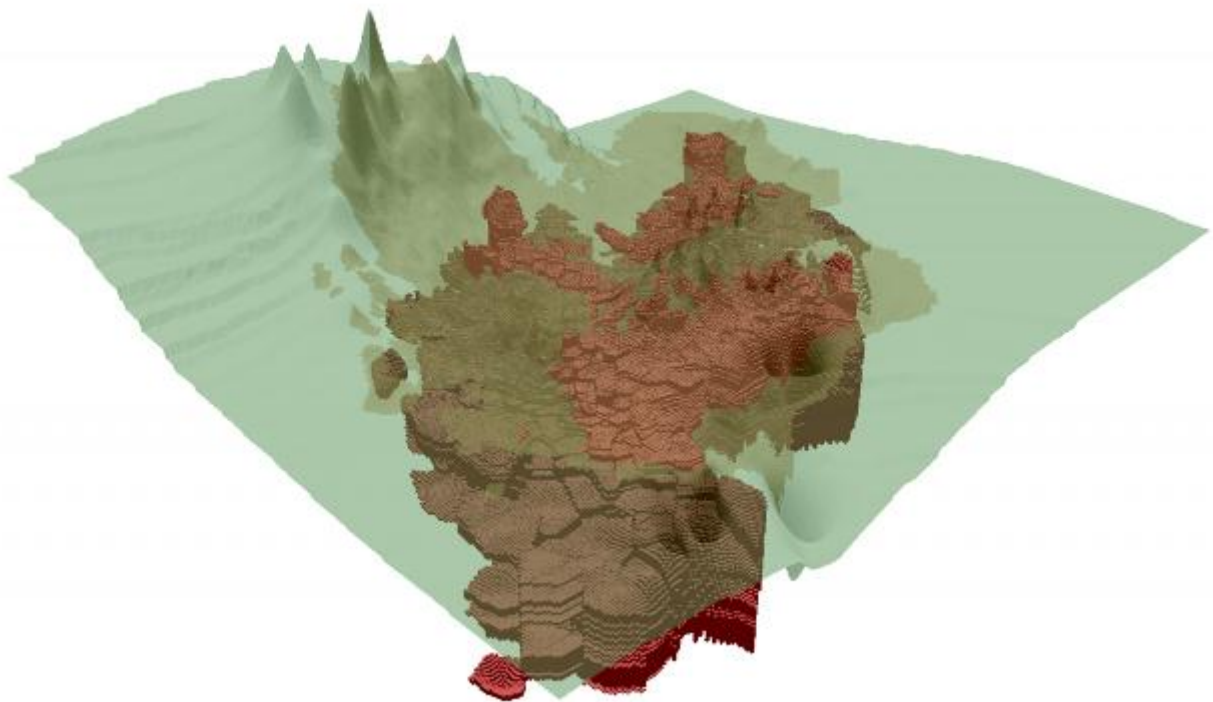
Πολλές γεωτρήσεις γίνονται κατά την φάση της εκμετάλλευσης προκειμένου να προσδιοριστούν με ακρίβεια κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά. Αυτές γίνονται στις τομές του ορυχείου που προδήλως βρίσκονται σε χαμηλότερο υψόμετρο από αυτό που είχαν πραγματοποιηθεί οι ερευνητικές γεωτρήσεις. Τελικά όταν εισάγονται στο ομοίωμα δημιουργούνται αυτά τα βυθίσματα.

Τα εξάρματα εμφανίζονται σε δύο περιοχές των αποθέσεων Καρδιάς και του Ασκίου όρους. Στην πρώτη περίπτωση οφείλονται στο ότι ορισμένες γεωτρήσεις έγιναν πριν την απόθεση και ορισμένες μετά με αποτέλεσμα να δημιουργείται αυτό το ανάγλυφο. Στη δεύτερη περίπτωση για να προσομοιωθεί το Άσκιο όρος εισήχθηκε μικρός αριθμός περιμετρικών γεωτρήσεων με αποτέλεσμα να μην αποτυπώνεται με πολύ μεγάλη ακρίβεια ο όγκος του και να δημιουργούνται τοπικά μέγιστα τα οποία είναι ηπιότερα στην φυσική κλίμακα.

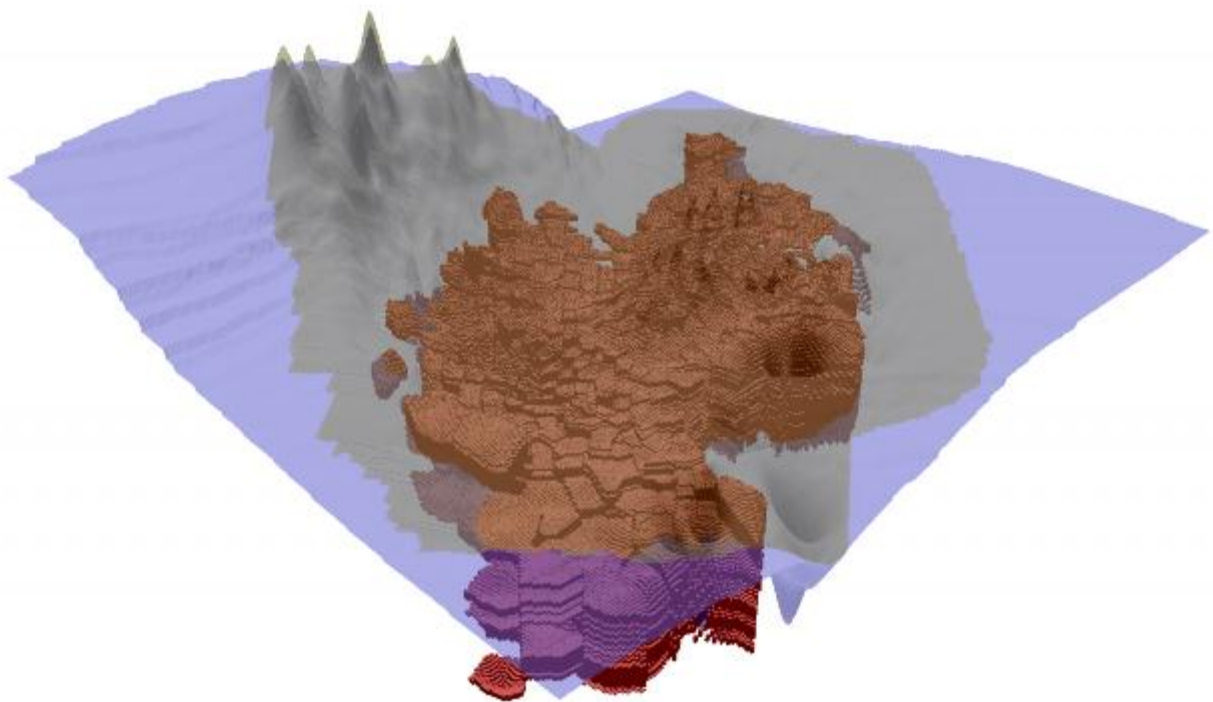
Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια των ορυχείων στις διάφορες περιπτώσεις εμφανίζονται εντός εν λειτουργία ορυχείων (Σχήμα 4.6). Αυτό συμβαίνει διότι τα γεωτρητικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν μόνο μία περιορισμένη περιοχή της λιγνιτοφόρου λεκάνης και επομένως ένα ορυχείο. Δεν αναλύθηκε το σύνολο των ορυχείων σαν ένα σύστημα ούτε λήφθηκε υπόψιν η υπάρχουσα τάφρος από το εν λειτουργία ορυχείο πεδίου Καρδιάς. Συνεπώς τα πραγματικά όρια του ορυχείου θα περιορίζονται και από τα όρια των υπάρχοντων ορυχείων.



Σχήμα 4.7: Όρια κοιτάσματος Νοτιοδυτικού πεδίου για την περίπτωση 01.



Σχήμα 4.8: Όρια κοιτάσματος Νοτιοδυτικού πεδίου για την περίπτωση 02.



Σχήμα 4.9: Όρια κοιτάσματος Νοτιοδυτικού πεδίου για την περίπτωση 03.

## Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα και προτάσεις

Δημιουργείται για πρώτη φορά ένα χωροχρονικό ομοίωμα ενός πολυστρωματικού λιγνιτικού κοιτάσματος με αναλυτικά οικονομικά στοιχεία. Είναι πλέον δυνατόν να καθοριστούν τα όρια στο χώρο και όχι μόνο στο επίπεδο δηλαδή, μεταξύ άλλων, να βρεθεί πιο είναι το μέγιστο βάθος εκσκαφής. Το ομοίωμα αυτό είναι ψευδο-τετρασδιάστατο υπό την έννοια ότι υπολογίζεται η ΚΠΑ και άρα μπορεί να εξεταστούν ενδελεχώς διαφορετικές επενδυτικές επιλογές.

Μία καινοτομία της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε είναι η χρήση αναλυτικών κοστολογικών δεδομένων για τον προσδιορισμό ενός στρώματος ως εκμεταλλεύσιμου ή όχι. Δηλαδή το κόστος και το κέρδος δεν προσδιορίζονται από μία τιμή αλλά από τις συνιστώσες τις όπως η παραγωγικότητα εργασίας κ.α. Υπάρχει έτσι η δυνατότητα αξιολόγησης του συνόλου του ενεργειακού περιεχομένου ενός κοιτάσματος και όχι μόνο αυτού που έχει χαρακτηριστεί ως γεωλογικός λιγνίτης. Αυτό επεκτείνεται και σε άλλες παραμέτρους όπως της οικονομικής αξιολόγησης των σκληρών οριζόντων, το κόστος ή την ωφέλεια από την περαιτέρω ιδιωτικοποίηση ή κρατικοποίηση κτλ.

Επίσης είναι ιδιαίτερα σημαντική η δυνατότητα της μεθοδολογίας να συμπεριλάβει στην εξεταζόμενη εκμετάλλευση και μεθόδους ορυκτουργίας που είναι τεχνικά εφαρμόσιμες. Πλέον είναι δυνατόν να υπολογιστεί ακριβώς ο όγκος των εκσκαφών που δύναται να εμπλουτιστούν αλλά και η βέλτιστη διάταξη του ΕΚ σε συνδυασμό με την μετάθεση των τομοταινιών ώστε να υπάρξει η καλύτερη ανάκτηση του κοιτάσματος.

Πυρήνας της εργασίας και ειδοποιός διαφορά από τις υπάρχουσες είναι η ακριβής απεικόνιση όλων των στρωμάτων και των χαρακτηριστικών τους ανεξαρτήτως σχηματισμού. Αυτό επιτεύχθηκε μέσα από την διαφορική διαμέριση και την βαθμωτή παρεμβολή. Διατηρήθηκε με αυτόν τον τρόπο η αξία όλων των στρωμάτων και προσομοιώθηκε ένα πολυστρωματικό λιγνιτικό κοίτασμα με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Η μέθοδος επαληθεύτηκε σε ένα υποθετικό κοίτασμα με διαφορετικούς τρόπους και σε πραγματικά γεωτρητικά δεδομένα. Συνεπώς είναι εφαρμόσιμη σε όλα τα πολυστρωματικά κοιτάσματα που έχουν τα χαρακτηριστικά των ελληνικών κοιτασμάτων.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι συνολικές εκσκαφές με το σχεδιαστικό λογισμικό υπολογίστηκαν σε 262 Mm<sup>3</sup> και η αξία του κοιτάσματος σε 393 Μ€. Με το λογισμικό Carlson η καλύτερη περίπτωση ήταν η δεύτερη με 242 Mm<sup>3</sup> και 311 Μ€ το οποίο όμως δεν μπορεί να αποτελέσει πραγματικό ορυχείο αφού περιλαμβάνει δύο βαθμίδες των 150 m. Στις περιπτώσεις 15, 16, 17 υπολογίστηκαν πολύ καλά τα όρια μόνο με μία πολύ υψηλή τιμή του λιγνίτη. Αντίθετα οι μέθοδοι LG 2D και Korobon με το λογισμικό UPL υπολόγισαν πολύ καλά τα όρια με τις εκσκαφές να είναι 242 Mm<sup>3</sup> και 248 Mm<sup>3</sup> και την αξία του κοιτάσματος 424 Μ€ και 411 Μ€ αντίστοιχα.

Ενδιαφέρουσα είναι η αποκλίνουσα από την αναμενόμενη συμπεριφορά του λογισμικού Carlson κατά την αλλαγή του μεγέθους του στοιχείου (block or support size effect). Η οποία δεν θα έπρεπε να εμφανίζεται με ομοιώματα οικονομικών αξιών παρά μόνο περιεκτικότητας μεταλλεύματος.

Στο πραγματικό κοίτασμα αν και τα αποτελέσματα είναι ρεαλιστικά δεν είναι εφικτό να γίνει άμεση σύγκριση με τους υπολογισμούς της ΔΕΗ. Αυτό συμβαίνει διότι θα πρέπει να δημιουργηθούν πολλές περιπτώσεις με διαφορετικές παραμέτρους και κυρίως ίδια γεωτρητικά αρχεία το οποίο στα πλαίσια της εργασίας δεν ήταν δυνατόν.

Διαπιστώνεται ακόμα ότι κριτήρια κερδοφορίας όπως η ΚΠΑ και το ΕΑΚ δεν είναι επαρκή καθώς «κρύβουν» το μέγεθος της συνολικής επένδυσης και δεν είναι δυνατόν να συγκριθούν διαφορετικές ενεργειακές επενδύσεις. Τούτο συμβαίνει διότι το ίδιο ορυχείο μπορεί να παρουσιάζει σχεδόν ίδιο κέρδος κάτω από διαφορετική μάζα αποθεμάτων. Υπάρχουν πολλές βέλτιστες λύσεις ανάλογα με το ποιος είναι ο στόχος. Οι λύσεις αυτές μεταξύ τους ενδέχεται να είναι αντικρουόμενες για τον λόγο αυτό το σύστημα πρέπει να βελτιστοποιηθεί ως προς όλες τις γνωστές μεταβλητές ώστε να διατυπώνονται ξεκάθαρα οι επενδυτικές δυνατότητες με σκοπό να ληφθεί η απόφαση που θα ικανοποιεί τα περισσότερα εμπλεκόμενα μέρη.

Καταδεικνύεται ότι η πτώση παραγωγής του λιγνίτη οφείλεται στα χαμηλά επενδυμένα κεφάλαια και όχι στη χαμηλή παραγωγή λιγνίτη. Το γεγονός ότι μειώνεται η παραγωγή και συνεπώς επαυξάνεται το μοναδιαίο κόστος είναι επιφανινόμενο και όχι η αιτία της αύξησης του κόστους. Η ιδιαιτερότητα του ελληνικού λιγνίτη είναι η αιτία της σημερινής πτώσης παραγωγής του λιγνίτη.

Στοιχειοθετείται ότι οι περιορισμοί πρόσληψης προσωπικού, δημιουργίας νέων μονάδων κτλ. από τους Ευρωπαϊκούς θεσμούς μειώνουν τα αποθέματα, αυξάνουν του ρύπους και τελικά οδηγούν στην ληστική εκμετάλλευση του λιγνίτη από οποιονδήποτε επιχειρήσει να τα αξιοποιήσει. Παράγεται δηλαδή λι-

γότερη ενέργεια με περισσότερο λιγνίτη κάτι που είναι αντίθετο με τους στόχους της ΕΕ για την αποδοτικότητα των πόρων και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Βασικό πλεονέκτημα των επενδύσεων σε λιγνιτωρυχεία είναι ότι δημιουργούν θέσεις εργασίας και όχι κέρδος στον επενδυτή το οποίο θα πρέπει να επανατοποθετηθεί.

### **Προτάσεις**

- Ανάπτυξη ολοκληρωμένου λογισμικού με βάση την νέα μεθοδολογία. Με τον τρόπο αυτό θα επιτευχθούν ταχύτεροι υπολογισμοί και θα αυτοματοποιηθεί η διαδικασία.
- Εισαγωγή και άλλων στοιχείων κόστους όπως η συγκολλητικότητα, ο χρόνος επιβραχύνσεων των ταινιοδρόμων κτλ.
- Εισαγωγή της ομογενοποίησης από διαφορετικά σημεία ταυτόχρονα και βελτιστοποίηση πολλών ορυχείων.
- Δημιουργία λεπτομερέστερου πρώτου ομοιώματος με ακρίβεια τουλάχιστον 0.01m.
- Εφαρμογή άλλων μεθόδων παρεμβολής.
- Αξιολόγηση της ιδιότητας της ΚΘΙ ή των αποθεμάτων με την μέθοδο βαρών αντιστρόφων αποστάσεων και krigging απλοποιώντας το τρισδιάστατο μοντέλο σε διδιάστατο και εισάγοντας σαν τάση τις υπόλοιπες παραμέτρους.
- Δημιουργία νέας μεθόδου αξιολόγησης που θα έχει μεγαλύτερη ευελιξία στο καθορισμό του αποδεκτού κέρδους ή τροποποίηση υπάρχουσας.
- Διερεύνηση του παράδοξου φαινομένου που εμφανίστηκε στον αλγόριθμο LG του λογισμικού Carlson.
- Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε άλλου τύπου κοιτάσματα.
- Δημιουργία ομοιωμάτων τις κάθε ιδιότητας ξεχωριστά. Με αυτό τον τρόπο μέσω αυτής της νέας μεθοδολογίας είναι δυνατόν να προσδιοριστούν μεταξύ άλλων ο ακριβής αριθμός των θέσεων εργασίας, η αξία, το μέγεθος του εξοπλισμού κτλ.
- Συμβολαιοποίηση της παραγωγής λιγνίτη, αναγνώριση της συμβολής του στην εγχώρια οικονομία κατά την σήμανση της ΗΕ και επέκταση των μεθόδων ορυκτουργίας, προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητα του πόρου (λιγνίτη).

- Antoniadis, P., Mavridou, E., Papazisimou, S., Christanis, K., Gentzis, T., 2006. Petrographic Characteristics of the Kardia Lignites (Core KT6A-3), Ptolemais Basin (Greece). *Energy Sources Part Recovery Util. Environ. Eff.* 28, 373–388. doi:10.1080/009083190965118
- Carlson, 2011. Carlson manual.
- Chapra, S., Canale, R., 2014. Αριθμητικές μέθοδοι για Μηχανικούς. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Durst, W., Vogt, W., 1988. Bucket wheel excavator / W. Durst, W. Vogt. - Version details [WWW Document]. Trove. URL <http://trove.nla.gov.au/version/22614770> (accessed 3.12.17).
- Galetakis, M., Roumpos, C., 2011. Stochastic investigation of exploitation parameters to the mining cost at lignite mines of Greece.
- Galetakis, M., Vamvuka, D., 2009. Lignite quality uncertainty estimation for the assessment of CO<sub>2</sub> emissions 23, 2103–2110.
- Galetakis, M., Vasiliou, A., 2010. Selective mining of multiple-layer lignite deposits. A fuzzy approach. *Expert Syst. Appl.* 37, 4266–4275. doi:10.1016/j.eswa.2009.11.075
- Hustrulid, W.A., Kuchta, M., 2006. Open Pit Mine Planning and Design, Two Volume Set, Second Edition. CRC Press.
- Kalaitzidis, S., Bouzinos, A., Papazisimou, S., Christanis, K., 2004. A short-term establishment of forest fen habitat during Pliocene lignite formation in the Ptolemais Basin, NW Macedonia, Greece. *Int. J. Coal Geol.* 57, 243–263. doi:10.1016/j.coal.2003.12.002
- Kapageridis, I., Kolovos, C., 2009. Modelling and Resource Estimation of a Thin-Layered Lignite Deposit.
- Kloosterboer-van Hoeve, M.L., Steenbrink, J., Brinkhuis, H., 2001. A short-term cooling event, 4.205 million years ago, in the Ptolemais Basin, northern Greece. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 173, 61–73. doi:10.1016/S0031-0182(01)00314-5
- Kolovos, N., Georgakopoulos, A., 2002. Environmental effects of lignite and intermediate steriles coexcavation in the Southern lignite Field Mine of Ptolemais, Northern Greece. *Energy Sources Part -Recovery Util. Environ. Eff.* 24, 561–573.
- Leontidis, M., Roumpos, C., Dadswell, J., 2001. Planning problems posed by unusual geological sequences and explore a possible solution [A question of geology].
- Mastoris, J., 1994. An application of 3-D modeling and optimization of the final pit limits for a lignite deposit (Master thesis). Virginia Tech.
- Modis, K., Papantonopoulos, G., Roumpos, C., 2006. Determination of the optimum sampling density for a multi-seam lignite deposit.
- Pavlidis, A., Hristopulos, D., Agioutantis, Z., Kavouridis, K., Roumpos, C., 2008. Comparison of lignite reserves estimates in the multilayer deposit of the Amyndeio mine.
- Pavlidis, A., 2016. Development of new geostatistical methods for spatial analysis and applications in reserves estimation and quality characteristics of coal deposits - Ιδρυματικό Αποθετήριο [WWW Document]. URL <http://dias.library.tuc.gr/view/66731> (accessed 3.12.17).
- Sattarvand, J., 2009. Long-Term Open-Pit Planning by Ant Colony Optimization (Doctoral thesis). RWTH Aachen University.
- Schubert, T., 2016. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe - Energy resources - Energy Study 2015. Reserves, Resources and Availability of Energy Resources. BGR.
- Skenderidis, Eleftheriou, Kavouridis, K., Nikolakakos, Davakos, Leontidis, M., Pagonis, Roumpos, C., Bakopoulos, Matz, 1996. Thechical Mine Master Plan for PPC s LCPA and LCM. ΔΕΗ & Rheinbraun.
- Steenbrink, J., Kloosterboer-van Hoeve, M.L., Hilgen, F.J., 2003. Millennial-scale climate variations recorded in Early Pliocene colour reflectance time series from the lacustrine Ptolemais Basin (NW Greece). *Glob. Planet. Change* 36, 47–75. doi:10.1016/S0921-8181(02)00163-7

- Steenbrink, J., Vugt, N. van, Hilgen, F.J., Wijbrans, J.R., Meulenkamp, J.E., 2001. Sedimentary cycles and volcanic ash beds in the Lower Pliocene lacustrine succession of Ptolemais (NW Greece): discrepancy between 40 Ar/39 Ar and astronomical ages. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 152, 283–303.
- Taha, H.A., 2014. Εισαγωγή στην επιχειρησιακή έρευνα. Εκδόσεις Τζιόλα.
- upatras, 2017. <http://lithos.geology.upatras.gr/epy/lignitis.htm> [WWW Document]. URL <http://lithos.geology.upatras.gr/epy/lignitis.htm> (accessed 3.14.17).
- USGS, 2016. EarthExplorer [WWW Document]. URL <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 3.17.17).
- Vamvuka, D., Galetakis, M., 2010. Carbon Dioxide Emissions from Coal-Fired Power Plants in Greece in Relation to Mined Lignite Quality. *Energy Amp Fuels* 24, 1396–1401.
- Velitzelos, E., Gregor, H.J., 1990. Some aspects of the Neogene floral history in Greece [WWW Document]. URL <http://geoscienceworld.org/georef/1990-032543> (accessed 3.12.17).
- Vugt, N. van, 2000. Orbital forcing in Late Neogene lacustrine basins from the Mediterranean: a magnetostratigraphic and cyclostratigraphic study = Astronomische forcing in Laat Neogene lacustrine bekkens uit het Middellandse Zeegebied. Univ., Fac. Aardwetenschappen, Utrecht.
- Vugt, N. van, Langereis, C.G., Hilgen, F.J., 2002. Orbital forcing in Pliocene-Pleistocene Mediterranean lacustrine deposits: dominant expression of eccentricity versus precession. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 172, 193–205.
- Vugt, N. van, Steenbrink, J., Langereis, C.G., Hilgen, F.J., Meulenkamp, J.E., 1998. Magnetostratigraphy-based astronomical tuning of the early Pliocene lacustrine sediments of Ptolemais (NW Greece) and bed-to-bed correlation with the marine record. *Earth Planet. Sci. Lett.* 164, 535–551. doi:10.1016/S0012-821X(98)00236-2
- ΑΔΜΗΕ, 2017. Μηνιαία δελτία ενέργειας 2004-2016.
- Ακρίβης, Γ., Δουγάλης, Β., 2010. Εισαγωγή στην αριθμητική ανάλυση. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.
- Ακύλας, Ν., 2003. Μελέτη και διερεύνηση των ειδικών παραμέτρων που υπεισέρχονται κατά τη σχεδίαση της εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων. Εφαρμογή στο κοίτασμα Δομένικου - Ελασσόνας (Διδακτορική διατριβή). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.
- Αναστόπουλος, Ι., Κούκουζας, Κ., Faugeres, L., 1980. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας 1:50000 - Φύλλο ΚΟΖΑΝΗ.
- Γαλετάκης, Μ., 2012. Σχεδίαση Εκμεταλλεύσεων Ορυκτών Πόρων με Ηλεκτρονικό Υπολογιστή - Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Γαλετάκης, Μ., 1996. Προσδιορισμός της ποιότητας λιγνίτη που εξορύσσεται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά κοιτάσματα (Διδακτορική διατριβή). Πολυτεχνείο Κρήτης. Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Γαλετάκης, Μ., Παπανικολάου, Κ., 2004. Ανάπτυξη μεθόδου υπολογισμού της επίδρασης των ενδιάμεσων άγονων στρωμάτων στην ποιότητα του λιγνίτη που εξορύσσεται από πολυστρωματικά κοιτάσματα. *Δελτίον Της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας* 36, 274–282.
- ΓΔΕΕ, 2009. Απόφαση του Ευρωπαϊκού δικαστηρίου για την υπόθεση COMP/B-1/38.700.
- Γιαννακοπούλου, Σ., 2008. Διερεύνηση της επίδρασης των περιορισμών για τις εκπομπές CO2 στην εκμεταλλευσιμότητα των Ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων (Διπλωματική εργασία). Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- ΔΕΗ, 2014. Ετήσιες οικονομικές εκθέσεις 2004-2014.
- Δεληγιώργης, Β., 2014. Οικονομοτεχνική μελέτη εργοστασίου εμπλουτισμού λιγνίτη για το μάθημα σχεδιασμός εργοστασίων εμπλουτισμού.
- Δεληγιώργης, Β., 2013. Εργασία πρακτικής άσκησης : Διερεύνηση απόκλισης προβλεπόμενης και επιτεύξιμης παραγωγής λιγνίτη λιγνιτωρυχείου Καρδιάς.
- Δημητρίου, 2008. Γεωτρητική έρευνα ΝΔ Πεδίου και Τομέα “Κ” λεκάνης Πτολεμαΐδας.

- Διαμαντόπουλος, Α., 2004. Τεκτονική δομή και πλειο τεταρτογενής παραμόρφωση της Δυτικής περιθωριακής ζώνης του βυθίσματος Πτολεμαΐδας-Κοζάνης (Δυτική Μακεδονία, Βόρεια Ελλάδα) (Διπλωματική εργασία). ΕΚΠΑ.
- ΕΛΣΤΑΤ, 2017a. Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν κατά περιφέρεια και νομό 2000-2014.
- ΕΛΣΤΑΤ, 2017b. Κατά κεφαλή ακαθάριστο εγχώριο προϊόν κατά περιφέρεια και νομό 2000-2016.
- ΕΛΣΤΑΤ, 2017c. Ακαθάριστη προστιθέμενη αξία κατά κλάδο (Α10) - NACE REV.2 2000-2014.
- ΕΛΣΤΑΤ, 2017d. Απασχόληση κατά κλάδο και νομό 2000-2014.
- ΕΛΣΤΑΤ, 2016. Απασχόληση κατά κλάδο 1995-2015.
- ΕΛΣΤΑΤ, 2015. Εισαγωγές - αφίξεις, εξαγωγές-αποστολές κατά χώρα και τετραψήφιο επίπεδο διεθνούς ταξινόμησης συνδυασμένης ονοματολογίας (CH4) 2000-2015.
- ΕΛΣΤΑΤ, 1993. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, κατά μεγάλη γεωγραφική περιοχή, περιφέρεια, νομό και κατα κατηγορία χρήσης (1993-2012).
- Καβουρίδης, Κ., 1981. Προκαταρκτική μελέτη για την δυνατότητα ανακτήσεως του λιγνίτη από ενδιάμεσα στείρα που περιέχουν λιγνίτη από καθαρισμό λιγνιτικών στρωμάτων ή από λεπτές ενστρώσεις αυτού με βαρυτομετρική ανάλυση.
- Κακοτρίχη, Π.Γ., 2011. Δημιουργία του γεωλογικού μοντέλου στην περιοχή του Νοτιοδυτικού Πεδίου του Λ.Κ.Δ.Μ. (Διπλωματική εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.
- Καραμαλίκης, Ν.Α., 1992. Μοντελοποίηση λιγνιτικών κοιτασμάτων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή = Computer software for the development and application of lignite seam models. Ορυκτός Πλούτος 1992, 39–50.
- Κεφάλας, Σ., Διαμαντή - Ξηροπούλου, Ι., 1987. Γεωλογική-κοιτασματολογική έρευνα περιοχής Διαβολορέματος-Μαυροπηγής - Ποντοκόμης (Δυτικό Πεδίο) λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας. ΔΕΗ-ΔΛΕ.
- Κιτσικόπουλος, Χ., Τσακαρισιάνος, Α., 1999. Δοκιμές και μελέτη εμπλουτισμού λιγνίτη Τομέα 6.
- Κοζάνης, Σ., 2006. Βιβλιοθήκη γεωδαιτικών μετατροπών συντεταγμένων [WWW Document]. URL <http://users.itia.ntua.gr/soulman/icoordstrans/> (accessed 3.14.17).
- ΛΑΓΗΕ, 2017. Μηνιαίο δελτίο ειδικού λογαριασμού ΑΠΕ και ΣΥΘΗΑ.
- Μέβοραχ, Ρ., Φυντικάκης, Π., 1993. Δημιουργία μοντέλου για τον υπολογισμό της αραίωσης και των απωλειών λιγνίτη κατά την εκλεκτική εξόρυξη. Μεταλλειολογικά Και Μεταλλευτικά Χρονικά 3.
- Μενεγάκη, Μ., 2010. Σχεδιασμός υπαίθριων εκμεταλλεύσεων - Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μόδης, Κ., 2010. Εισαγωγή στη Γεωστατιστική - Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μπάρμπας, Τ., 2013. Αποτύπωση μετώπου ορυχείου Καρδιάς.
- Μπατάλας, Σ., 2011. Υπολογισμός αποθεμάτων και σχεδιασμός εκμετάλλευσης σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος (Διπλωματική εργασία).
- Οικονόμου, Γ., 2012. Μοντελοποίηση και υπολογισμός αποθεμάτων του λιγνιτικού κοιτάσματος Λακκιάς Δ. Μακεδονίας (Διπλωματική εργασία). Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Παπαγεωργίου, Χ., Κουτσιαδής, Ν., Βασδάρης, Θ., Κολοβός, Χ., 2010. Ορυχείο Νοτιοδυτικού Πεδίου - Αναθεώρηση μελέτης εκμετάλλευσης με την προϋπόθεση απομάκρυνσης του Δ.Δ. Ποντοκόμης. ΔΕΗ-ΓΔΟΡ.
- Παυλίδης, Α., 2008. Σύγκριση μεθόδων υπολογισμού αποθεμάτων λιγνίτη στο ορυχείο του Αμύνταιου και ανάπτυξη δείκτη εκμεταλλευσιμότητας (Μεταπτυχιακή εργασία). Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Παυλουδάκης, Φ., 2001. Ανάπτυξη συστήματος αυτοματοποιημένου ποιοτικού ελέγχου και ομογενοποίησης του λιγνίτη σε πολυστρωματικά κοιτάσματα (Διδακτορική διατριβή). Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

- Ρούμπος, Χ., 2010. Επικαιροποιημένη τεχνική μελέτη για την εκμετάλλευση των λιγνιτωρυχείων Πτολεμαΐδας της ΔΕΗ Α.Ε. ΔΕΗ-ΔΜΑΟΡ.
- Ρούμπος, Χ., 2004. Σύστημα λήψης αποφάσεων για την εκμεταλλευσιμότητα κοιτασμάτων (Διδακτορική διατριβή). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Τομέας Μεταλλευτικής.
- Ρούμπος, Χ., Παυλουδάκης, Φ., 2010. Σχεδιασμός υπαίθριων εκμεταλλεύσεων-Λιγνιτωρυχεία - Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Σαμιώτης, Ε., 2012. Μοντελοποίηση και υπολογισμός αποθεμάτων του λιγνιτικού κοιτάσματος Κομνηνών (Διπλωματική εργασία). Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Τσιμπούκας, Γ., 1998. Δοκιμή εμπλουτισμού λιγνίτη ορυχείου Τομέα 6 στις εγκαταστάσεις λιγνιτωρυχείων Αχλάδας.
- Τσουτρέλης, Χ., 1983. Υπαίθριοι εκμεταλλεύσεις. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Φραγκίσκος, Α.Ζ., Ζαφειριάδης, Κ., Φαρχούντ, Ν., 1986. Μελέτη πάνω στη δυνατότητα ανάκτησης λιγνίτη από τα “ενδιάμεσα στείρα” της Πτολεμαΐδας (Δοκιμές ημιβιομηχανικής κλίμακας).
- Φραγκίσκος, Α.Ζ., Πλέσσα, Ι., 1985. Μελέτη επί της δυνατότητας ανάκτησης του λιγνίτη από τα ενδιάμεσα στείρα.
- Φραντζόπουλος, Δ., 2011. Έκθεση ορυχείου Πεδίου Καρδιάς. ΔΕΗ-ΟΠΚ.
- Χριστόπουλος, Δ.Θ., 2014. Εφαρμοσμένη γεωστατιστική - Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Πολυτεχνείο Κρήτης.

## Παράρτημα Α: Αναπτυχθέντες κώδικες σε C και VBA Excel για τις ανάγκες της μεθοδολογίας

Ο αλγόριθμος δέχεται σαν παραμέτρους εισόδου τον αριθμό των πλεγμάτων (grids), των βαθμίδων (benchs) και την ονομασία του αρχείου .blk που έχουν τα πλέγματα. Δημιουργεί δύο αρχεία, ένα με τον κώδικα που είναι αναγνώσιμος από τις μακροεντολές του Carlson (.gfu) και το αρχείο (.blk) που οργανώνει τα πλέγματα (grids) σε ένα τρισδιάστατο χωρικό ομοίωμα. Ακολουθεί το αποτέλεσμα του αλγόριθμου ενός ομοιώματος (12) με είκοσι πλέγματα (grids) από τα οποία θα αποτελούνται οι δύο βαθμίδες ενός ορυχείου.

Οι μακροεντολές του Carlson θα ανοίξουν τα δέκα αρχεία (.grd) και θα τα αποθηκεύσουν στη μνήμη (RAM) του υπολογιστή. Αυτό γίνεται με τις πρώτες σαράντα γραμμές του κώδικα, στις δύο επόμενες αθροίζονται ανά δέκα τα πλέγματα και αποθηκεύονται στις μεταβλητές A0 και A1. Στις δύο τελευταίες γραμμές οι μεταβλητές αυτές αποθηκεύονται σαν πλέγματα (.grd) στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή.

```
Release (PROFIT0)
PROFIT0=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT0.grd)
Release (PROFIT1)
PROFIT1=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT1.grd)
Release (PROFIT2)
PROFIT2=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT2.grd)
Release (PROFIT3)
PROFIT3=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT3.grd)
Release (PROFIT4)
PROFIT4=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT4.grd)
Release (PROFIT5)
PROFIT5=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT5.grd)
Release (PROFIT6)
PROFIT6=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT6.grd)
Release (PROFIT7)
PROFIT7=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT7.grd)
Release (PROFIT8)
PROFIT8=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT8.grd)
Release (PROFIT9)
PROFIT9=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT9.grd)
Release (PROFIT10)
PROFIT10=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT10.grd)
Release (PROFIT11)
PROFIT11=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT11.grd)
Release (PROFIT12)
PROFIT12=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT12.grd)
Release (PROFIT13)
PROFIT13=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT13.grd)
Release (PROFIT14)
PROFIT14=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT14.grd)
Release (PROFIT15)
PROFIT15=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT15.grd)
Release (PROFIT16)
PROFIT16=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT16.grd)
Release (PROFIT17)
PROFIT17=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT17.grd)
Release (PROFIT18)
PROFIT18=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT18.grd)
Release (PROFIT19)
PROFIT19=LoadFrom(C:\Users\Bill\Desktop\New folder\12-PROFIT19.grd)
A0=PROFIT0+PROFIT1+PROFIT2+PROFIT3+PROFIT4+PROFIT5+PROFIT6+PROFIT7+PROFIT8+PROFIT9;
A1=PROFIT10+PROFIT11+PROFIT12+PROFIT13+PROFIT14+PROFIT15+PROFIT16+PROFIT17+PROFIT18+PROFIT19;
SaveAs (A0,C:\Users\Bill\Desktop\A0.grd)
SaveAs (A1,C:\Users\Bill\Desktop\A1.grd)
```

Το παρακάτω αρχείο (.blk) είναι ο «σκελετός» του ομοιώματος και δείχνει την τοποθεσία των διδιάστατων πλεγμάτων στη μονάδα αποθήκευσης του H/Y που δομούν το δεύτερο ομοίωμα.

```
C:\Users\Bill\Desktop\top.grd
C:\Users\Bill\Desktop\bot.grd
PROFIT|0|C:\Users\Bill\Desktop\A0.grd|0
PROFIT|1|C:\Users\Bill\Desktop\A1.grd|0
```

Με την βοήθεια των παρακάτω κώδικων υπολογίζεται η αξία που θα εισαχθεί στο τελικό ομοίωμα. Έχουν προγραμματιστεί στη Visual Basic του Excel για την καλύτερη συμβατότητα με τα γεωτρητικά δεδομένα.

Με τον κώδικα **CO** υπολογίζεται η τιμή στα κενά γεωτρητικά δεδομένα των λιγνιτικών στρωμάτων αν αυτά έχουν τιμή τέφρας.

```
Sub CO()  
Dim i As Double  
Dim a As Double  
Dim KΘI As Double  
Dim Τεξ As Double  
Dim CO2 As Double  
Dim Y As Double  
a = 60000  
ActiveWorkbook.Sheets("EP").Activate  
For i = 2 To a  
  
    If Cells(i, 1) = "" Then Exit For  
    If Cells(i, 6) = "CO" Then  
  
        KΘI = Cells(i, 10)  
        Τεξ = Cells(i, 11)  
        CO2 = Cells(i, 12)  
        Y = Cells(i, 13)  
  
        If KΘI = 0 And CO2 = 0 And Y = 0 Then  
            KΘI = 1863 - 16.33 * Τεξ  
            Y = -(KΘI - 2872 + 16.33 * Τεξ) / 17.64  
            CO2 = -(KΘI - 4415 + 38.37 * Y + 25.6 * Τεξ) / 31.97  
  
        ElseIf KΘI = 0 And CO2 = 0 Then  
            KΘI = 2872 - 16.33 * Τεξ - 17.64 * Y  
            CO2 = -(KΘI - 4415 + 38.37 * Y + 25.6 * Τεξ) / 31.97  
  
        ElseIf KΘI = 0 And Y = 0 Then  
            KΘI = 1863 - 16.33 * Τεξ  
            Y = -(KΘI - 2872 + 16.33 * Τεξ) / 17.64  
  
        ElseIf KΘI = 0 Then  
            KΘI = 4415 - 38.37 * Y - 25.6 * Τεξ - 31.97 * CO2  
  
        ElseIf Cells(i, 6) = "CO" And CO2 = 0 Then  
            CO2 = -(KΘI - 4415 + 38.37 * Y + 25.6 * Τεξ) / 31.97  
        End If  
  
        Cells(i, 10) = KΘI  
        Cells(i, 11) = Τεξ  
        Cells(i, 12) = CO2  
        Cells(i, 13) = Y  
    End If  
Next  
Cells(1, 1) = 1  
End Sub
```

Με τον κώδικα **CsQs** υπολογίζονται οι ειδικές εκπομπές αερίων ρύπων και η ειδική κατανάλωση του λιγνίτη.

```
Sub CsQs()  
Dim Y As Double  
Dim CO2 As Double  
Dim Τεξ As Double  
Dim KΘI As Double  
Dim n As Double  
Dim Cs As Double  
Dim CL As Double  
Dim Qs As Double  
Dim i As Double  
Dim a As Double  
ρ = 1.2  
n = 0.36  
a = 60000
```

```

ActiveWorkbook.Sheets("LL").Activate
For i = 1 To a
    If Cells(i, 9) = "" Then
        Exit For
    ElseIf Cells(i, 6) = "LL" Then
        KΘI = Cells(i, 19)
        Tεξ = Cells(i, 20)
        CO2 = Cells(i, 21)
        Y = Cells(i, 22)

        CL = 23.603 + 0.0058 * KΘI - 0.1432 * Y - 0.131 * Tεξ
        Qs = (30.259341 * CL) / (KΘI * n * ρ)
        Cs = 860 / (KΘI * n * ρ)
        Cells(i, 23) = Cs
        Cells(i, 24) = CL
        Cells(i, 25) = Qs
    ElseIf Cells(i, 6) = "L0" Then
        KΘI = Cells(i, 19) * 1.8
        Tεξ = Cells(i, 20) * 0.7
        CO2 = Cells(i, 21)
        Y = Cells(i, 22)

        CL = 23.603 + 0.0058 * KΘI - 0.1432 * Y - 0.131 * Tεξ
        Qs = (30.259341 * CL) / (KΘI * n * ρ)
        Cs = 860 / (KΘI * n * ρ)
        Cells(i, 23) = Cs
        Cells(i, 24) = CL
        Cells(i, 25) = Qs
    End If
Next
End Sub

```

Με τον κώδικα **HATTto** μετατρέπονται οι συντεταγμένες από μορφή Hatt σε κομβικές ώστε να υπολογιστεί η ΚΠΑ και η απόσταση μεταφοράς.

```

Function ACOS() As Double
End Function
Function PI() As Double
End Function

Sub HATTto()

Dim x As Double
Dim y As Double
Dim i As Double
Dim g As Double
Dim s As Double

a = 60000
x = -12604.5
y = 19752.1
p = Application.WorksheetFunction.PI()
ActiveWorkbook.Sheets("LL").Activate
For i = 2 To a
    If Cells(i, 2) = "" Then Exit For
    n1 = Cells(i, 3) - y
    n2 = Cells(i, 4) - x
    If Cells(i, 3) > y Then n2 = p + p - φ
    r = (n1 ^ 2 + n2 ^ 2) ^ 0.5
    φ = Application.WorksheetFunction.ACOS(n2 / r)
    Cells(i, 26) = φ
    Cells(i, 27) = r
Next
End Sub

```

Με τον κώδικα **κόστος** υπολογίζεται το μοναδιαίο ακαθάριστο κόστος και κέρδος του ορυχείου με βάση τα δεδομένα εισόδου.

```

Function κ(wsf, i, Td, Rk, s, d, h, π, ke, zkar, o) As Double
    Td = Cells(i, 9)
    z = 2 * Cells(i, 27)
    l = Td / Rk

```

```

    If 1 <= 0.3 Then
        Qe = 36.841 * wsf.Ln(1) + 138.75
    Else
        Qe = 100
    End If
    w = (s) / (d * h * π * Qe / 100)
    κ = ((w + ke) * z / zkar) + o
End Function

Sub Κόστος()

Dim wsf As WorksheetFunction
Set wsf = Application.WorksheetFunction
κπ = 50 ' κόστος Πώλησης HE
Rk = 8
a = 60000
u = 0
s = 5000 ' μισθός
d = 30 ' μέρες
h = 8 ' ώρες
π = 50 ' παραγωγικότητα
εκ = 4 ' ειδική κατανάλωση HE
e = 0.05 ' κόστος ηλεκτρικής ενέργειας
zkar = 9500 ' απόσταση μεταφοράς ΟΠΚ 2012
emp = 4 ' κόστος εμπλουτισμού
CO = 5 ' κόστος CO2
ΑΗΣ = 20 ' Κόστος ΑΗΣ
soil = 17.4
ΕΑΚ = 1.025 ' ποσοστό ετήσιου κέρδους
o = 0.15 + 0.15 ' άλλες δαπάνες και αποσβέσεις
ke = εκ * e ' κόστος ενέργειας

ActiveWorkbook.Sheets("LL").Activate
For i = 1 To a
    u = u + 1
    If Cells(i, 6) = "" Then Exit For
Next
For i = 2 To u
    kw = Cells(i, 6)
    If kw = "EP" Then
        Cells(i, 28) = soil
    ElseIf kw = "AM" Then
        Cells(i, 28) = κ(wsf, i, Td, Rk, s, d, h, π, ke, zkar, o) * ΕΑΚ
    ElseIf kw = "AH" Then
        Cells(i, 28) = κ(wsf, i, Td, Rk, s, d, h, π, ke, zkar, o) * 1.2 * ΕΑΚ
    ElseIf kw = "LL" Then
        Qs = Cells(i, 25)
        Cs = Cells(i, 23)
        Cells(i, 28) = (κ(wsf, i, Td, Rk, s, d, h, π, ke, zkar, o) + Qs / Cs * CO + ΑΗΣ /
Cs) * ΕΑΚ
    ElseIf kw = "L0" Then
        Qs = Cells(i, 25)
        Cs = Cells(i, 23)
        Cells(i, 28) = ((κ(wsf, i, Td, Rk, s, d, h, π, ke, zkar, o) + Qs / Cs * CO + ΑΗΣ
/ Cs + emp) * 0.1) * ΕΑΚ + (κ(wsf, i, Td, Rk, s, d, h, π, ke, zkar, o) * 0.9) * ΕΑΚ
    End If
Next

For i = 2 To u 'κέρδος
    Cs = Cells(i, 23)
    kw = Cells(i, 6)
    If kw = "LL" Then
        Cs = Cells(i, 23)
        Cells(i, 29) = κπ / Cs
    ElseIf kw = "L0" Then
        Cs = Cells(i, 23)
        Cells(i, 29) = κπ / Cs * 0.1
    End If
Next
For i = 2 To u 'κέρδος
    Cells(i, 30) = Cells(i, 29) - Cells(i, 28)
    Cells(i, 34) = Cells(i, 29) + Cells(i, 28)
Next
End Sub

```

Τα λογισμικά CSM και UPL δεν μπορούν να μετατρέψουν τις συντεταγμένες του κάθε block που παράγει το Carlson. Για τον λόγο αυτό πρέπει οι συντεταγμένες να μετατραπούν σε μορφή που είναι «κατανοητή» από τα λογισμικά αυτά. Αυτό μπορεί να γίνει με τον παρακάτω κώδικα **car2csm** στις μακροεντολές του Excel. Ο αλγόριθμος διαβάζει τα δεδομένα που εξάγει το Carlson και τα μετατρέπει.

```
Sub car2csm()

Dim i As Long
Dim j As Integer
Dim a As Long
Dim d As Integer
Dim e As Integer
Dim g As Integer

a = ((Cells(1, 7)) * (Cells(1, 8)) * (Cells(1, 9))) + 2
d = Cells(1, 7) + 2
e = Cells(1, 8) + 2
g = Cells(1, 9) + 2

For i = 3 To d
    Cells(i, 6) = i - 2
    Cells(i, 5) = Cells(i - 1, 5) + Cells(1, 4)
    If i = 3 Then Cells(i, 5) = Cells(1, 1)
Next
For i = 3 To e
    Cells(i, 8) = i - 2
    Cells(i, 7) = Cells(i - 1, 7) + Cells(1, 5)
    If i = 3 Then Cells(i, 7) = Cells(1, 2)
Next
For i = 3 To g
    Cells(i, 10) = i - 2
    Cells(i, 9) = Cells(i - 1, 9) - Cells(1, 6)
    If i = 3 Then Cells(i, 9) = Cells(1, 3)
Next
For i = 3 To a
    For j = 3 To d
        If Cells(i, 1) = Cells(j, 5) Then Cells(i, 13) = Cells(j, 6)
    Next

    For j = 3 To e
        If Cells(i, 2) = Cells(j, 7) Then Cells(i, 14) = Cells(j, 8)
    Next
    For j = 3 To g
        If Cells(i, 3) = Cells(j, 9) Then Cells(i, 15) = Cells(j, 10)
    Next

    Cells(i, 16) = Cells(i, 4)
Next
Cells(2, 5) = a
Cells(2, 6) = d
Cells(2, 7) = e
Cells(2, 8) = g
End Sub
```

Ο παρακάτω κώδικας κάνει την αντίστροφη διαδικασία ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση του στο Carlson ή κάποιο άλλο λογισμικό.

```
Sub csm2car()

Dim j As Integer
Dim a As Integer
Dim d As Integer
Dim e As Integer
Dim g As Integer
Dim i As Integer

a = ((Cells(1, 7)) * (Cells(1, 8)) * (Cells(1, 9))) + 2
d = Cells(1, 7) + 2
e = Cells(1, 8) + 2
g = Cells(1, 9) + 2

For i = 3 To d
    Cells(i, 8) = i - 2

    Cells(i, 9) = Cells(i - 1, 9) + Cells(1, 4)

    If i = 3 Then Cells(i, 9) = Cells(1, 1)
Next
For i = 3 To e
    Cells(i, 10) = i - 2

    Cells(i, 11) = Cells(i - 1, 11) + Cells(1, 5)

    If i = 3 Then Cells(i, 11) = Cells(1, 2)
Next
For i = 3 To g
    Cells(i, 12) = i - 2
    Cells(i, 13) = Cells(i - 1, 13) - Cells(1, 6)

    If i = 3 Then Cells(3, 13) = Cells(1, 3)
Next

For i = 3 To a
    Cells(i, 18) = Cells(i, 6)

    For j = 3 To d
        If Cells(i, 1) = Cells(j, 8) Then Cells(i, 15) = Cells(j, 9)
    Next
    For j = 3 To e
        If Cells(i, 2) = Cells(j, 10) Then Cells(i, 16) = Cells(j, 11)
    Next
    For j = 3 To g
        If Cells(i, 3) = Cells(j, 12) Then Cells(i, 17) = Cells(j, 13)
    Next
Next
End Sub
```

Το λογισμικό CSM χρειάζεται μία τοπογραφική επιφάνεια η οποία είναι δυνατόν να δημιουργηθεί με τον παρακάτω κώδικα από τα δεδομένα του block model του Carlson.

```
Sub elvcsm()

Dim i As Integer
Dim a As Integer

a = ((Cells(1, 7)) * (Cells(1, 8))) + 2

For i = 3 To a
    If Cells(i, 3) = 1 Then Cells(i, 4) = Cells(1, 3)
Next

End Sub
```

Για την κατασκευή του ομοιώματος του πραγματικού κοιτάσματος χρησιμοποιήθηκαν δύο είδους γεωτρητικά δεδομένα. Τα πρώτα αφορούν τα γεωτρητικά δεδομένα της ΔΕΗ και τα δεύτερα τις περιοριστικές περιμετρικές γεωτρήσεις που εισάχθηκαν. Για να εισαχθούν οι περιμετρικές γεωτρήσεις απαιτείται ένας τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Καθώς δεν ήταν διαθέσιμος λεπτομερής τοπογραφικός χάρτης ανακτήθηκαν από το διαδίκτυο (USGS, 2016) τοπογραφικά δεδομένα σε μορφή geotiff. Το αρχείο που ανακτήθηκε έχει διάστημα δειγματοληψίας 10m στο επίπεδο X, Y και ακρίβεια 1m στον Z άξονα, καλύπτει όλη την Δυτική Μακεδονία και γι' αυτό θα πρέπει να περιοριστούν τα δεδομένα την μελετούμενη περιοχή. Αυτό έγινε με την βοήθεια του λογισμικού QGIS. Η μορφή αυτή (geotiff) δεν είναι αναγνώσιμη από τα σχεδιαστικά λογισμικά γι' αυτό μέσω αυτής πρέπει να ανακτηθούν οι συντεταγμένες κάθε σημείου. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι με την βιβλιοθήκη εντολών GDAL, με αυτή και την εισαγωγή της σε λειτουργικό σύστημα Ubuntu ανακτήθηκαν οι συντεταγμένες.

Οι συντεταγμένες έχουν ως σύστημα αναφοράς το WGS 84' το οποίο όμως δημιουργεί πρόβλημα διότι οι συντεταγμένες των γεωτρητικών δεδομένων έχουν ως σύστημα αναφοράς το HATT. Η μετατροπή των συντεταγμένων έγινε με το λογισμικό isoordtrans (Κοζάνης, 2006), πρώτα μετατράπηκαν σε συντεταγμένες με σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ 87' και μετά σε HATT. Από αυτές είναι δυνατόν να δημιουργηθεί τοπογραφική επιφάνεια μορφής DEM η οποία είναι αναγνώσιμη από τα σχεδιαστικά λογισμικά και έχει κοινό σύστημα αναφοράς με τα γεωτρητικά δεδομένα.

Αφού δημιουργηθεί η τοπογραφική επιφάνεια εισάγονται κενές γεωτρήσεις περιμετρικά του κοιτάσματος. Στη συνέχεια το σύνολο των γεωτρήσεων εξάγεται σε μορφή υπολογιστικού φύλλου του excel με την κωδικοποίηση του METAL. Τα δεδομένα επεξεργάζονται με τις σχέσεις του Κεφαλαίου 2, τους κώδικες του Παραρτήματος Α και τελικά δημιουργείται η ιδιότητα της αξίας. Τα νέα δεδομένα που αποτελούνται από τα στοιχεία θέσης της γεώτρησης των στρωμάτων και την αξία τους εισάγονται στο λογισμικό Carlson.

Το επόμενο βήμα είναι να δημιουργηθεί το πρώτο διαφορικό ομοίωμα. Μέσω της εντολής **spread** (Σχήμα Β.1) γίνεται η επισκόπηση και διόρθωση των δεδομένων σχήμα. Από αυτά τα δεδομένα και με την εντολή **blkmodel** (Σχήμα Β.3) εισάγονται οι παράμετροι για το πρώτο ομοίωμα. Η επιλογή των παραμέτρων έχει αναλυθεί στο Κεφάλαιο 3 και συνοπτικά αναφέρεται η διακριτοποίηση 0.1 m και η μέθοδος παρεμβολής discrete.

Αφού δημιουργηθεί το διαφορικό ομοίωμα πρέπει να συμπτυχθεί σε ένα μικρότερο, αυτό γίνεται μέσω των μακροεντολών του Carlson και του κώδικα σε C που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο παράρτημα. Το δεύτερο ομοίωμα εισάγεται σε μία διαδικασία βελτιστοποίησης ώστε να βρεθούν τα βέλτιστα όρια του ορυχείου. Μία τέτοια διαδικασία είναι ο αλγόριθμος LG που χρησιμοποιεί το λογισμικό Carlson το οποίο εφαρμόζεται με την εντολή **bestpit** (Σχήμα Β.2). Τέλος με τον κώδικα **car2csm** μετατρέπονται οι συντεταγμένες X, Y, Z σε i, j, k ώστε να επαληθευτεί η νέα μεθοδολογία με τα συνθετικά δεδομένα στα λογισμικά UPL και CSM.

Drillhole Data Sheet

File Edit Search Display Options

	Name	Description	Northing	Easting	Elevation	Process	Density	Type	XY Quality
Edit 1	180/103	IMPORT METAL	25332.00	-19404.00	619.950	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20	Complete	Unknown
Edit 2	180/107	IMPORT METAL	25207.00	-19235.00	621.880	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20	Complete	Unknown
Edit 3	183/098	IMPORT METAL	25440.00	-19690.00	621.230	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20	Complete	Unknown
Edit 4	184/112	IMPORT METAL	24867.00	-19226.00	623.920	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20	Complete	Unknown
Edit 5	186/102	IMPORT METAL	25150.00	-19628.00	622.320	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20	Complete	Unknown

	Name	Depth	Elevation	Thickness	Key	Bed Name
16	CO	30.000	589.950	3.000	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	CO	33.000	586.950	3.000	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	MR	33.400	586.550	.400	<input type="checkbox"/>	
19	MR	39.000	580.950	5.600	<input type="checkbox"/>	

	Name	Value
5	MOIST	60.100
6	CO2	11.600
7	ASH	29.100
8	BTU	1275.000

Σχήμα Β.1: Διαδραστική βάση γεωτρητικών δεδομένων του λογισμικού Carlson.

**Ultimate Pit Design**

Total Blocks	6195	Total Volume	688333195.6
Block Size (ft) X =	33.33	Y =	33.33
		Z =	100.00
Number of Benches	3		
Ore Blocks	1890	Ore Volume	209999958.0
Waste Blocks	4305	Waste Volume	478333237.6
Ultimate Pit Slope	45.00		

☒ Save Ultimate Pit      ☒ Save Bottom Pit Grid  
☒ Generate Ultimate-Pit Report

OK Cancel

Σχήμα Β.2: Παράθυρο παραμέτρων αλγόριθμου LG πριν την εφαρμογή του.

**Make Block Model**

Cell Size in X: 15.49, in Y: 30.29 Total cells: 886800  
 Average block height 0.0  
 Block Elevations Min: 578.8 Max: 612.2

Block Model Resolution

Specify Horizontal Resolution As...

☒ Number of Cells in X and Y  
☐ Dimensions of a Cell

X: 30 Y: 40

Vertical Position...

☒ Fixed Elevations      ☐ Follow Ore Model  
☐ Use Fixed Elevations for Ore Model

Bottom Z: 578.8 Top Z: 612.2

Number of Vertical Divisions: 739

Block Model Method: Discrete

Vertical Weight Factor: 10000000000

OK Cancel Help

Σχήμα Β.3: Δεδομένα εισαγωγής για την υλοποίηση του πρώτου ομοιώματος.

## Παράρτημα Γ: Αποτελέσματα, τομές και κατόψεις του λογισμικού UPL

Για την περίπτωση 8 βρέθηκαν τα όρια με δύο μεθόδους, με τον αλγόριθμο Lerchs – Grossman δύο διαστάσεων (Σχήμα Γ.1) και με την μέθοδο Korobov (Σχήμα Γ.2). Επιλέχθηκε μία τομή από την κάθε οικονομικά επιτρεπτή εκσκαφή (Σχήμα Γ.3 και Σχήμα Γ.4) και οι κατόψεις (Σχήμα Γ.5 – Σχήμα Γ.24) της κάθε βαθμίδας. Το κάθε στοιχείο έχει διαστάσεις ΔΧ, ΔΨ, ΔΖ με τιμή 10m, 10m, 30m αντίστοιχα.

Block Data	
Number of blocks in block Model	213920
Number of Null blocks in block Model	0
Number of blocks in Ultimate Pit	80570

Time Data	
Setup / Read Time(sec)	3,23
Calculation of the Ultimate Pit (sec)	1,34
Pit Writing Time (sec)	63,13

Pit Value	
Economic Value of Ultimate Pit (\$)	423.927.252,00

Export Results OK

Σχήμα Γ.1: Αποτέλεσμα με τον αλγόριθμο LG 2D.

Block Data	
Number of blocks in block Model	213920
Number of Null blocks in block Model	0
Number of blocks in Ultimate Pit	82670

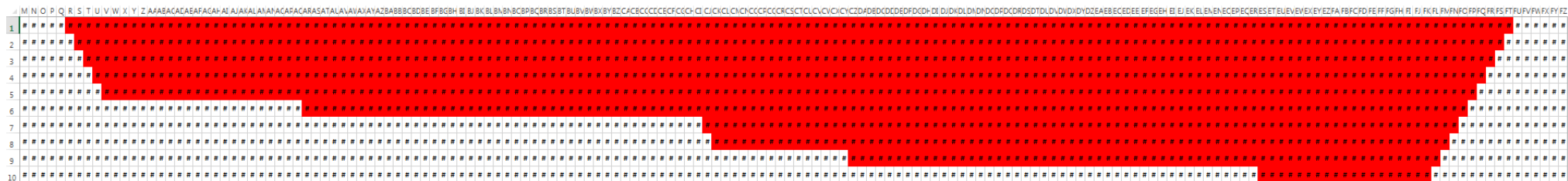
Time Data	
Setup / Read Time(sec)	3,33
Calculation of the Ultimate Pit (sec)	9,83
Pit Writing Time (sec)	61,04

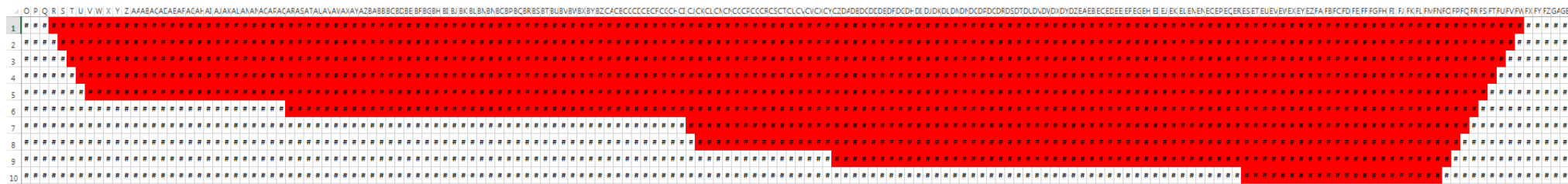
Pit Value	
Economic Value of Ultimate Pit (\$)	421.200.927,00

Export Results OK

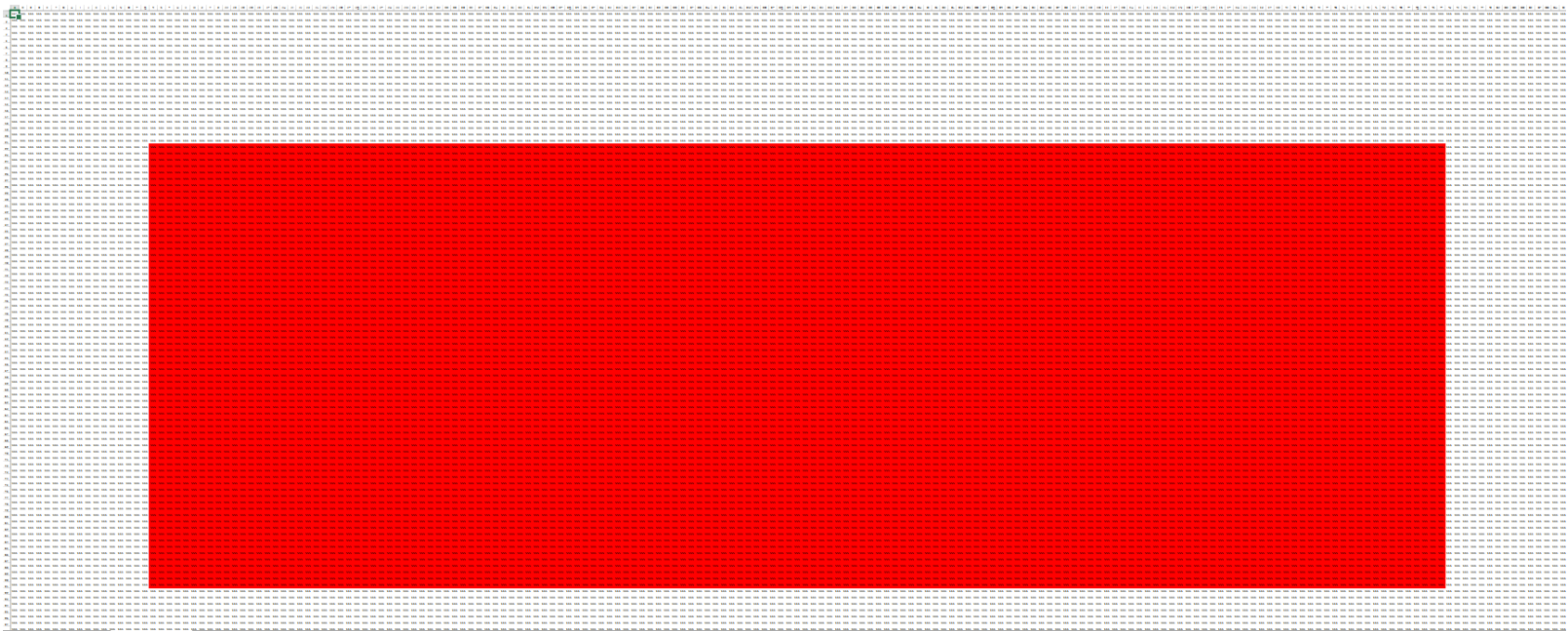
Σχήμα Γ.2: Αποτέλεσμα με την μέθοδο Korobov.



Σχήμα 7.3: Τομή εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



Σχήμα 7.4: Τομή εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.



Σχήμα Γ.5: Κάτοψη α' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



Σχήμα Γ.6: Κάτοψη α' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Κοροβον.



Σχήμα Γ.7: Κάτοψη θ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



Σχήμα Γ.8 :κάτοψη θ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.



Σχήμα Γ.9: Κάτοψη γ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



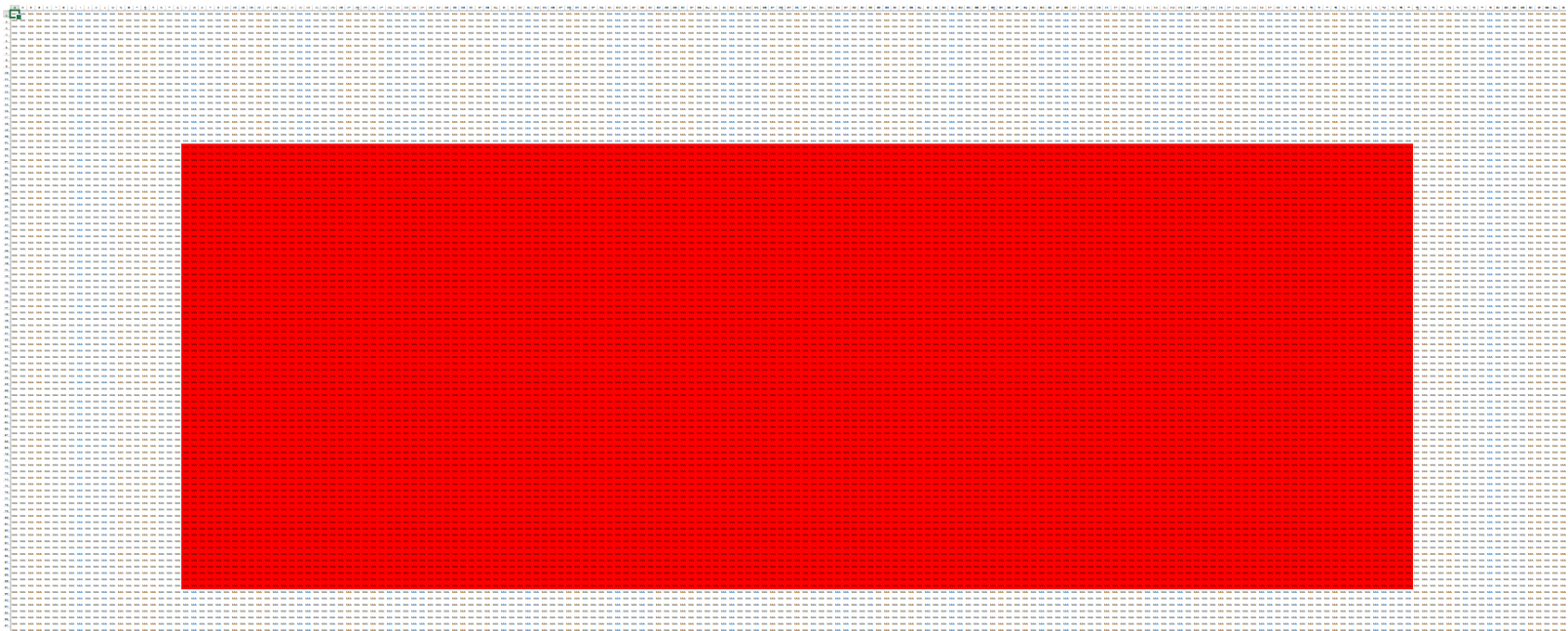
Σχήμα Γ.10: Κάτοψη γ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο κοροβον.



Σχήμα Γ.11: Κάτοψη δ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



Σχήμα Γ.12: Κάτοψη δ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Κοροβον.



Σχήμα Γ.13: κάτοψη ε' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



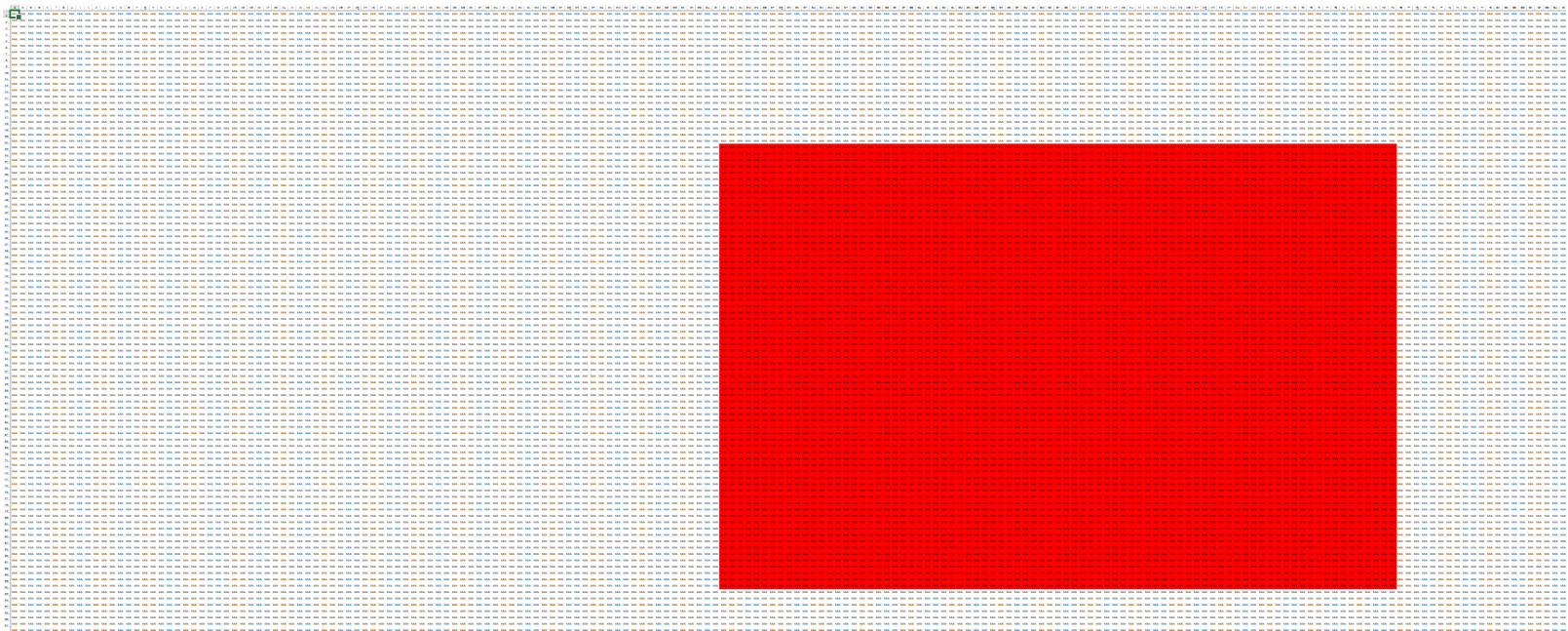
Σχήμα Γ.14: Κάτοψη ε' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Κοροβον.



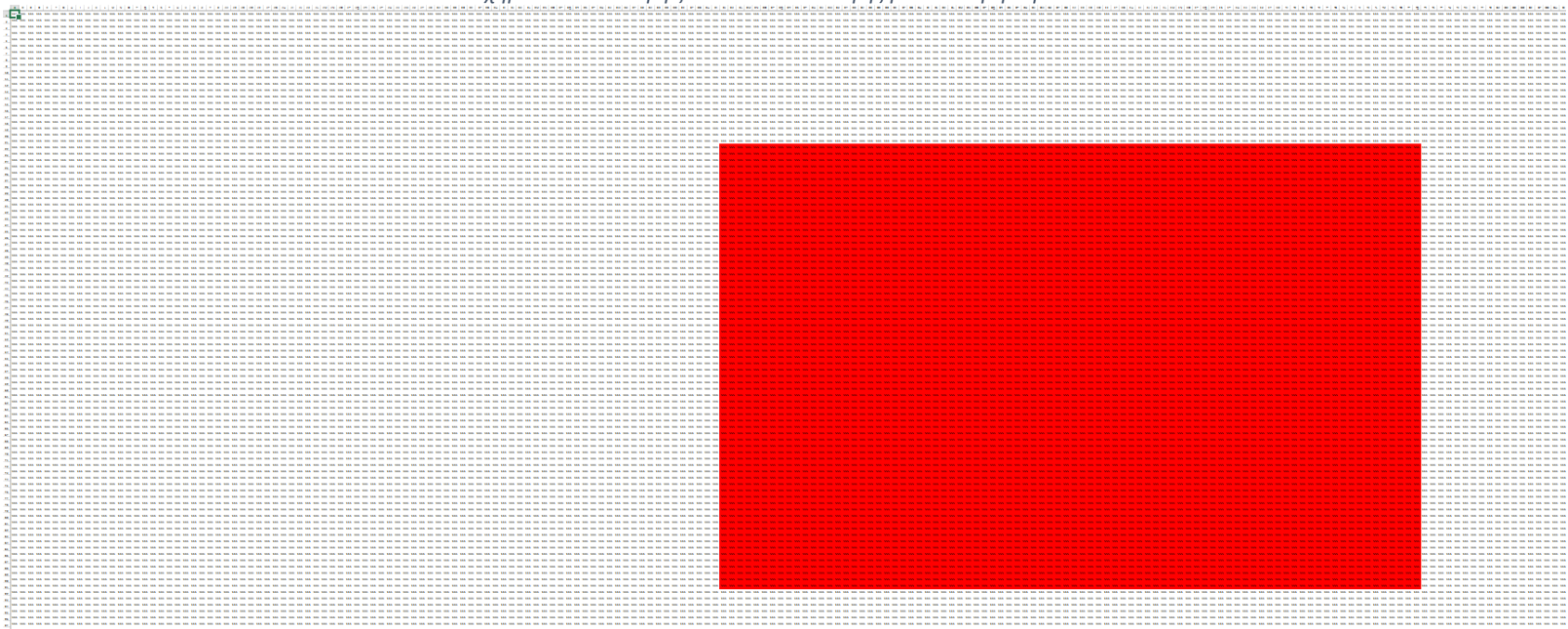
Σχήμα Γ.15: Κάτοψη στ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



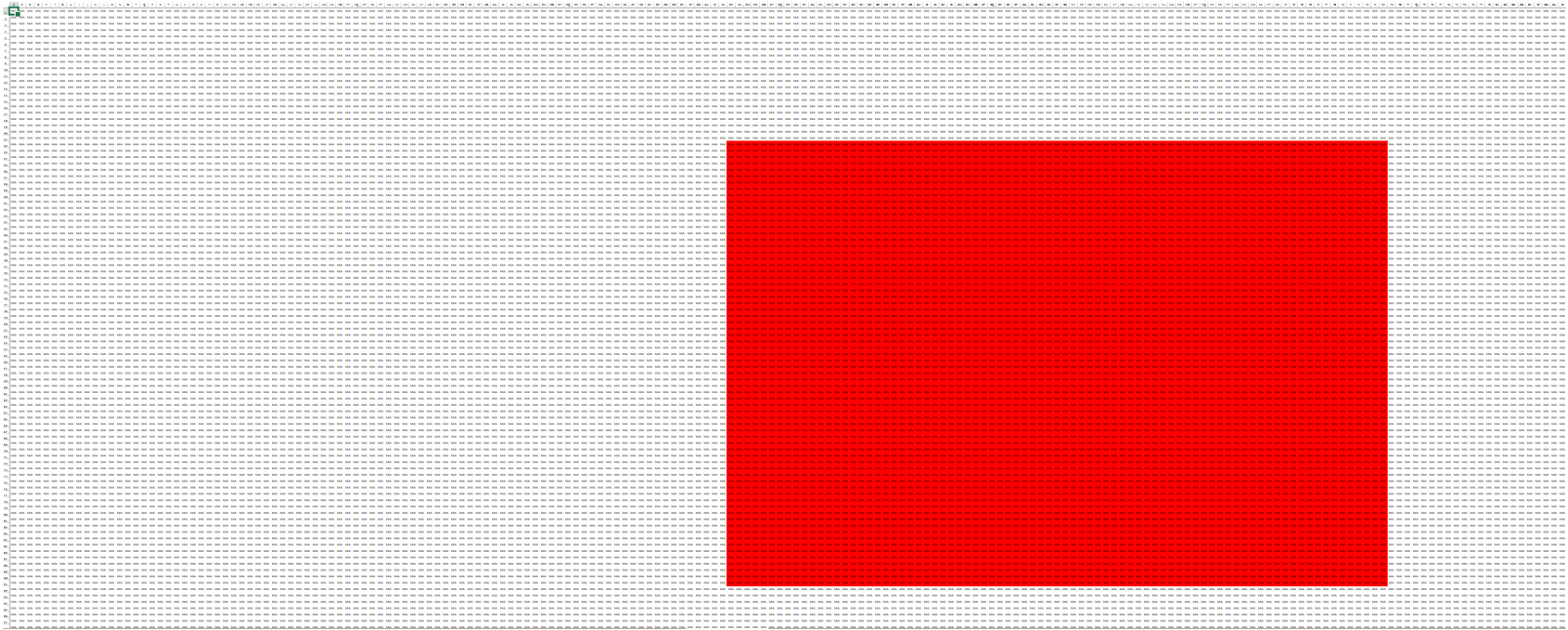
Σχήμα Γ.16: Κάτοψη στ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.



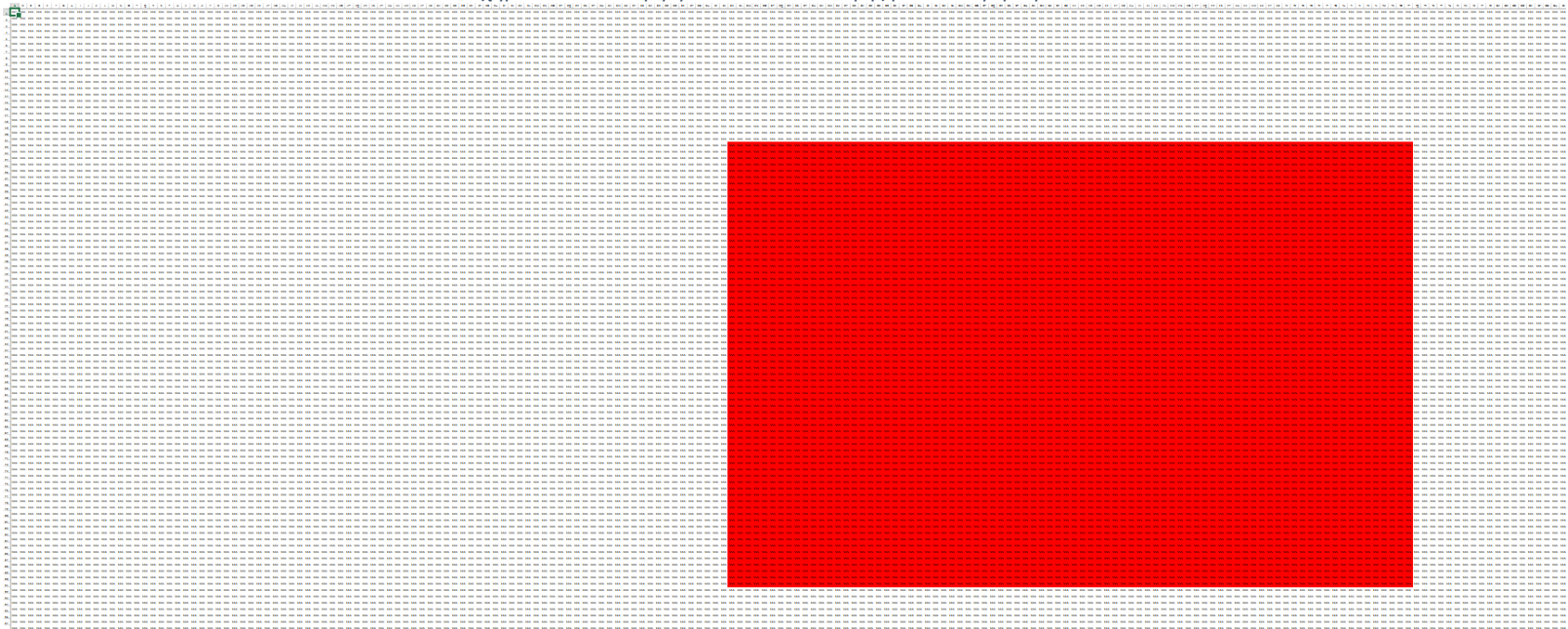
Σχήμα Γ.17: Κάτοψη ζ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



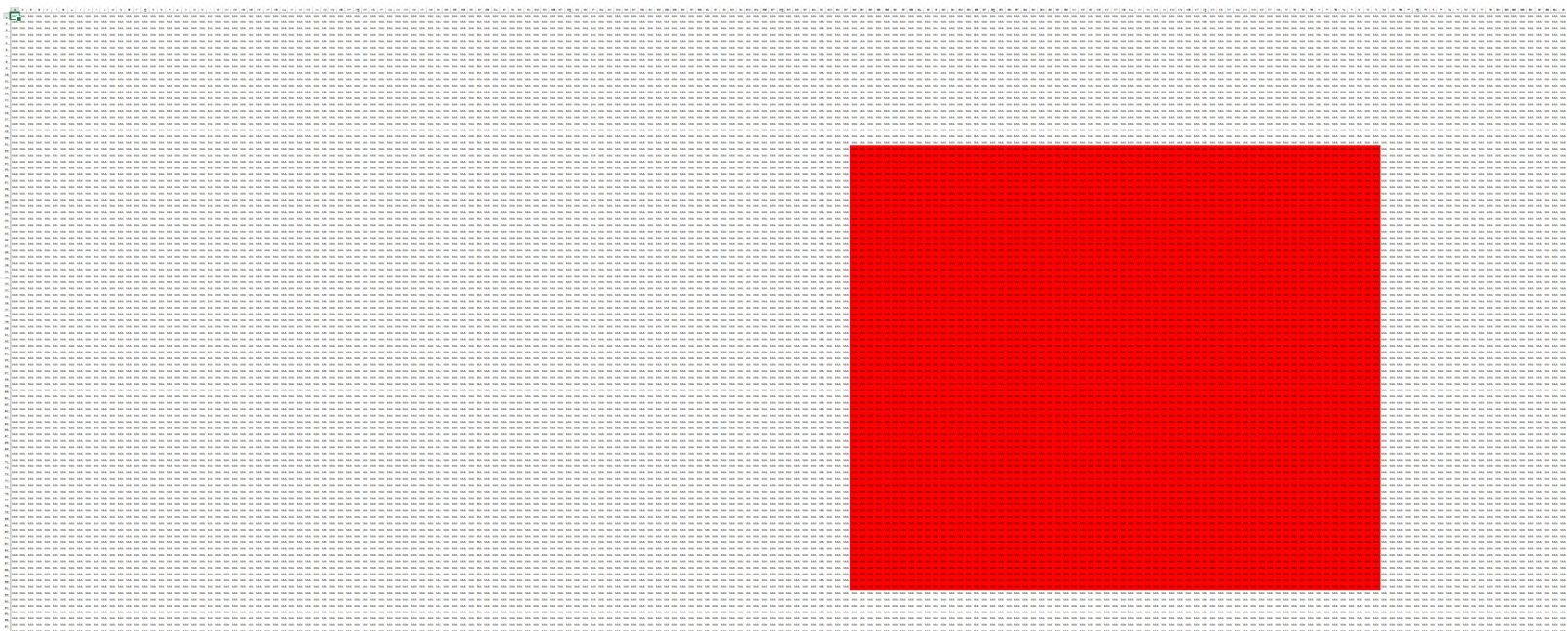
Σχήμα Γ.18: Κάτοψη ζ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Κοροβον.



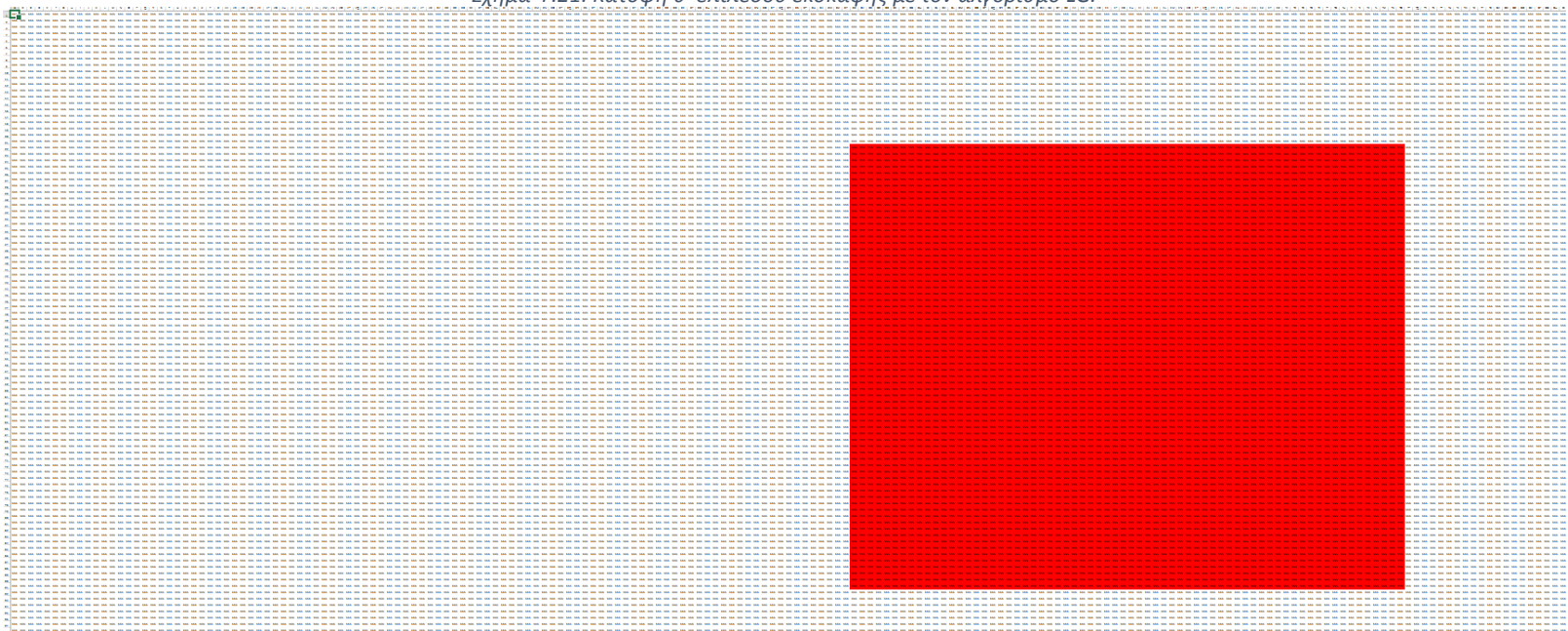
Σχήμα Γ.19: Κάτοψη η' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



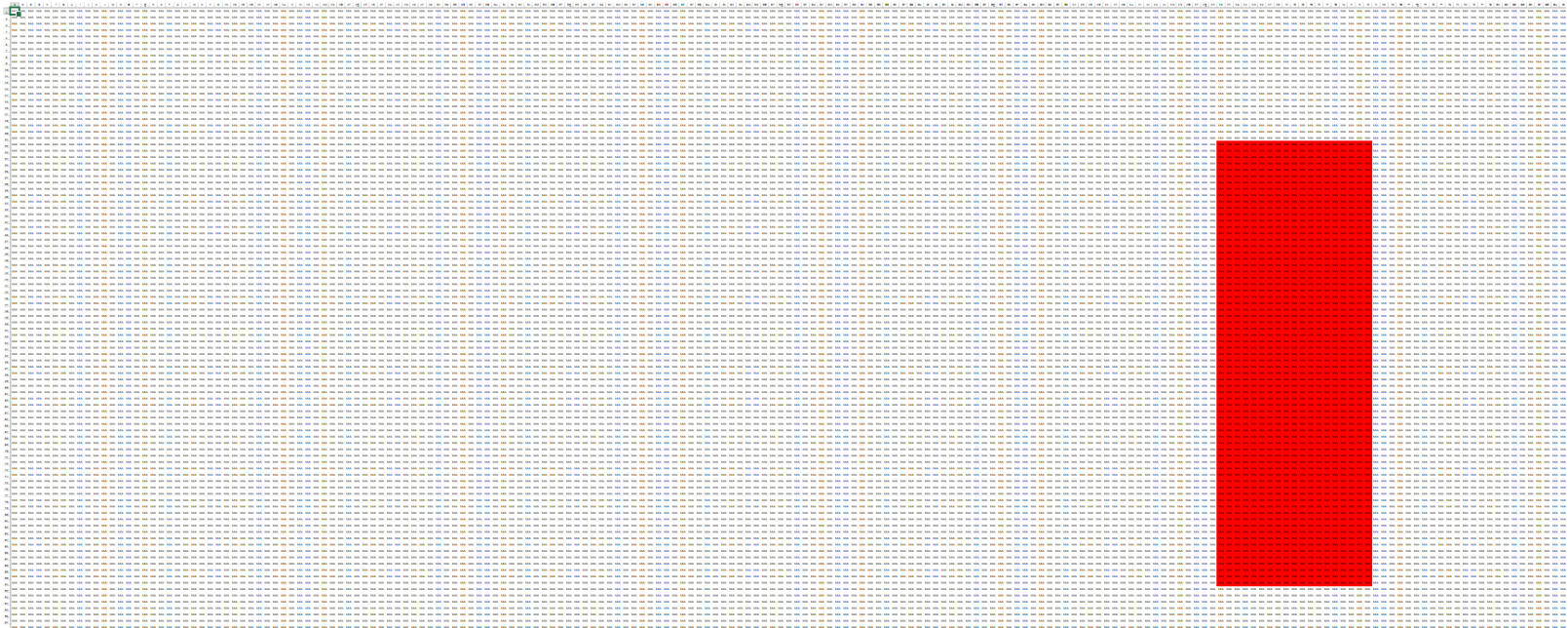
Σχήμα Γ.20: Κάτοψη η' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Korobov.



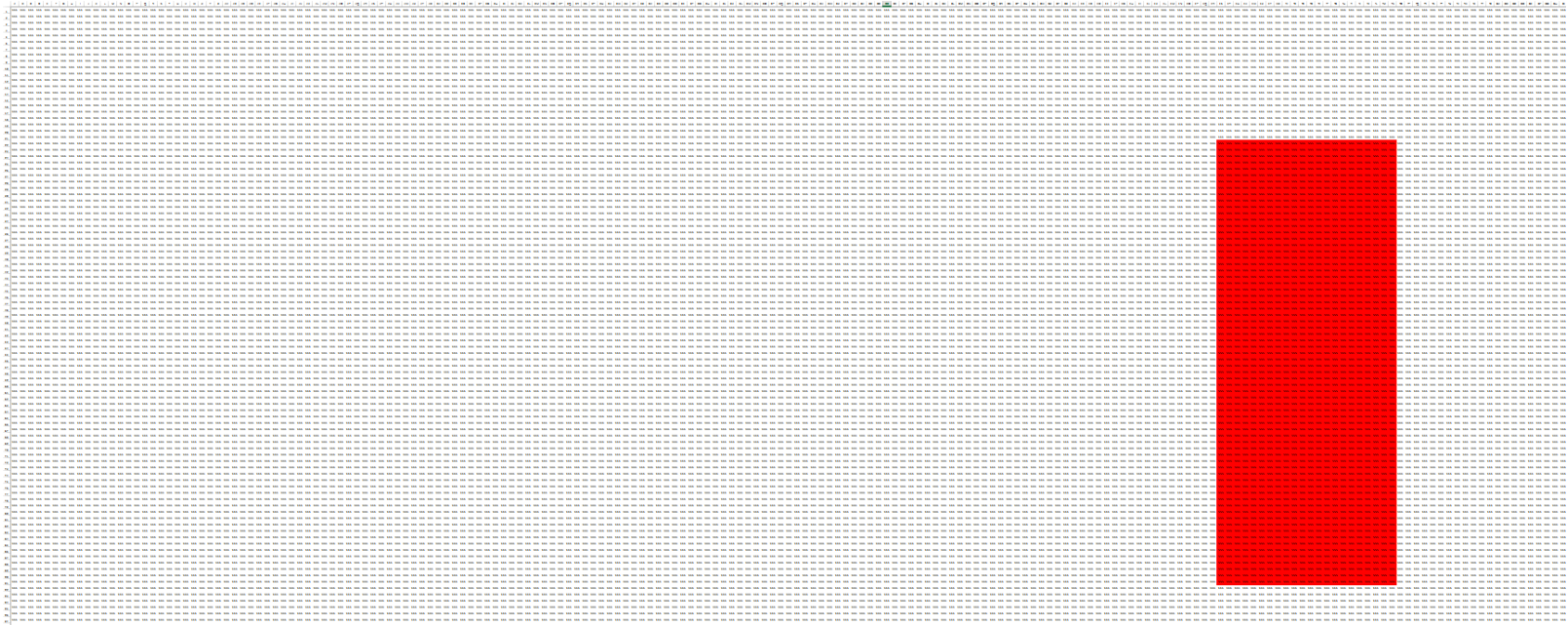
Σχήμα Γ.21: Κάτοψη θ' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.



Σχήμα Γ.22: Κάτοψη θ' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Κοροβον.

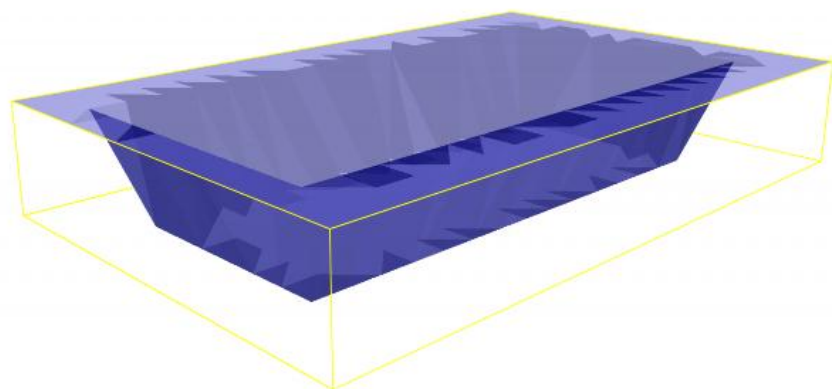


Σχήμα Γ.23: Κάτοψη ι' επιπέδου εκσκαφής με τον αλγόριθμο LG.

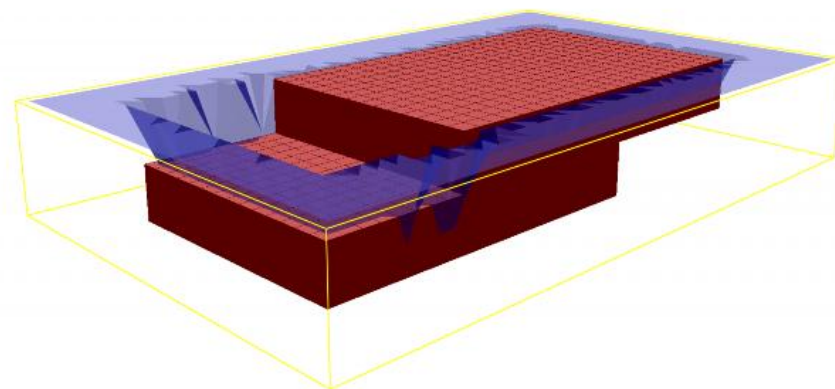


Σχήμα Γ.24: Κάτοψη ι' επιπέδου εκσκαφής με την μέθοδο Κοροβον.

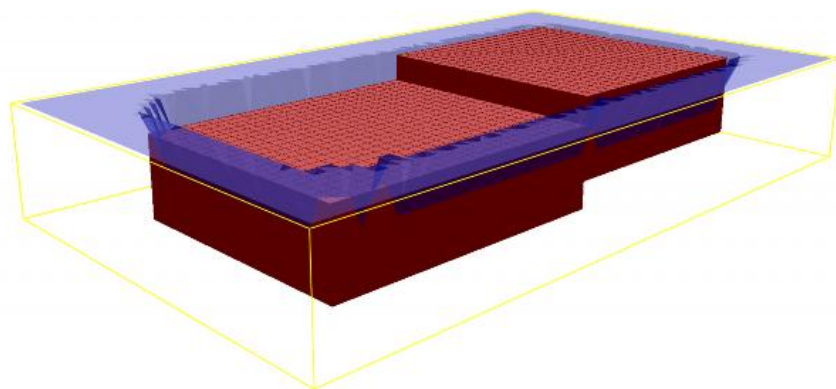
## Παράρτημα Δ: Προοπτικά σχέδια του υποθετικού κοιτάσματος



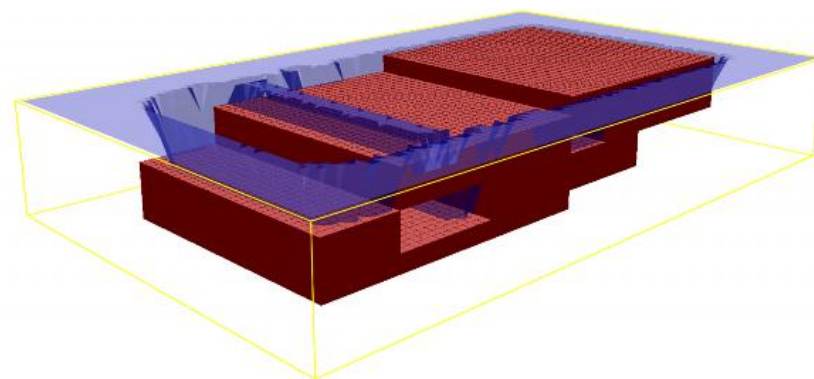
Σχήμα Δ.1: Περίπτωση 1.



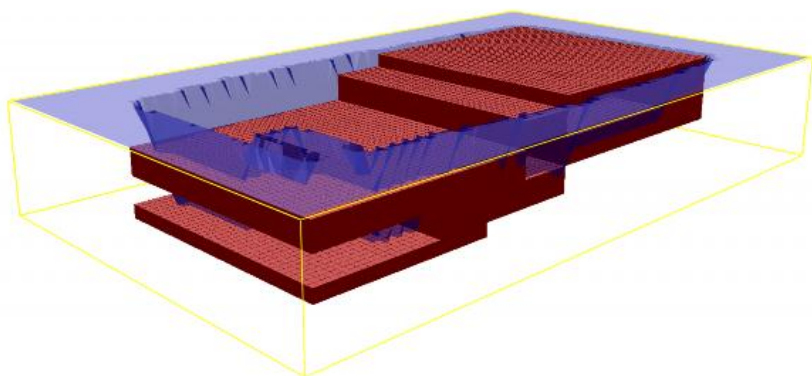
Σχήμα Δ.2: Περίπτωση 2.



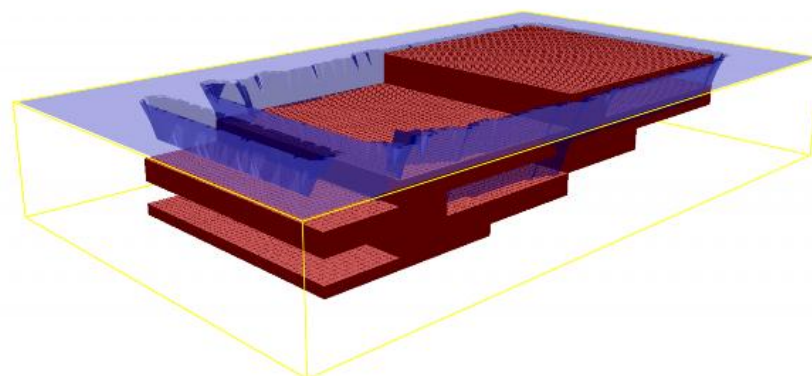
Σχήμα Δ.3: Περίπτωση 3.



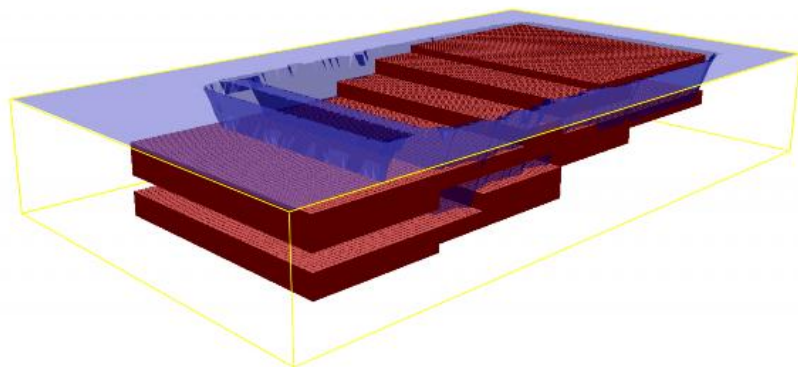
Σχήμα Δ.4: Περίπτωση 4.



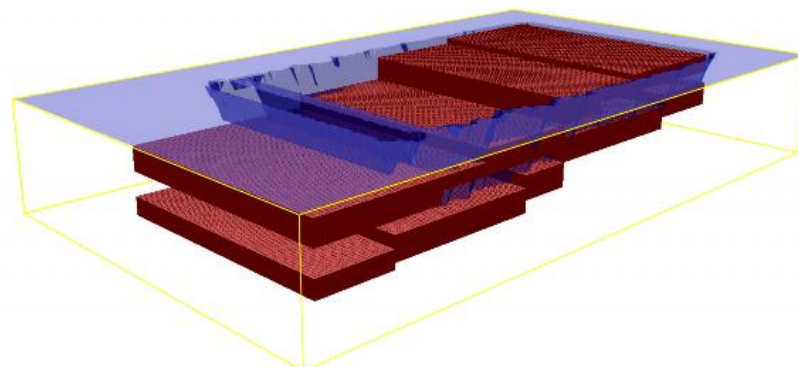
Σχήμα Δ.5: Περίπτωση 5.



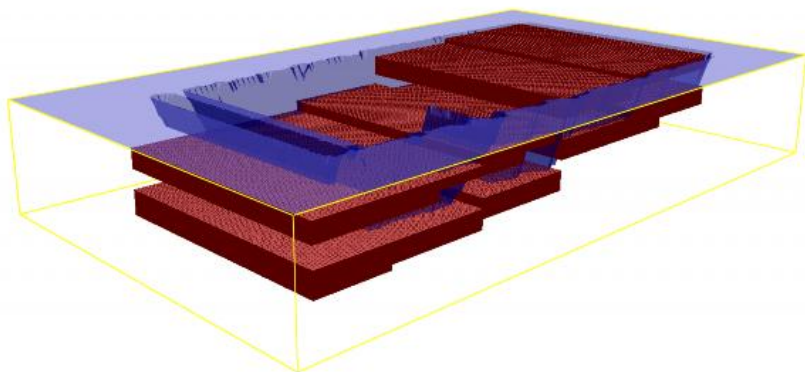
Σχήμα Δ.6: Περίπτωση 6.



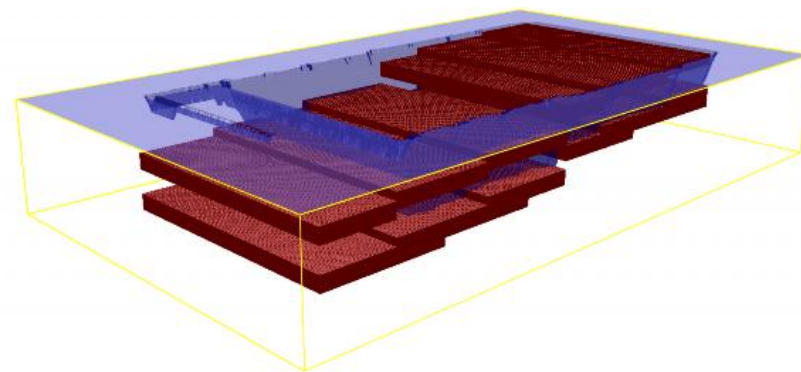
Σχήμα Δ.7: Περίπτωση 7.



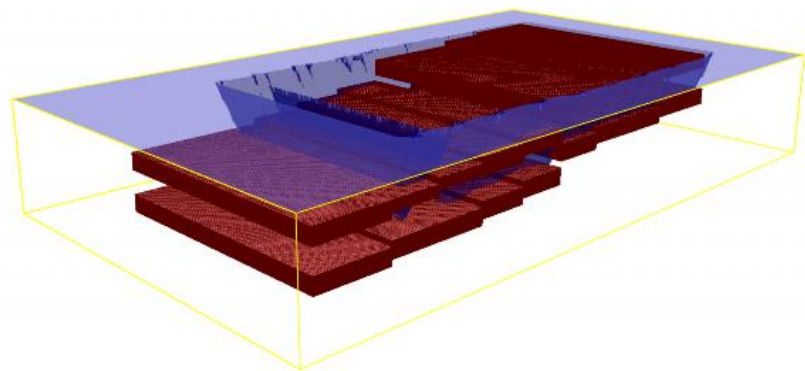
Σχήμα Δ.8: Περίπτωση 8.



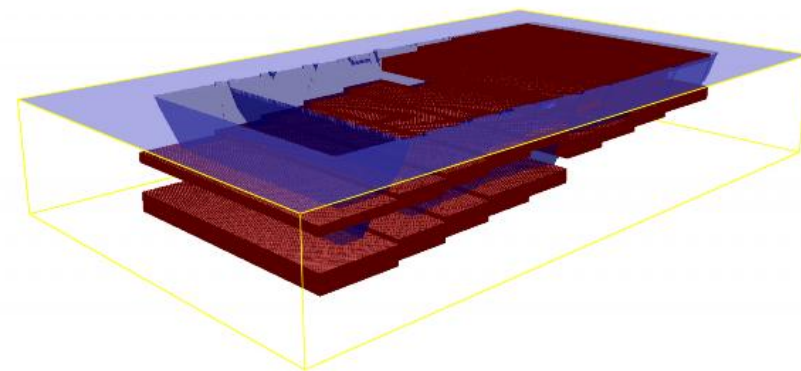
Σχήμα Δ.9: Περίπτωση 9.



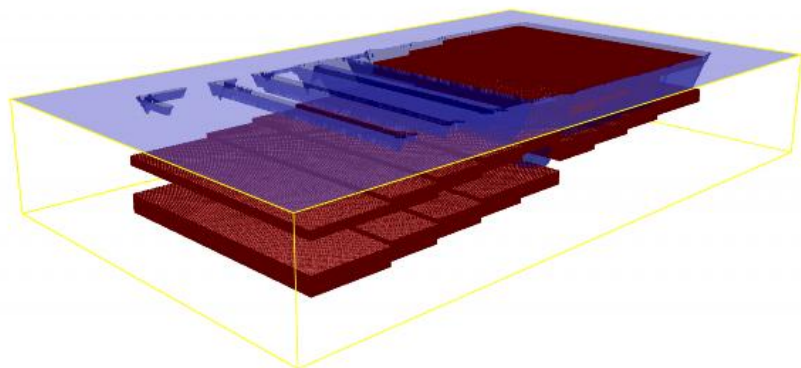
Σχήμα Δ.10: Περίπτωση 10.



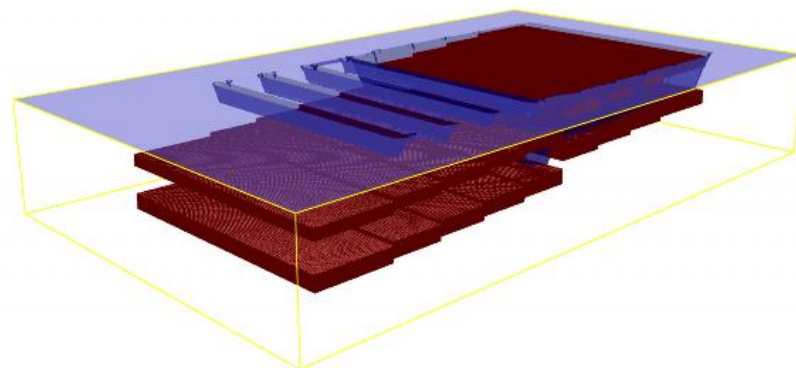
Σχήμα Δ.11: Περίπτωση 11.



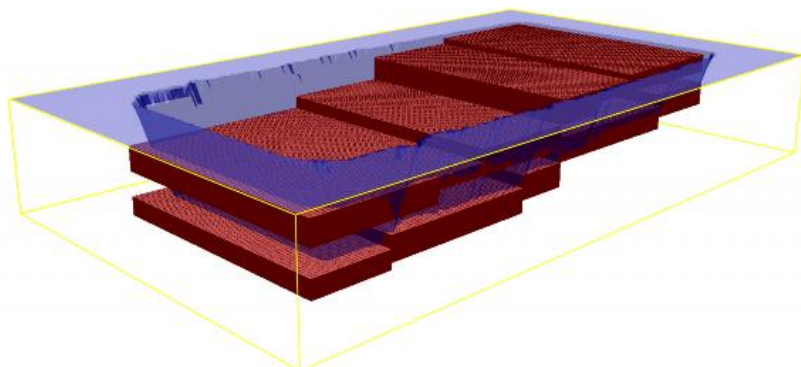
Σχήμα Δ.12: Περίπτωση 12.



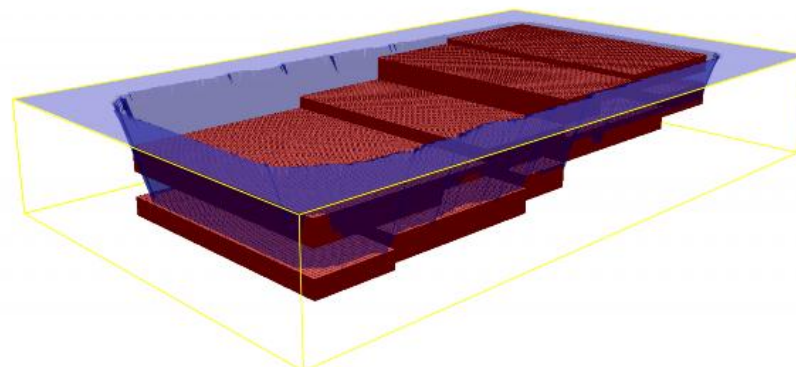
Σχήμα Δ.13: Περίπτωση 13.



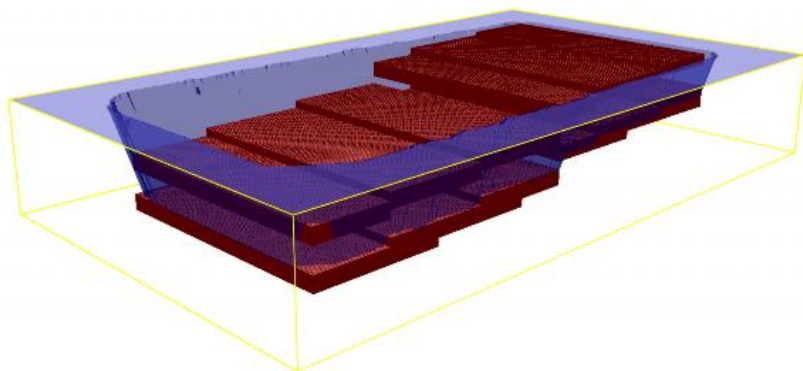
Σχήμα Δ.14: Περίπτωση 14.



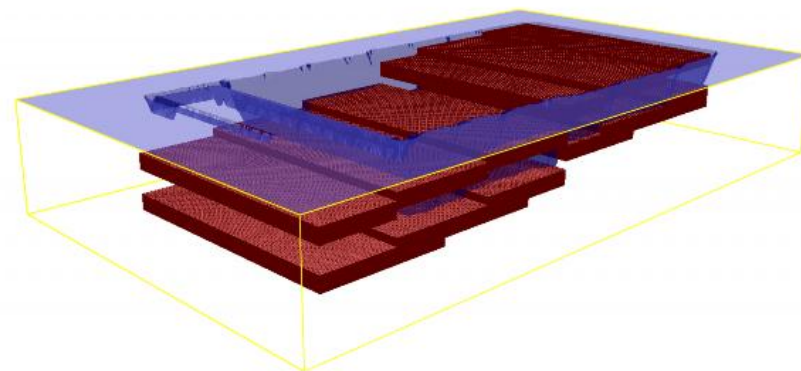
Σχήμα Δ.15: Περίπτωση 15.



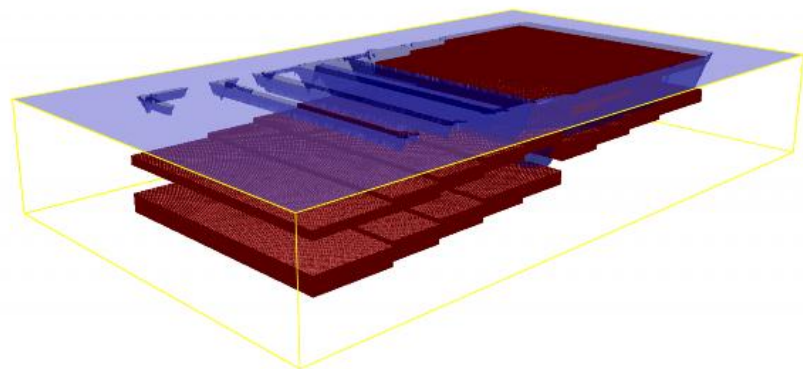
Σχήμα Δ.16: Περίπτωση 16.



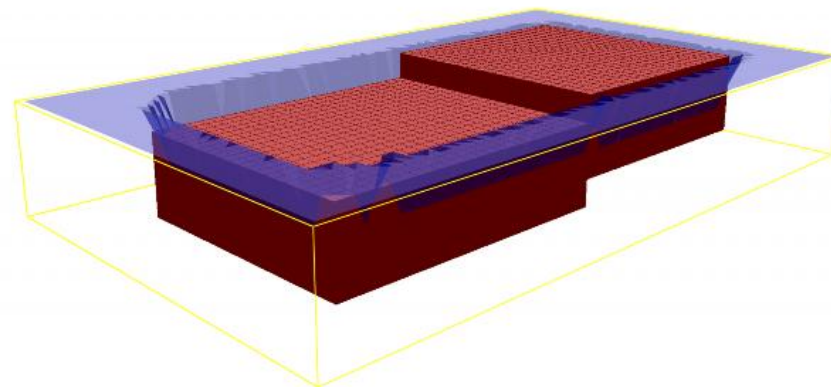
Σχήμα Δ.17: Περίπτωση 17.



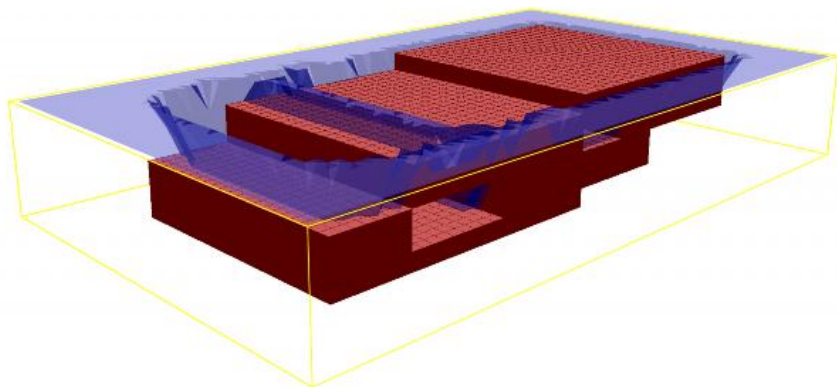
Σχήμα Δ.18: Περίπτωση 18.



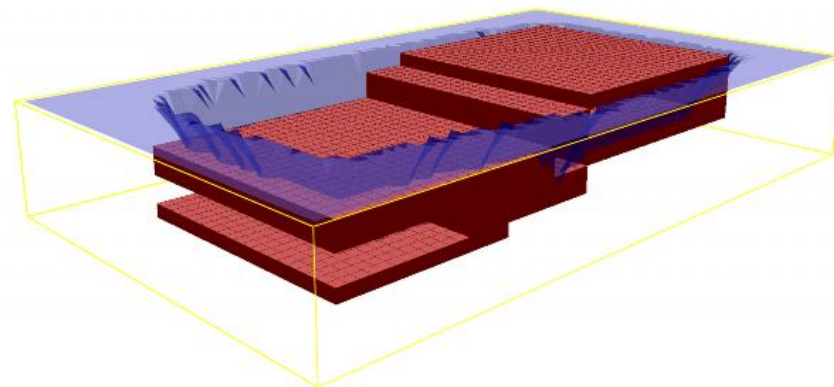
Σχήμα Δ.19: Περίπτωση 19.



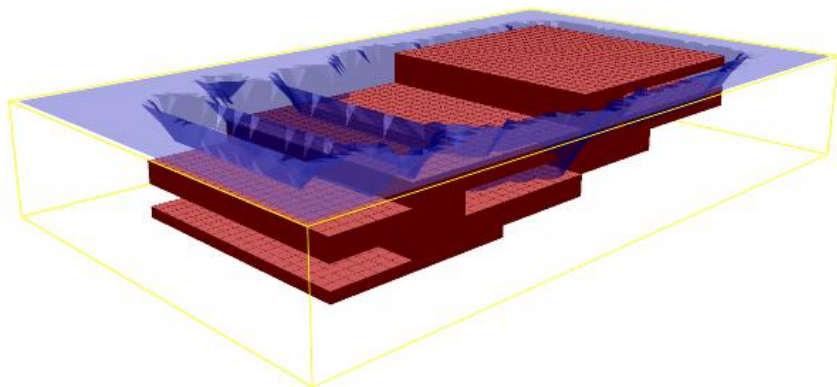
Σχήμα Δ.20: Περίπτωση 20.



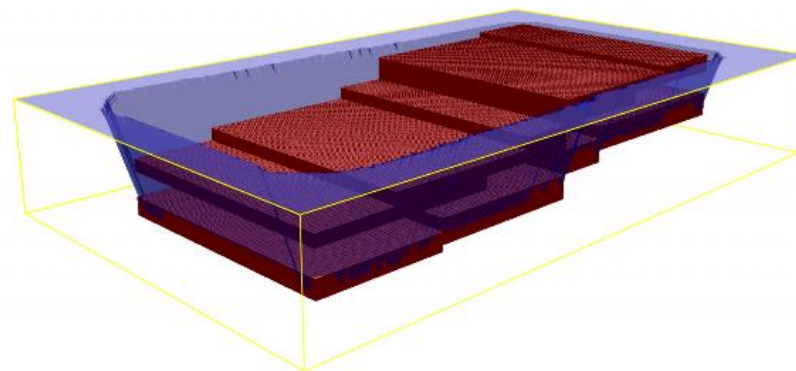
Σχήμα Δ.21: Περίπτωση 21.



Σχήμα Δ.22: Περίπτωση 22.



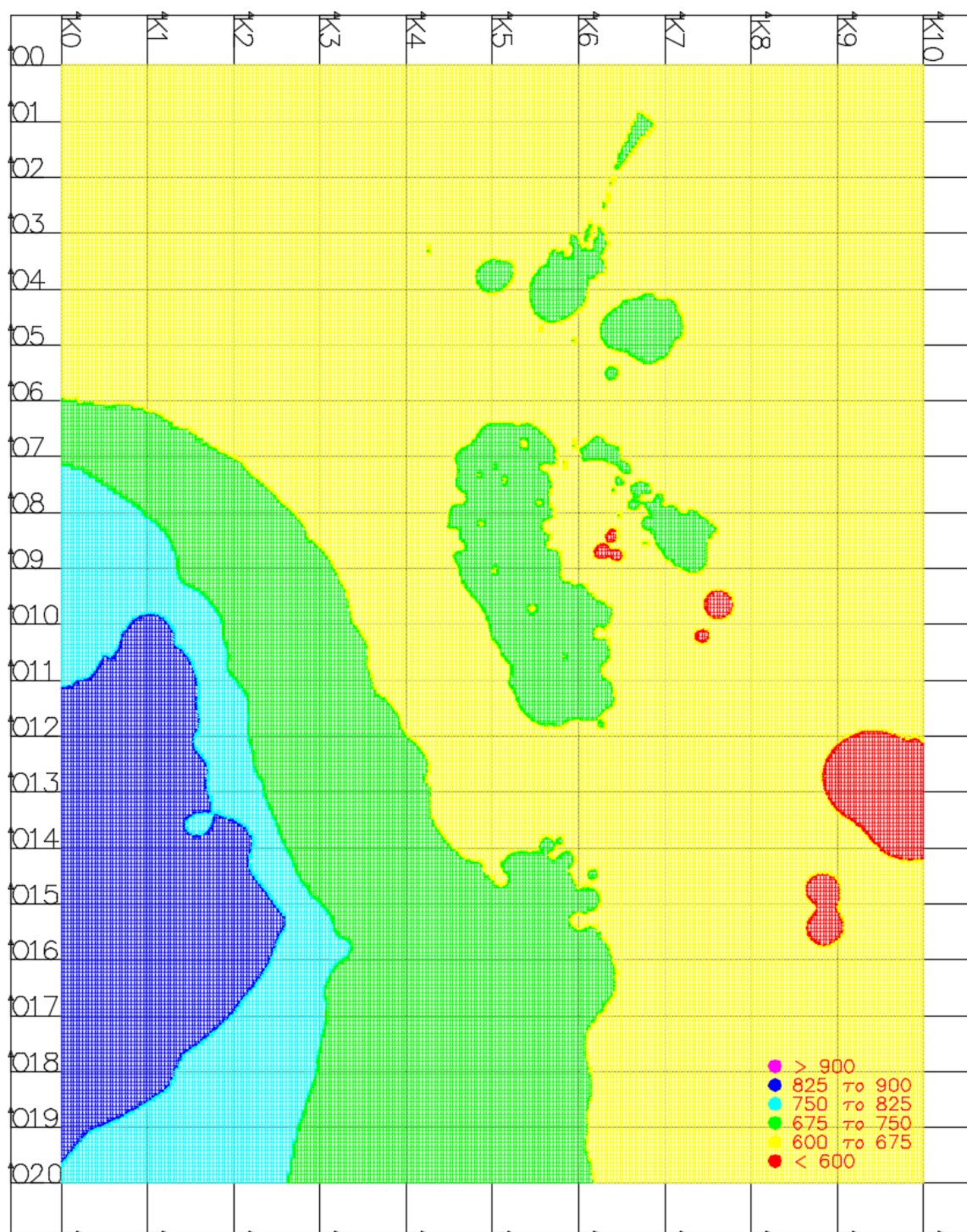
Σχήμα Δ.23: Περίπτωση 23.

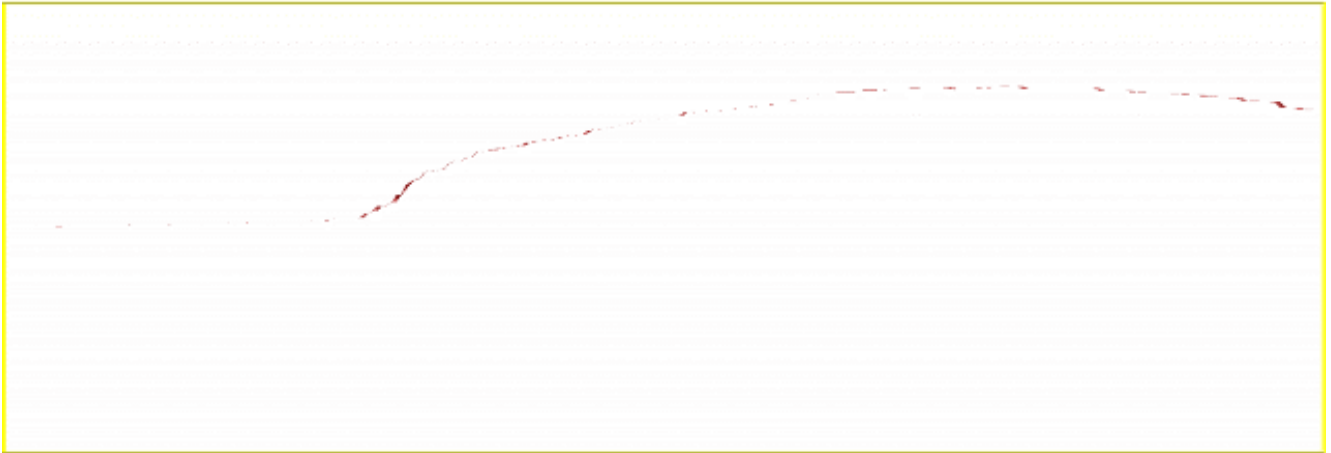


Σχήμα Δ.24: Τελική σκάφη του υποθετικού ορυχείου υπολογισμένου με το πλήρες κόστος χωρίς τις εσωτερικές αποθέσεις.

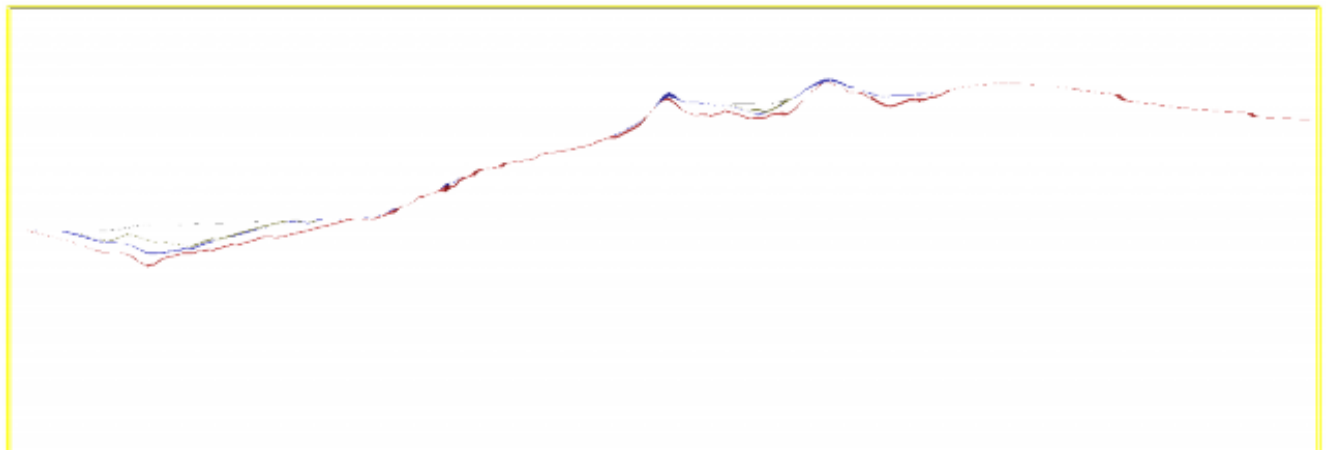
## Παράρτημα Ε: Σχέδια πραγματικού κοιτάσματος

Στα σχήματα έχουν σχεδιαστεί οι τομές του κοιτάσματος που περιλαμβάνουν τα τρία σενάρια εκσκαφών. Ορισμένα τμήματα των τομών είναι παχύτερα από κάποια άλλα, αυτό συμβαίνει γιατί σε εκείνα τα σημεία υπάρχει μεγάλη μεταβολή του ύψους του πυθμένα του ορυχείου στην τρίτη διάσταση. Δηλαδή οι τομές αυτές είναι ψευδοτριδιάστατες. Στο Σχήμα Ε.1 απεικονίζονται οι ισοϋψείς και η θέση των τομών, τα βέλη των τομών Ο στο σχήμα δείχνουν το βορρά. Οι Κ τομές απέχουν μεταξύ τους 800m και οι Ο 500m. Το μήκος της κάθε κατακόρυφης τομής είναι 11 km και της κάθε οριζόντιας 8.5 km. Το ύψος των τομών έχει σχεδιαστεί με πενταπλάσια κλίμακα από το μήκος.

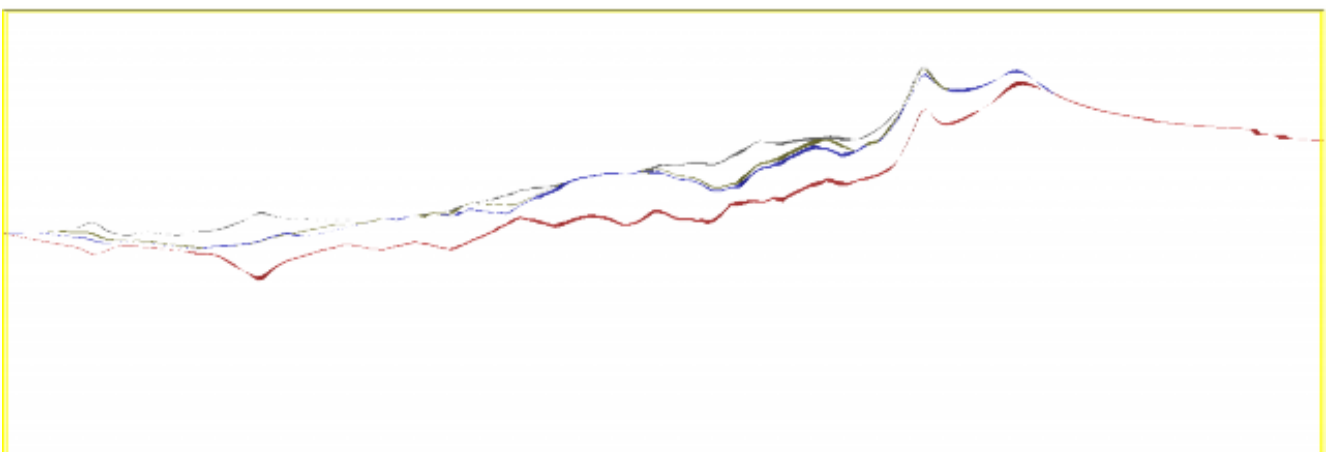




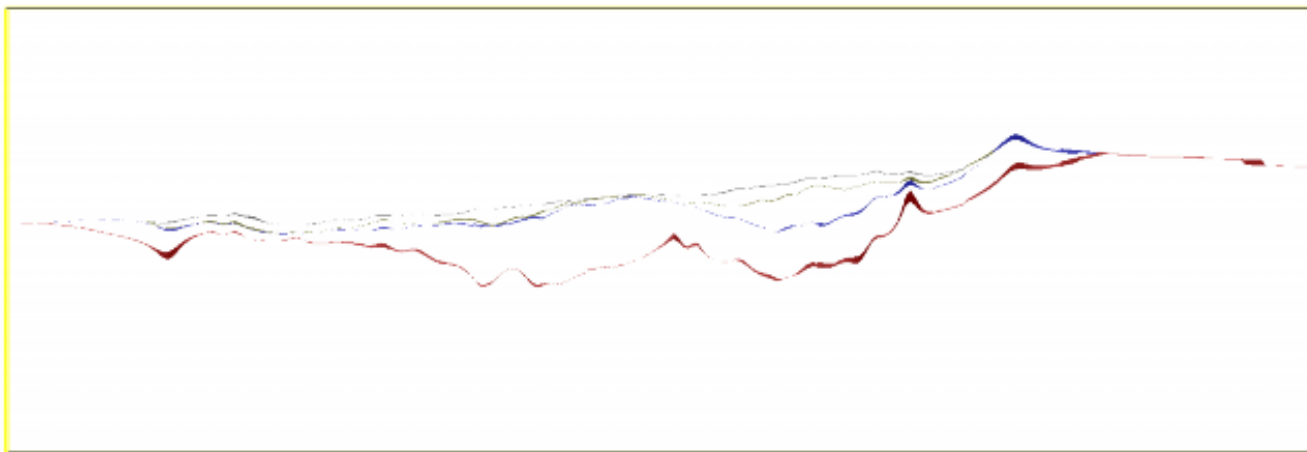
Σχήμα Ε.2: Τομή SK0.



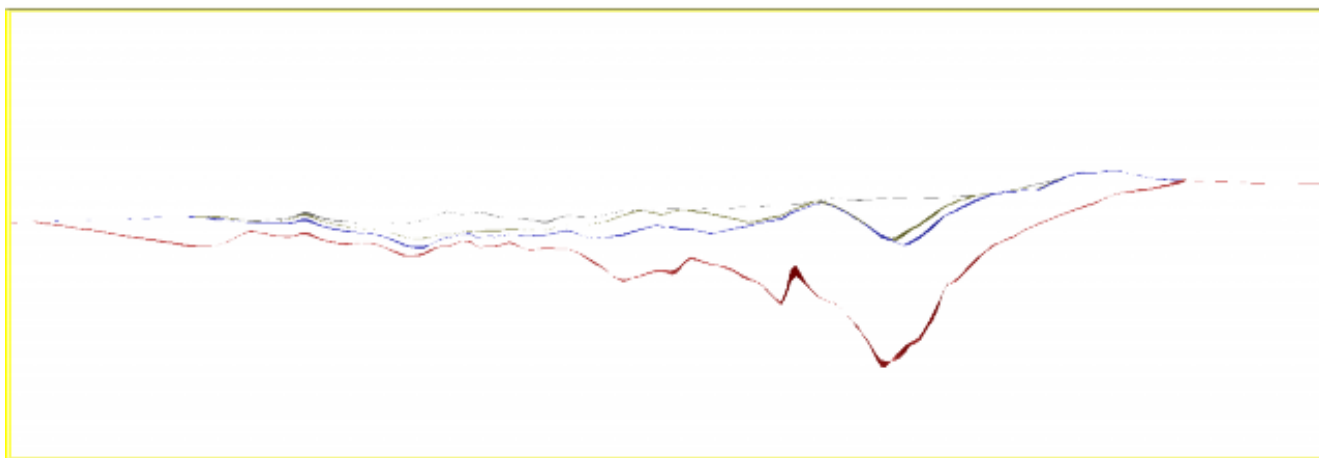
Σχήμα Ε.3: Τομή SK1



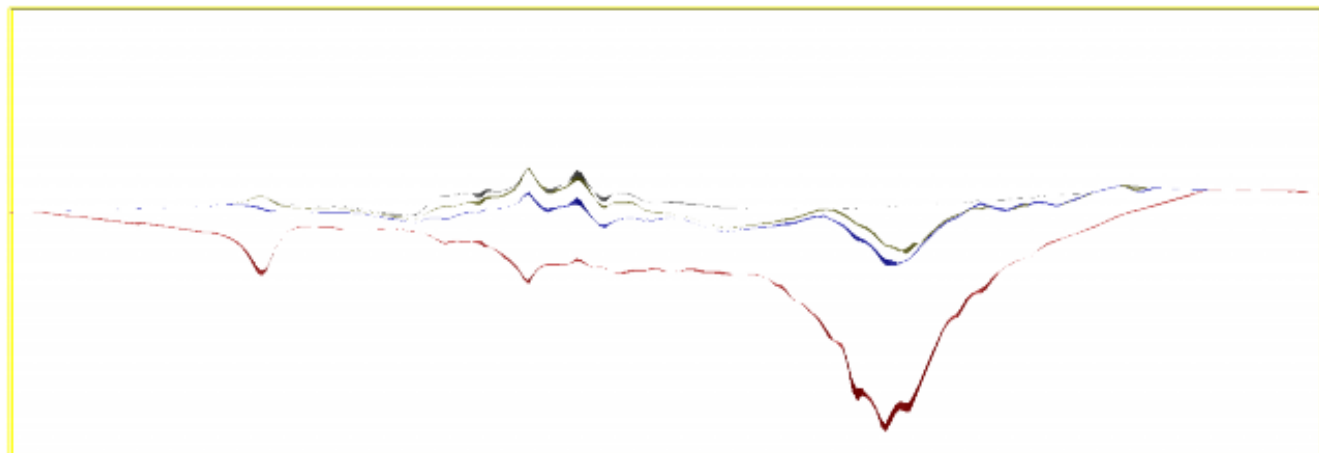
Σχήμα Ε.4: Τομή SK2.



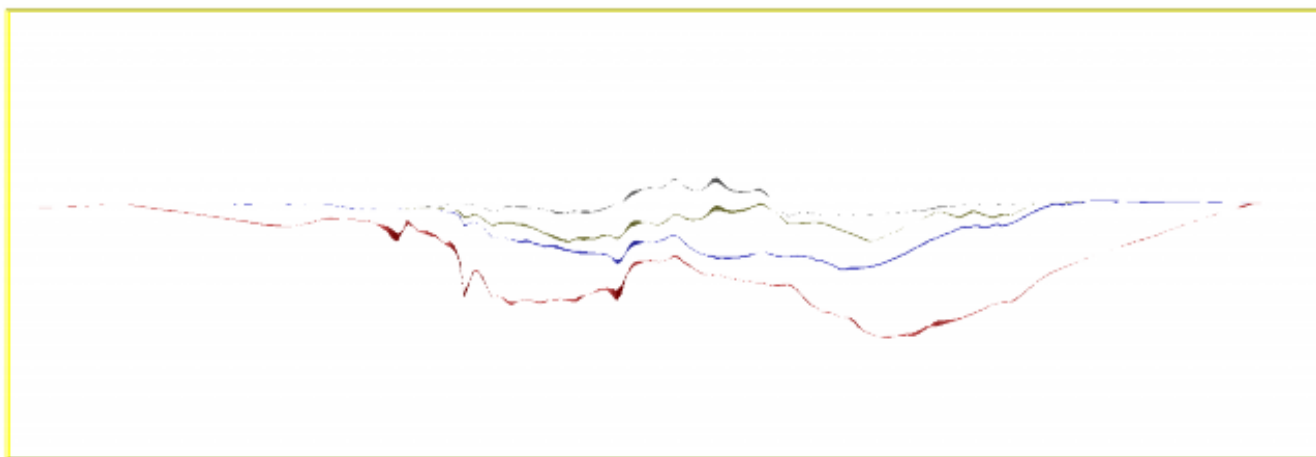
Σχήμα E.5: Τομή SK3.



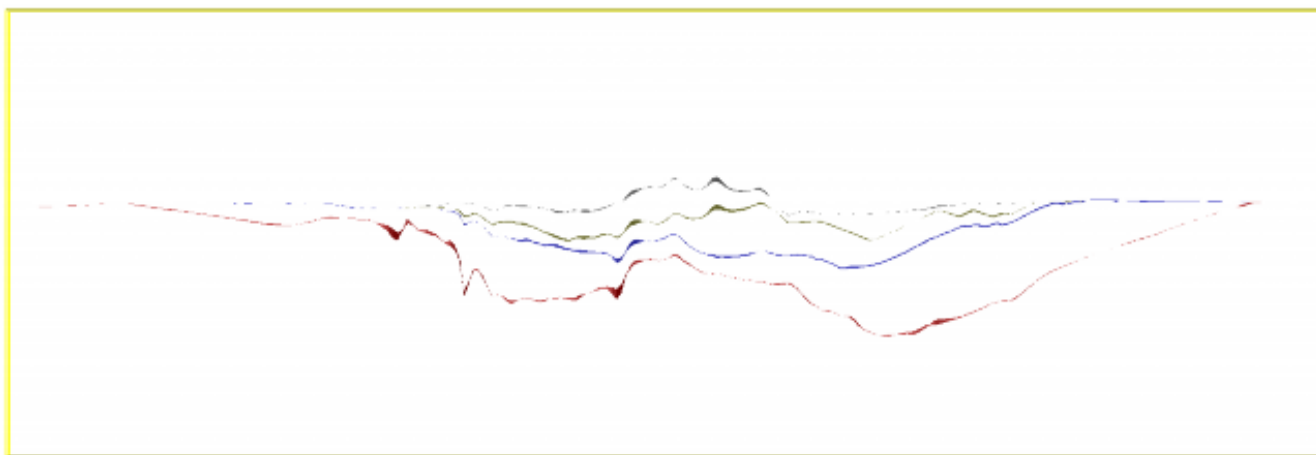
Σχήμα E.6: Τομή SK4.



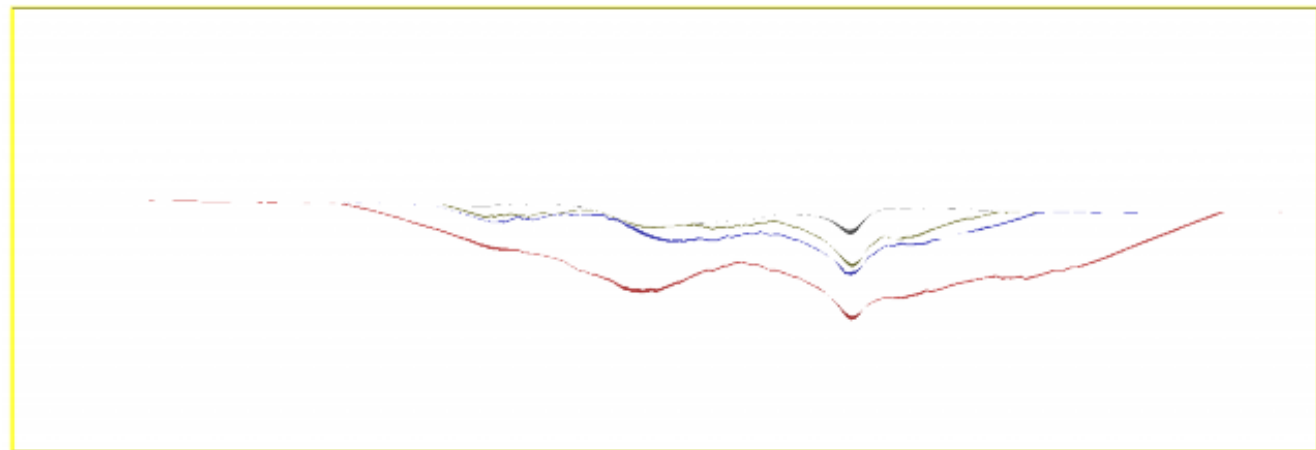
Σχήμα E.7: Τομή SK5.



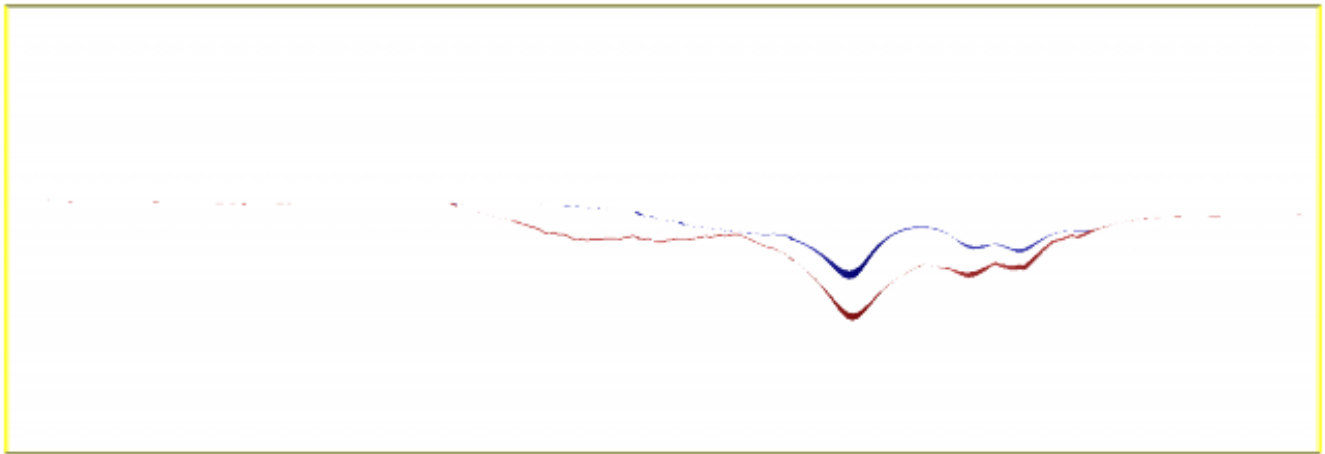
Σχήμα E.8: Τομή SK6.



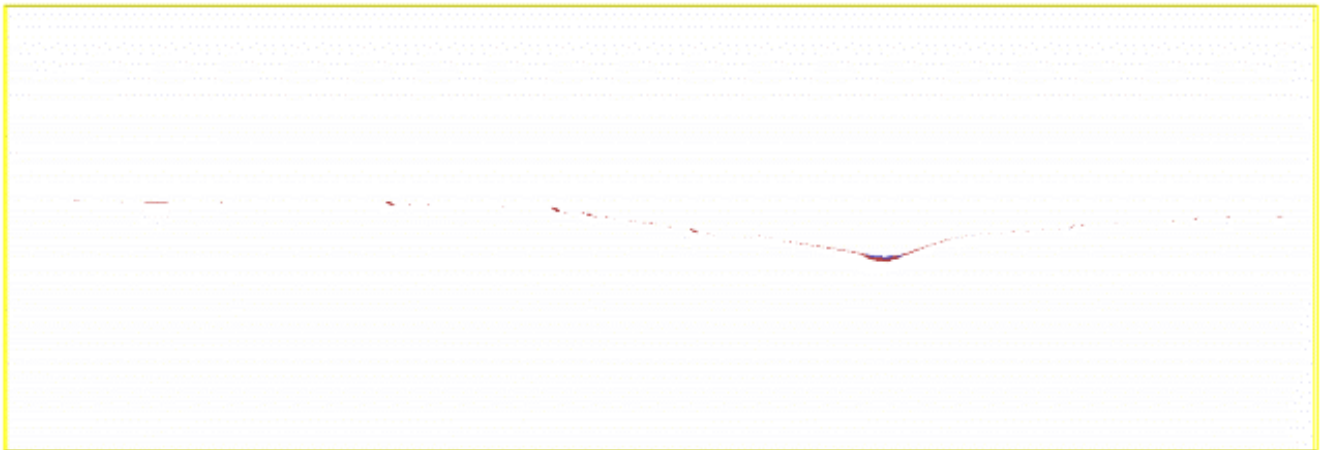
Σχήμα E.9: Τομή SK7.



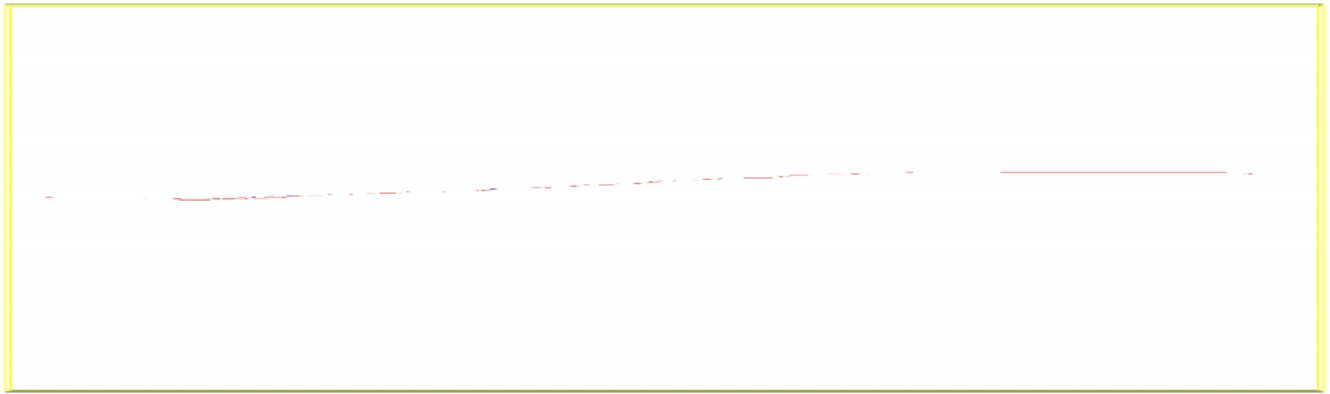
Σχήμα E.10: Τομή SK8.



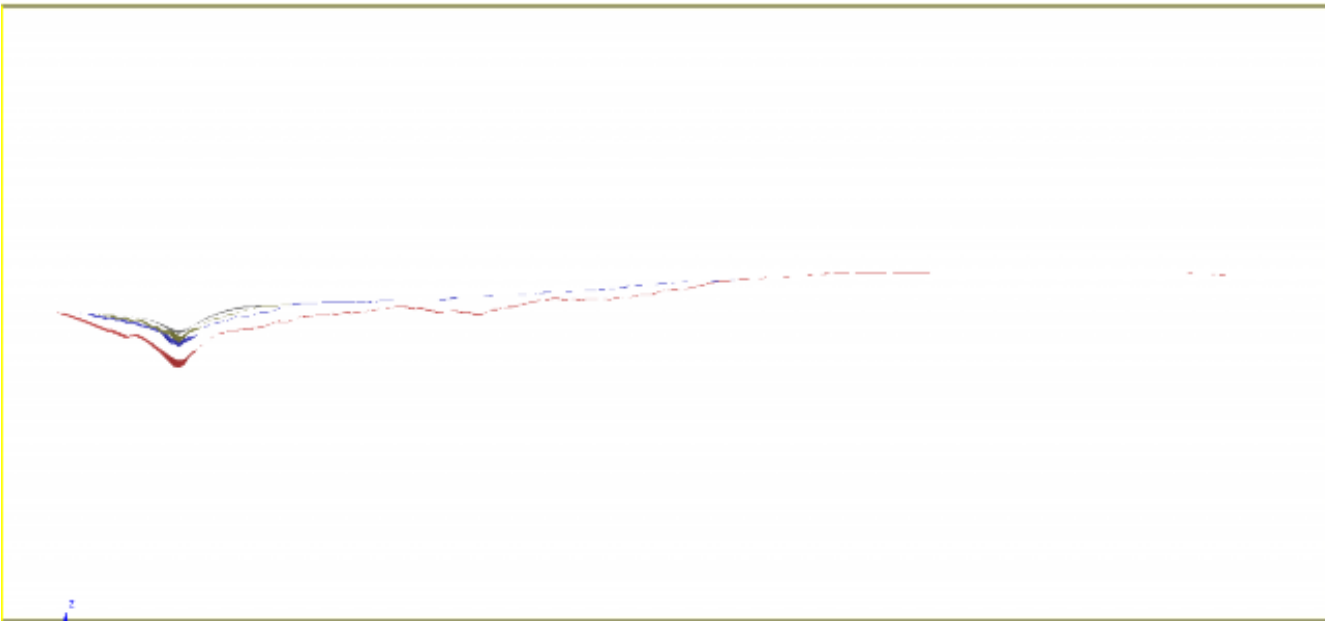
Σχήμα E.11: Τομή SK9



Σχήμα E.12: Τομή SK10.



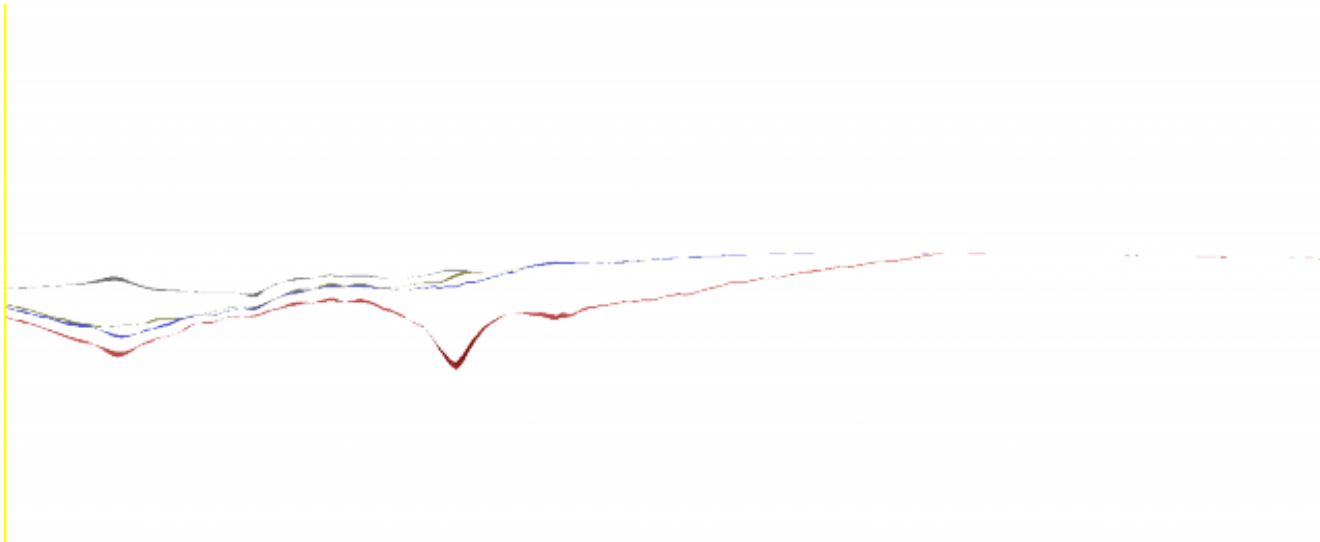
Σχήμα E.13: Τομή SO0



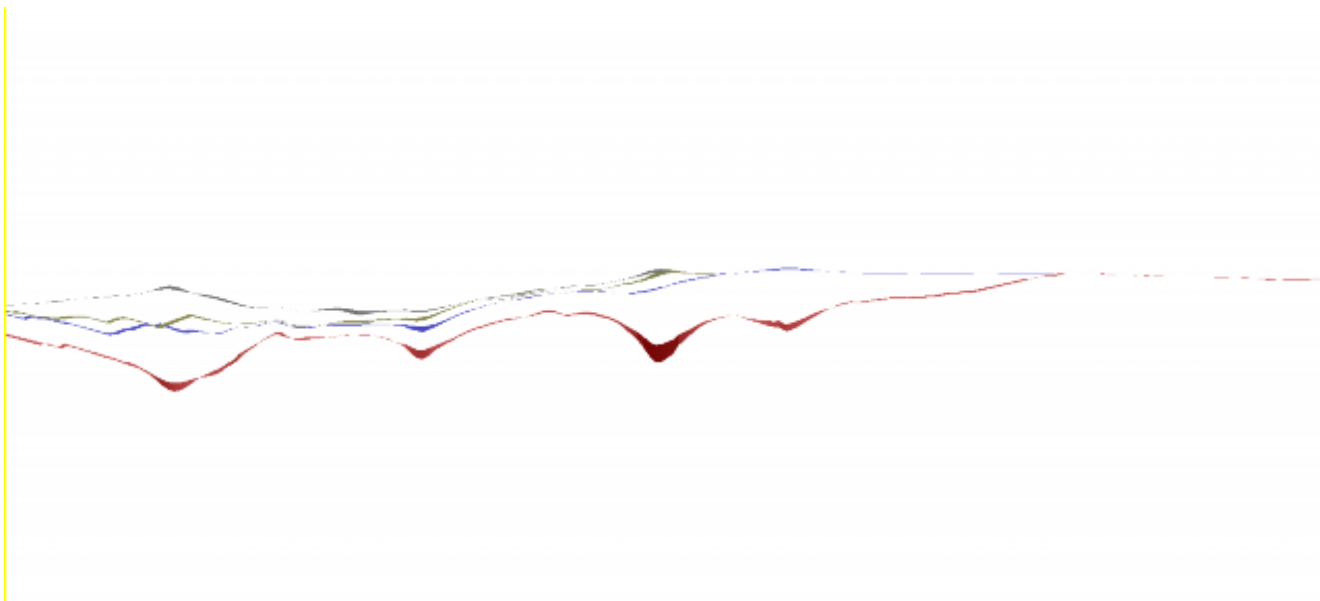
Σχήμα E.14: Τομή SO1



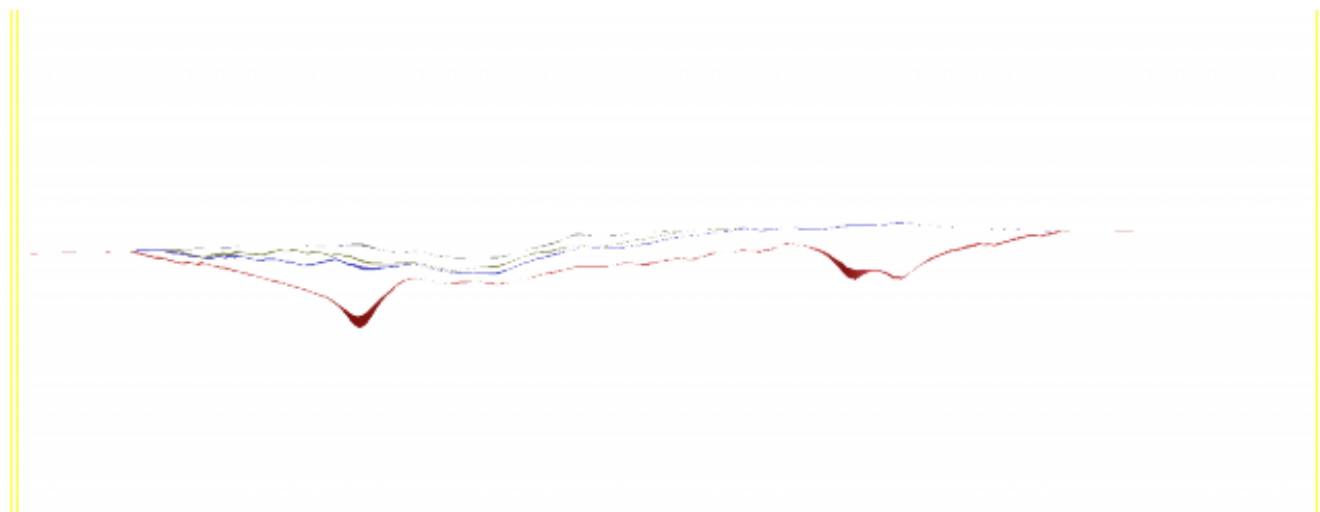
Σχήμα E.15: Τομή SO2.



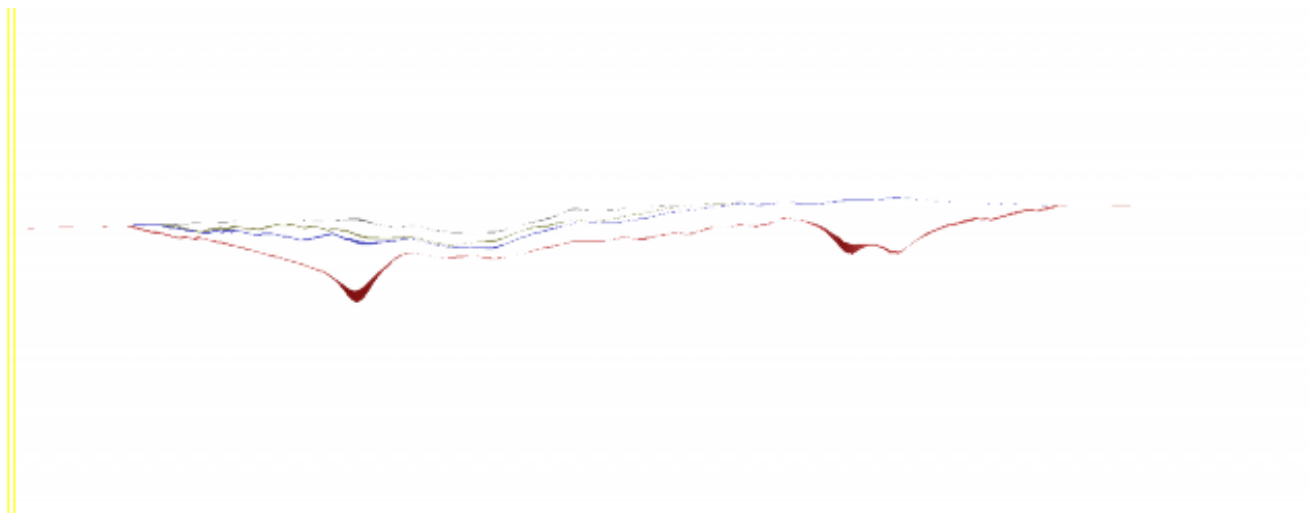
Σχήμα E.16: Τομή SO3.



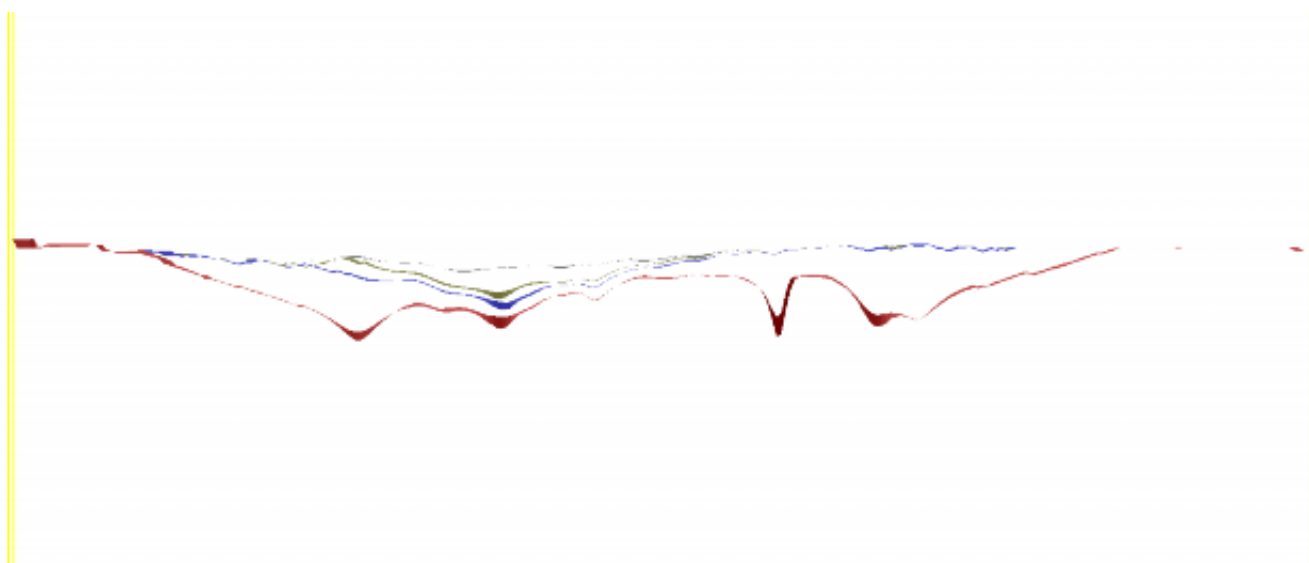
Σχήμα E.17: Τομή SO4.



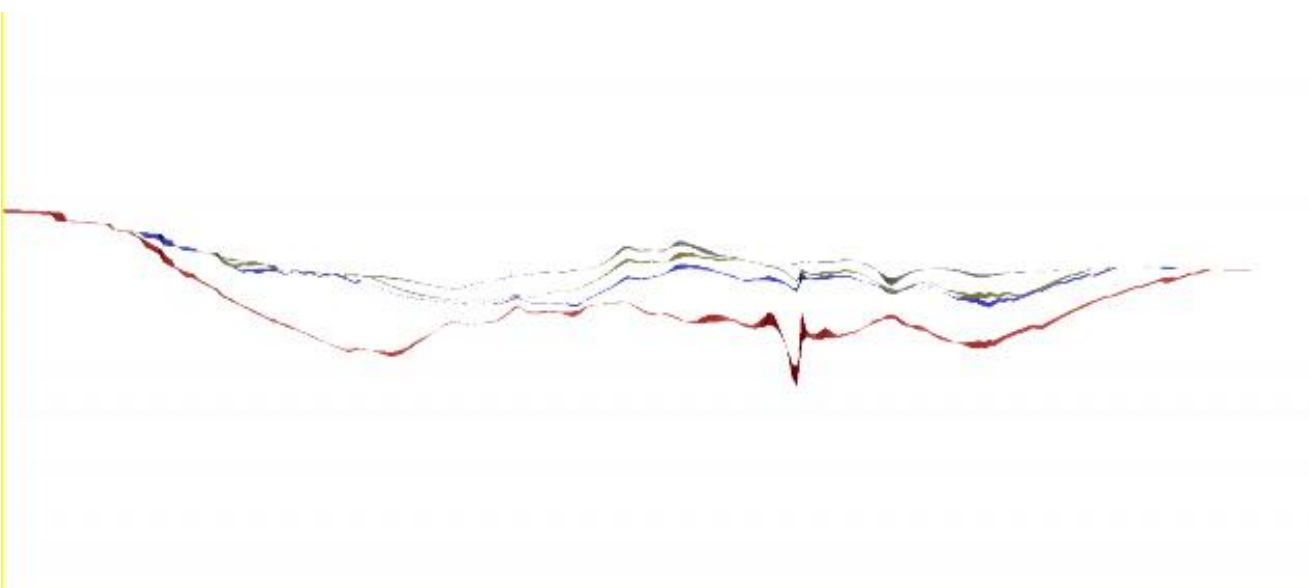
Σχήμα E.18: Τομή SO5.



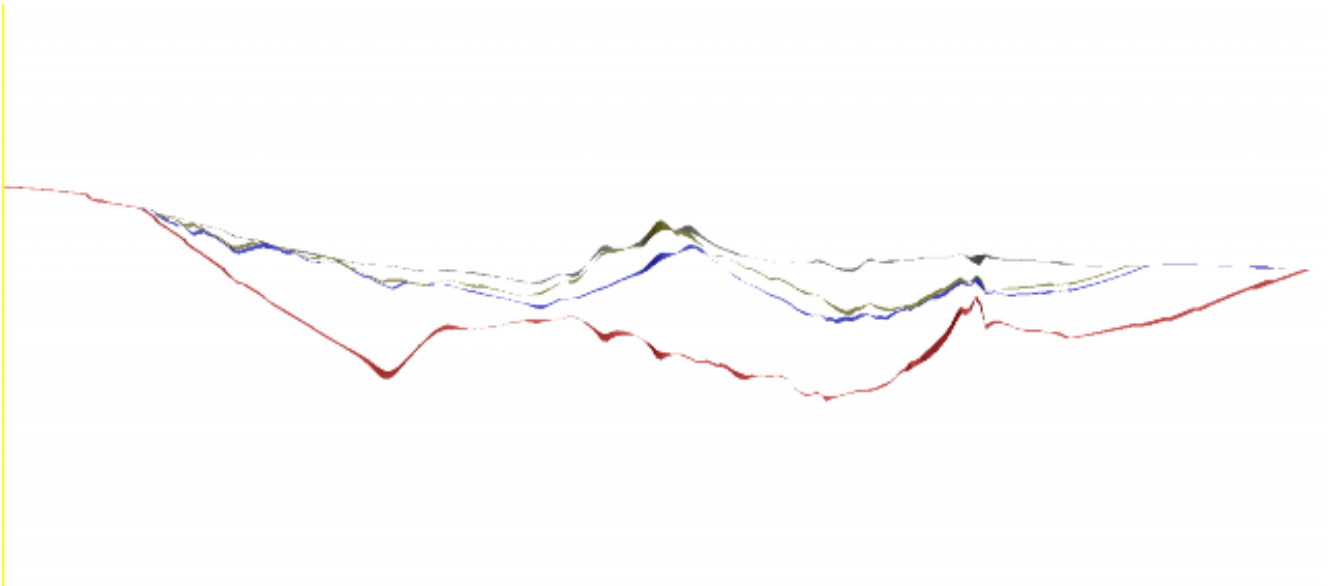
Σχήμα E.19: Τομή SO6.



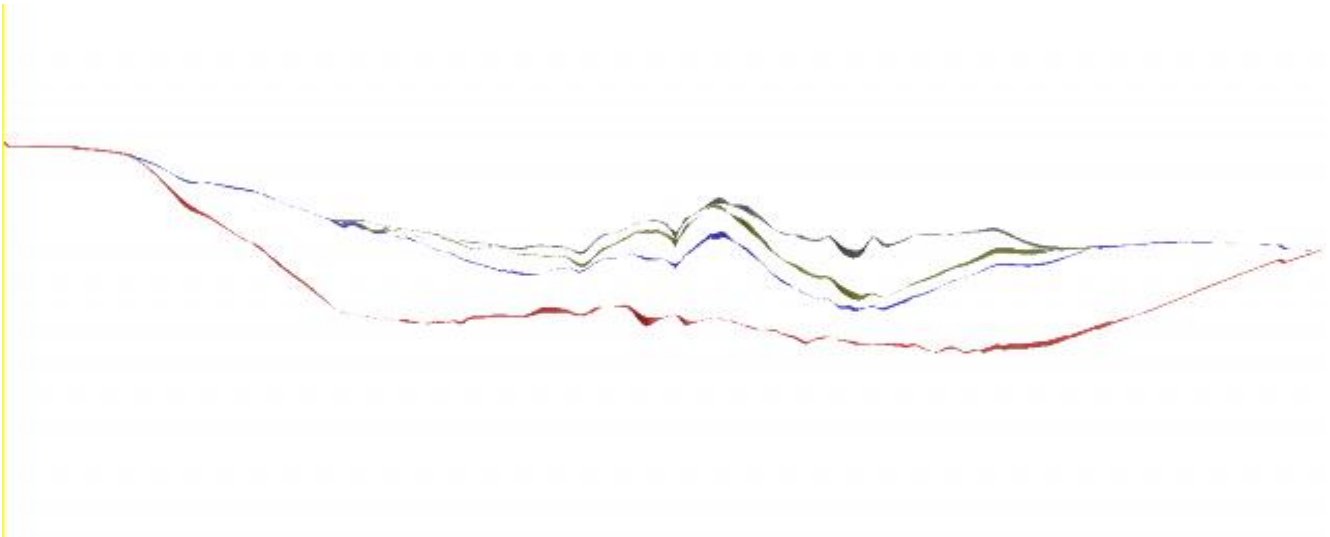
Σχήμα E.20: Τομή SO7.



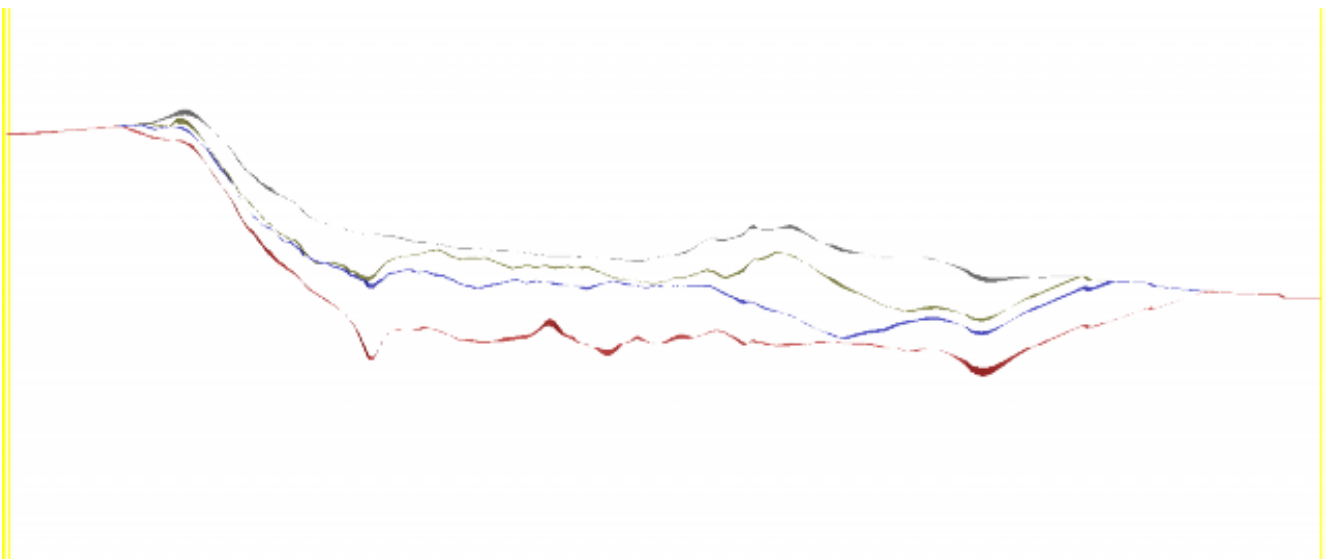
Σχήμα E.21: Τομή SO8.



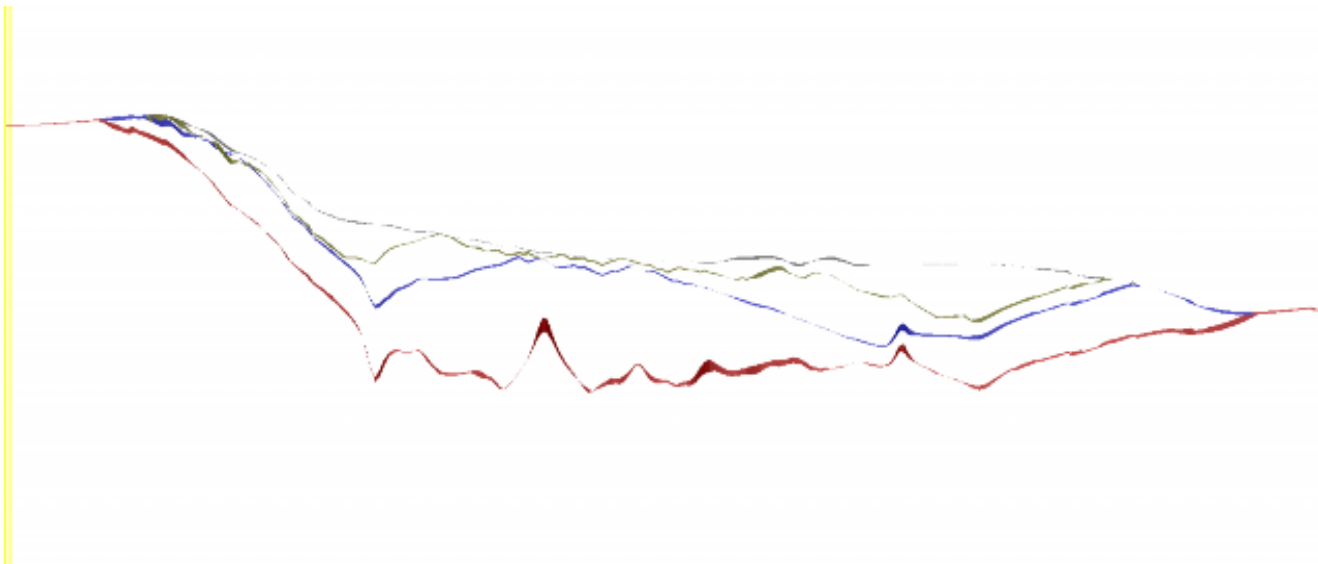
Σχήμα E.22: Τομή SO9.



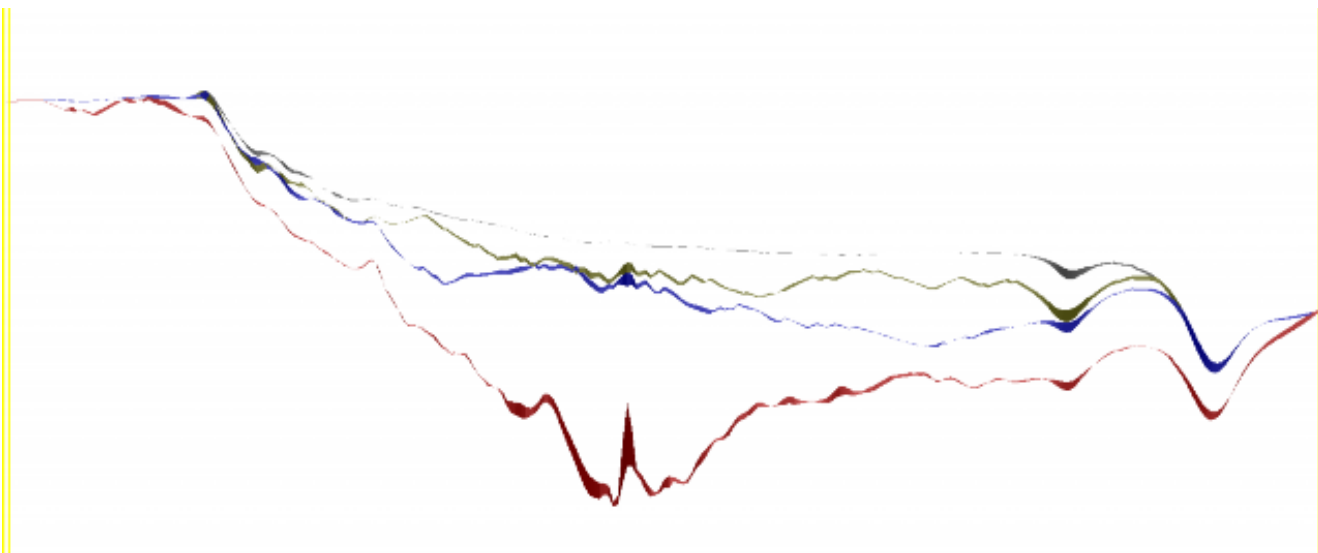
Σχήμα E.23: Τομή SO10



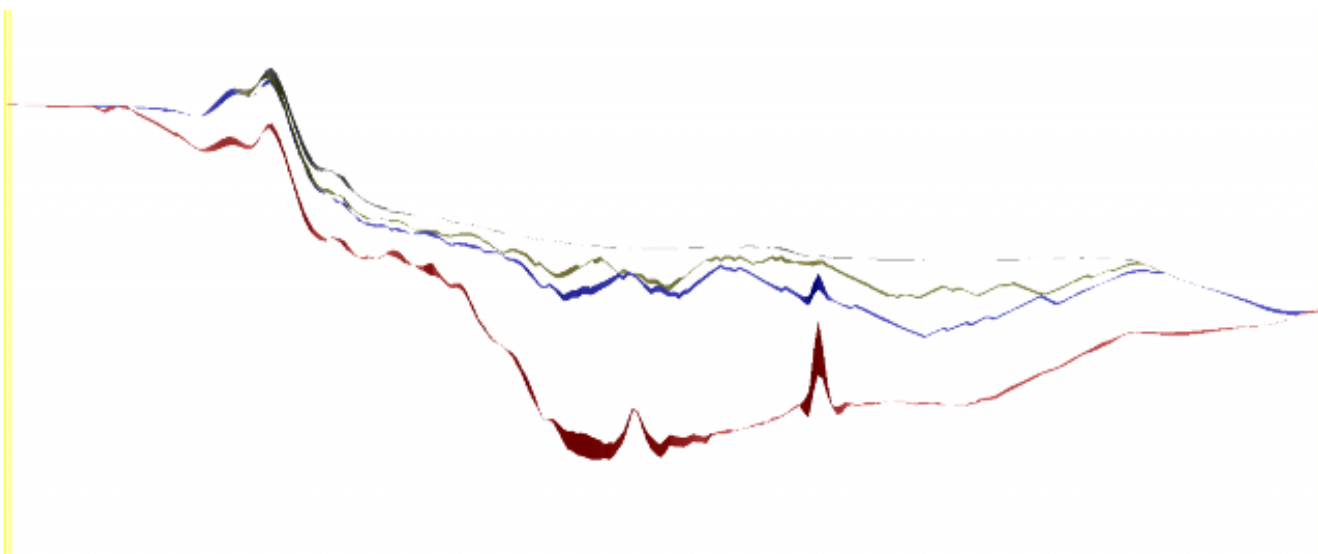
Σχήμα E.24: Τομή SO11.



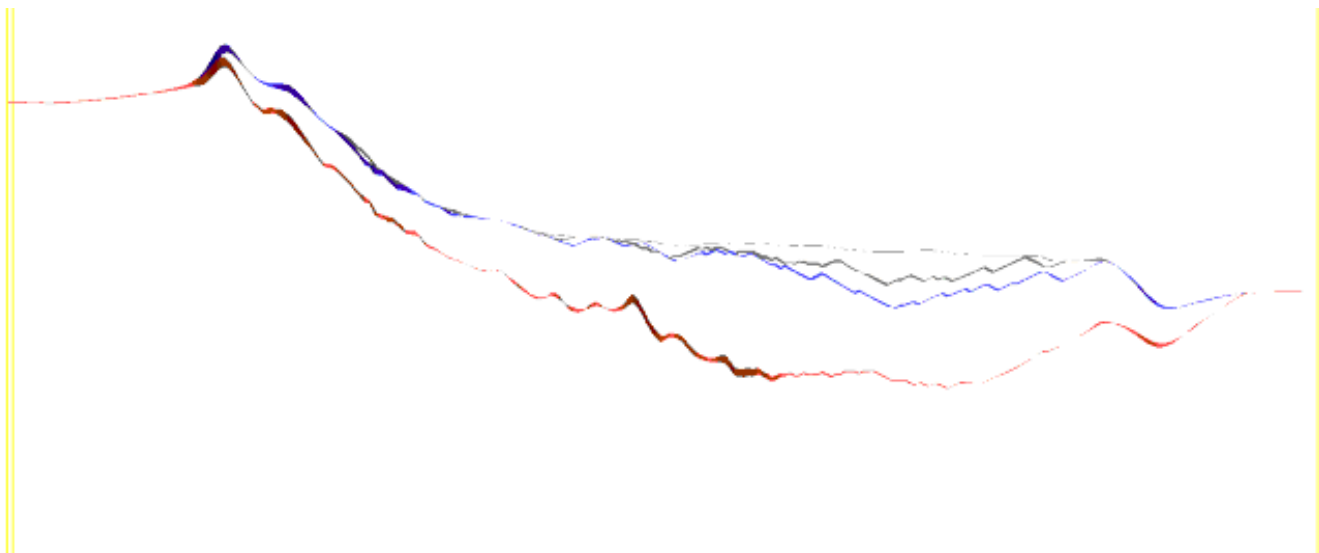
Σχήμα E.25: Τομή SO12.



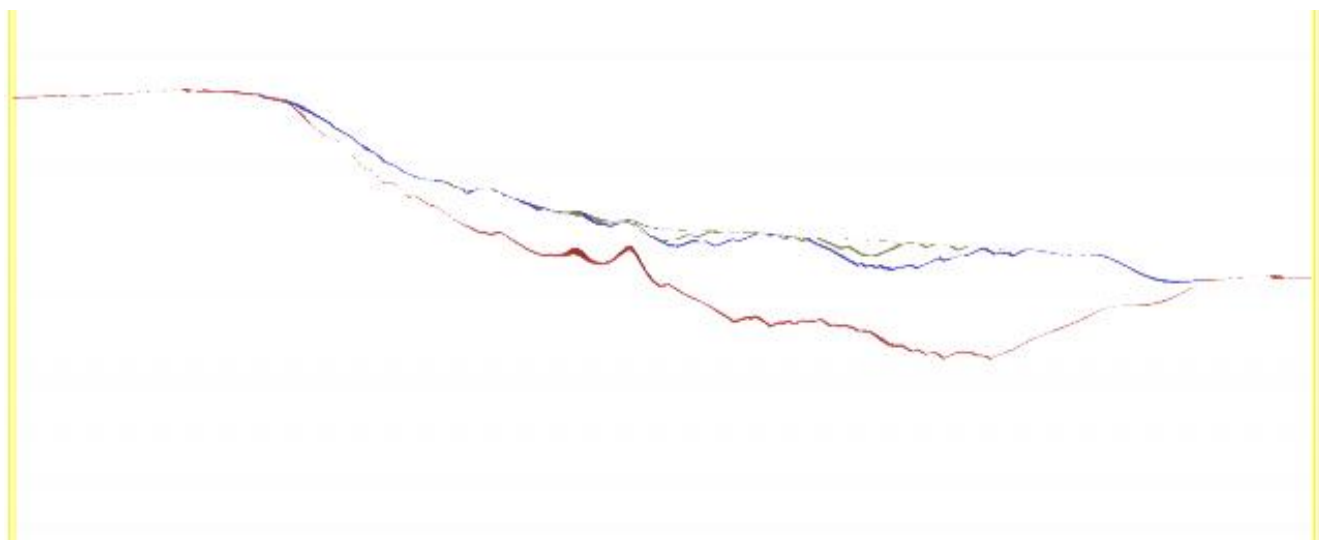
Σχήμα E.26: Τομή SO13.



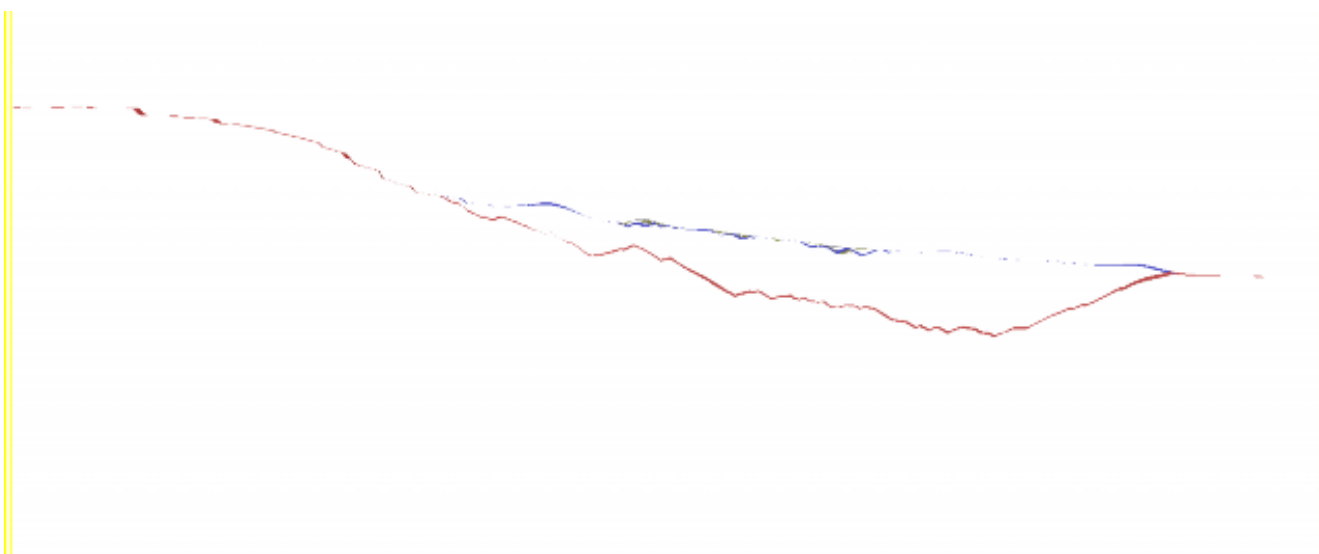
Σχήμα E.27: Τομή SO14.



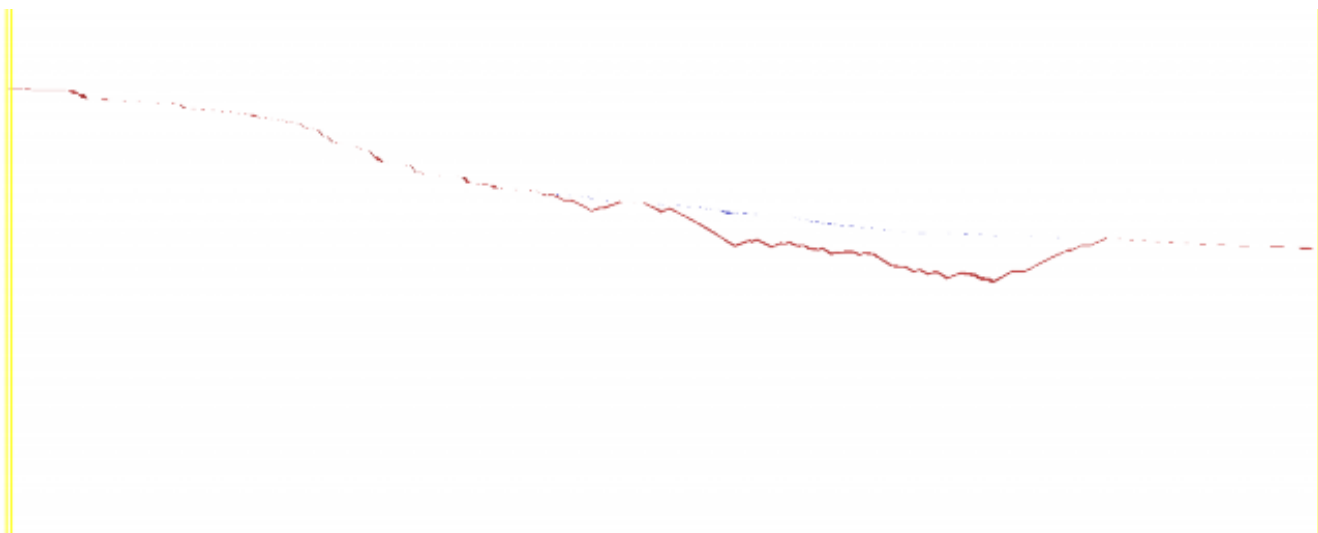
Σχήμα E.28: Τομή SO15.



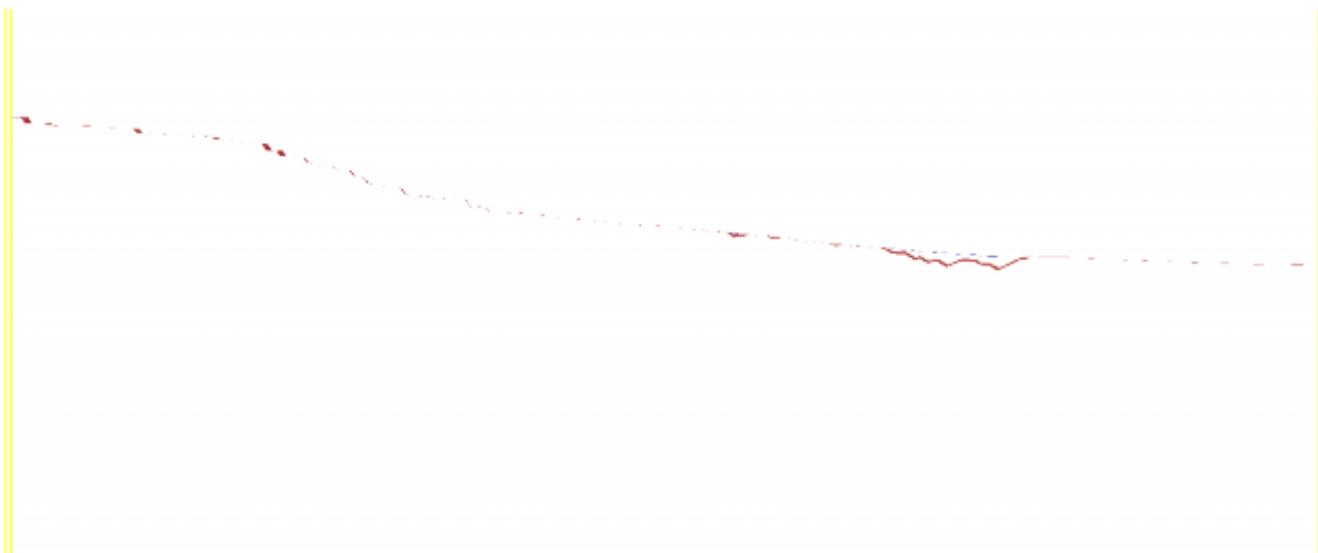
Σχήμα E.29: Τομή SO16.



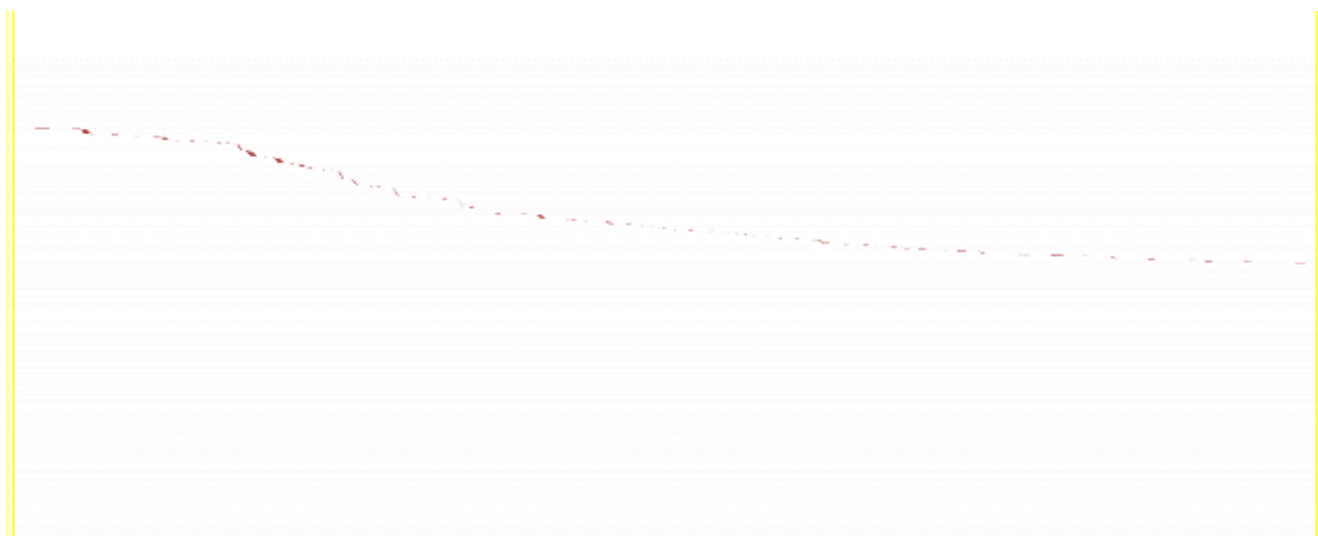
Σχήμα E.30: Τομή SO17.



Σχήμα E.31: Τομή SO18.




















Σχήμα E.32: Τομή SO19.



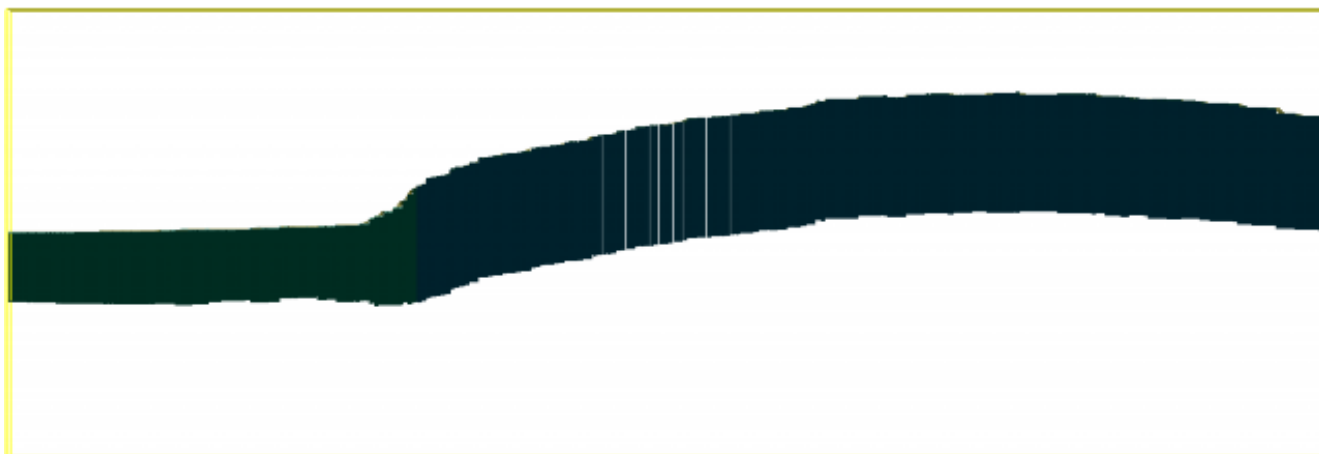
Σχήμα E.33: Τομή SO20.

Στα σχήματα που ακολουθούν έχουν σχεδιαστεί κατακόρυφες και οριζόντιες τομές των μεταλλευτικών ομοιωμάτων του κοιτάσματος και τα όρια της τελικής εκσκαφής για κάθε περίπτωση. Οι τομές του μεταλλευτικού ομοιώματος έχουν σχεδιαστεί με βάση την χρωματική κλίμακα του πίνακα που ακολουθεί.

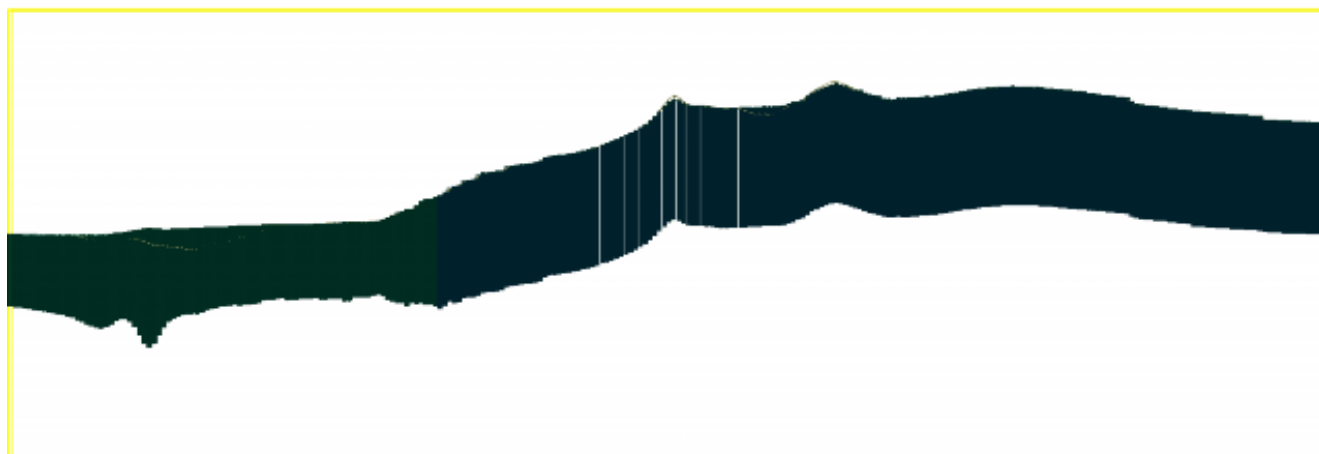
Πίνακας Ε.1: Κατηγορίες αποθεμάτων, εύρος αξιών και ειδικών αξιών, κωδικός χρώματος και χρώμα κατηγοριών.

Κατηγορία αποθεμάτων	Εύρος αξίας [€]	Εύρος ειδικής αξίας [€/m <sup>3</sup> ]	Κωδικός χρώματος	Χρώμα
A6	<-30000	<-2.5	84	
A5	-30000 έως -25000	-2.5 έως -2.1	94	
A4	-25000 έως -20000	-2.1 έως -1.7	104	
A3	-20000 έως -15000	-1.7 έως -1.3	114	
A2	-15000 έως -10000	-1.3 έως -0.8	124	
A1	-10000 έως -5000	-0.8 έως -0.4	144	
A0	-5000 έως 0	-0.4 έως 0.0	154	
L1	0 έως 100000	0.0 έως 8.3	164	
L2	100000 έως 200000	8.3 έως 16.7	174	
L3	200000 έως 300000	16.7 έως 25.0	184	
L4	300000 έως 400000	25.0 έως 33.3	194	
L5	400000 έως 500000	33.3 έως 41.7	204	
L6	500000 έως 600000	41.7 έως 50.0	214	
L7	600000 έως 700000	50.0 έως 58.3	224	
L8	700000 έως 800000	58.3 έως 66.7	234	
L9	800000 έως 900000	66.7 έως 75.0	244	
L10	>900000	>75.0	12	

## Τομές πρώτης περίπτωσης



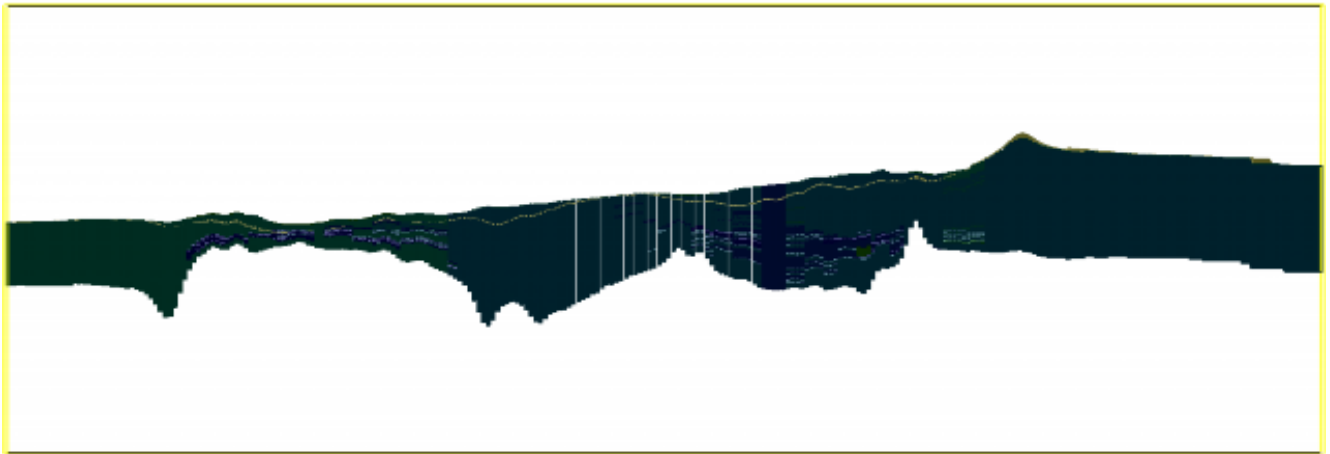
Σχήμα E.34: Τομή 1Κ0.



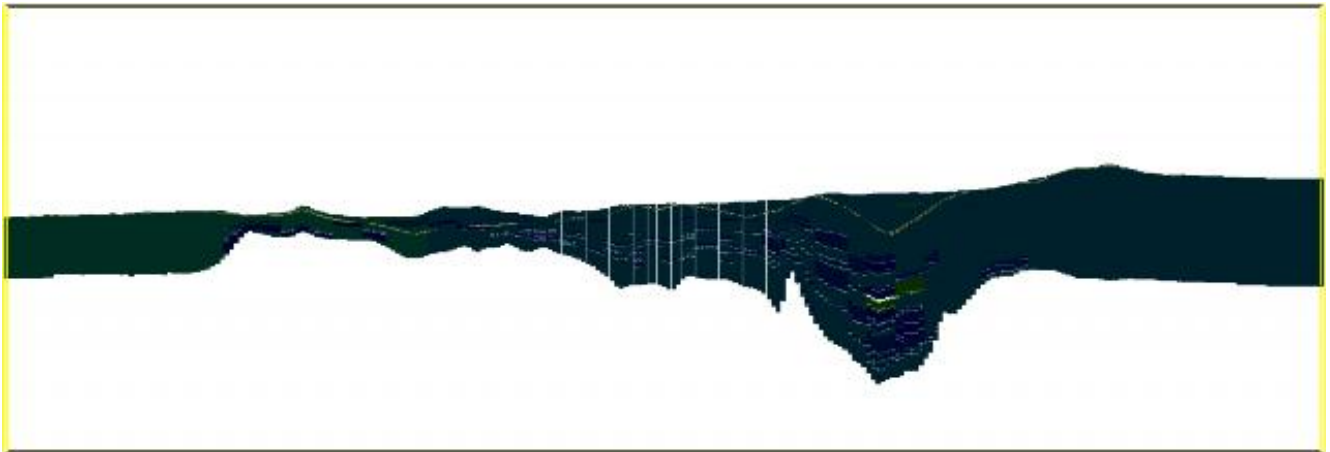
Σχήμα E.35: Τομή 1Κ1.



Σχήμα E.36: Τομή 1Κ2.



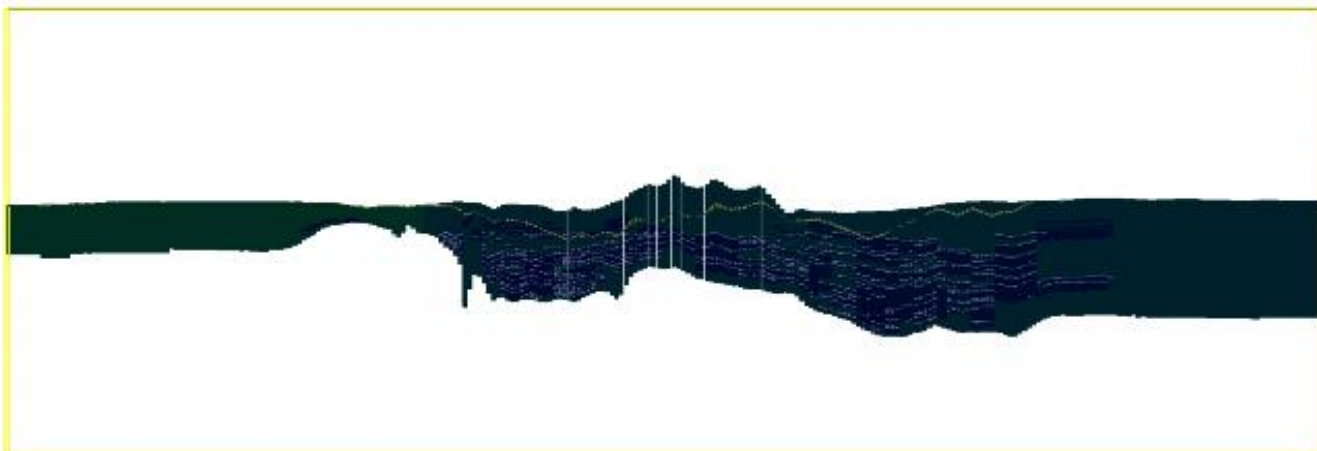
Σχήμα Ε.37: Τομή 1Κ3.



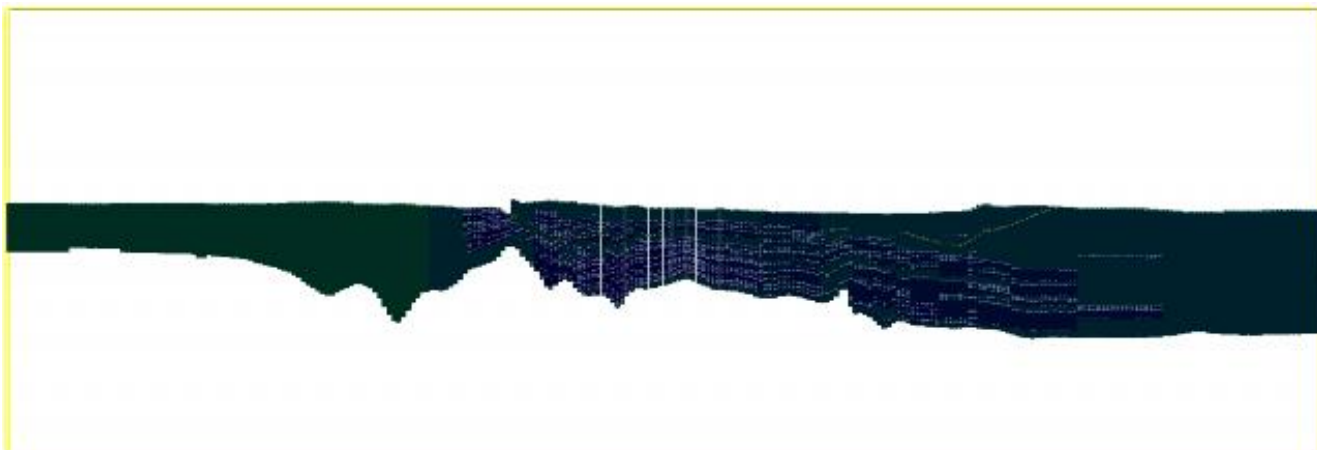
Σχήμα Ε.38: Τομή 1Κ4.



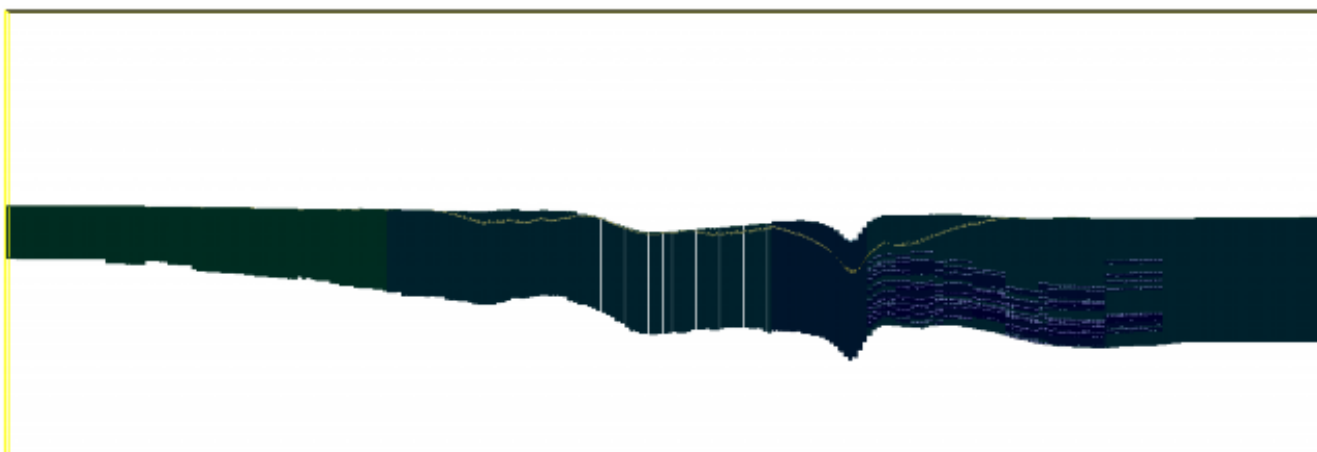
Σχήμα Ε.39: Τομή 1Κ5.



Σχήμα E.40: Τομή 1Κ6.



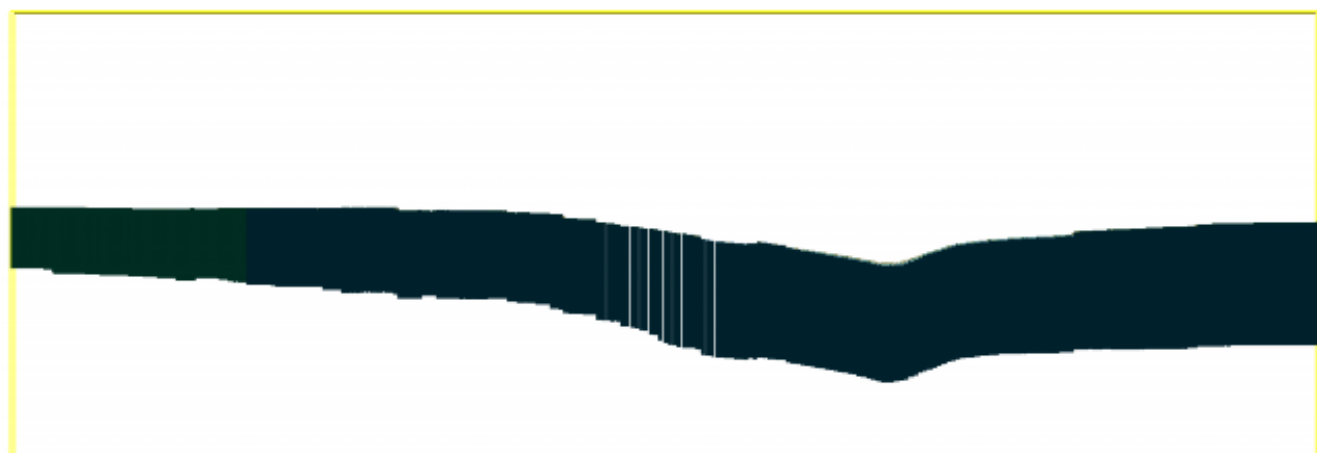
Σχήμα E.41: Τομή 1Κ7.



Σχήμα E.42: Τομή 1Κ8.



Σχήμα Ε.43: Τομή 1Κ9.



Σχήμα Ε.44: Τομή 1Κ10.



Σχήμα Ε.45: Τομή 100.



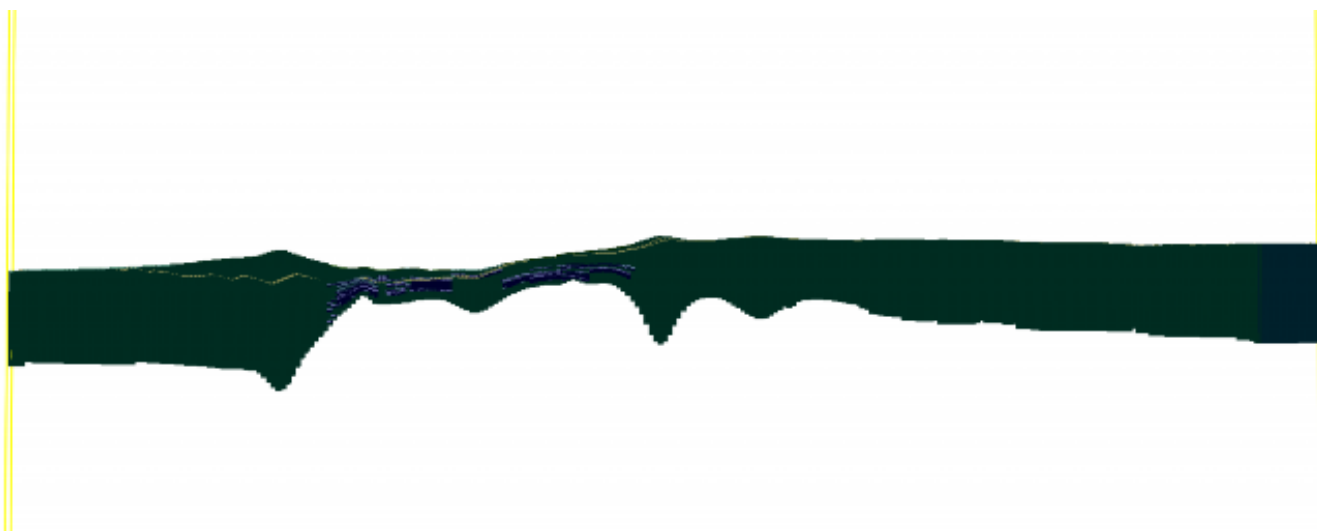
Σχήμα Ε.46: Τομή 101.



Σχήμα Ε.47: Τομή 102.



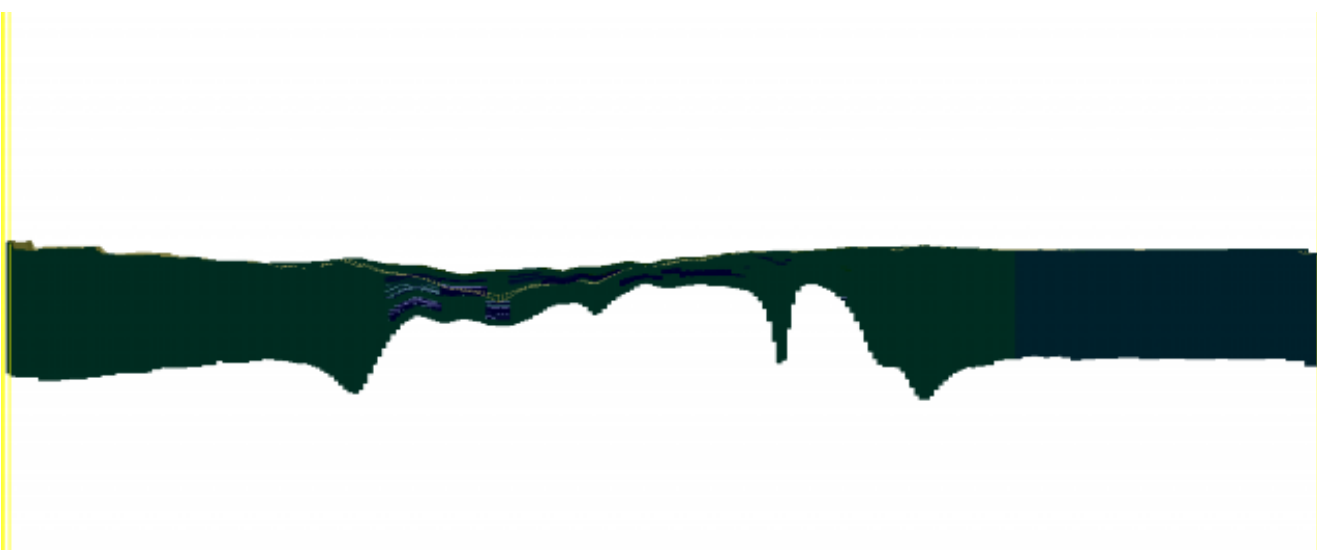
Σχήμα Ε.48: Τομή 103.



Σχήμα Ε.49: Τομή 104.



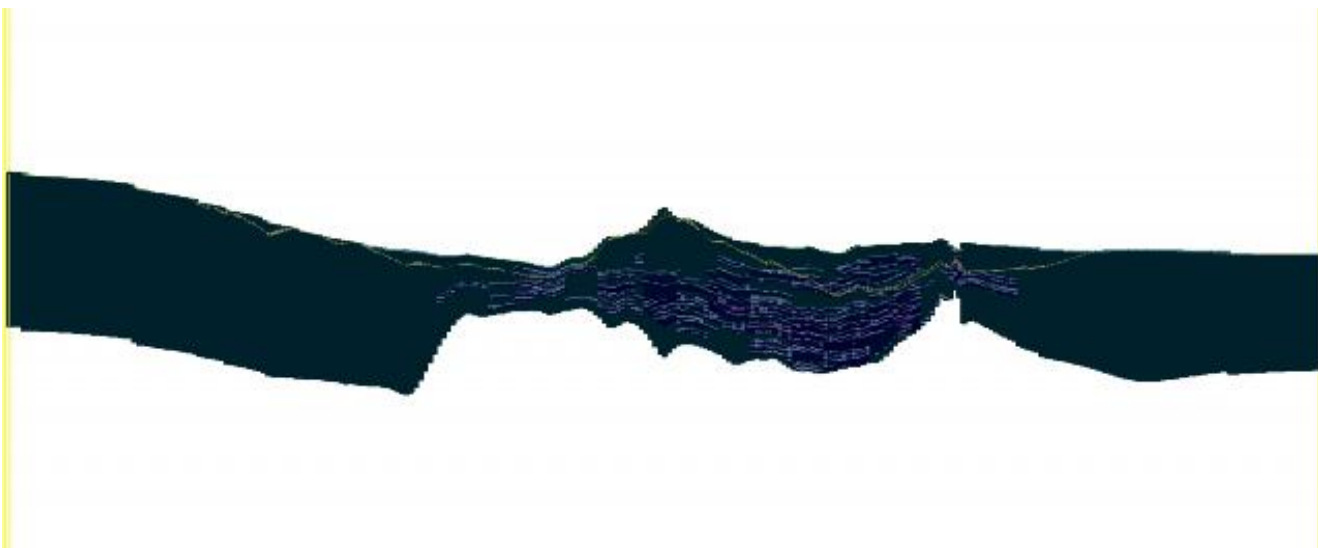
Σχήμα Ε.50: Τομή 105.



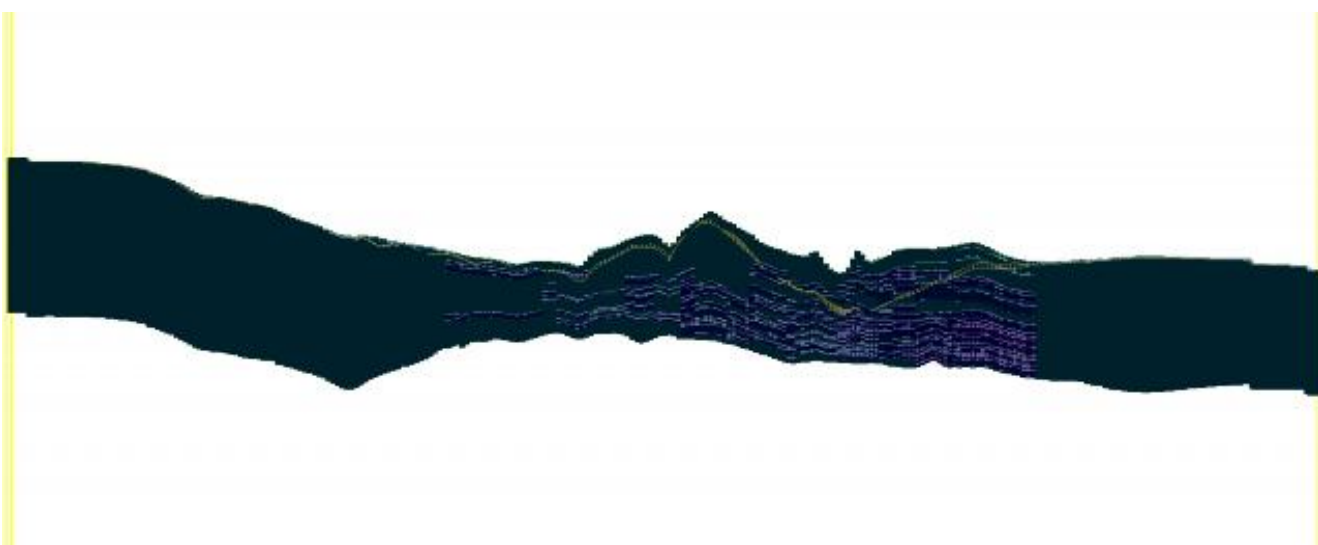
Σχήμα Ε.51: Τομή 106.



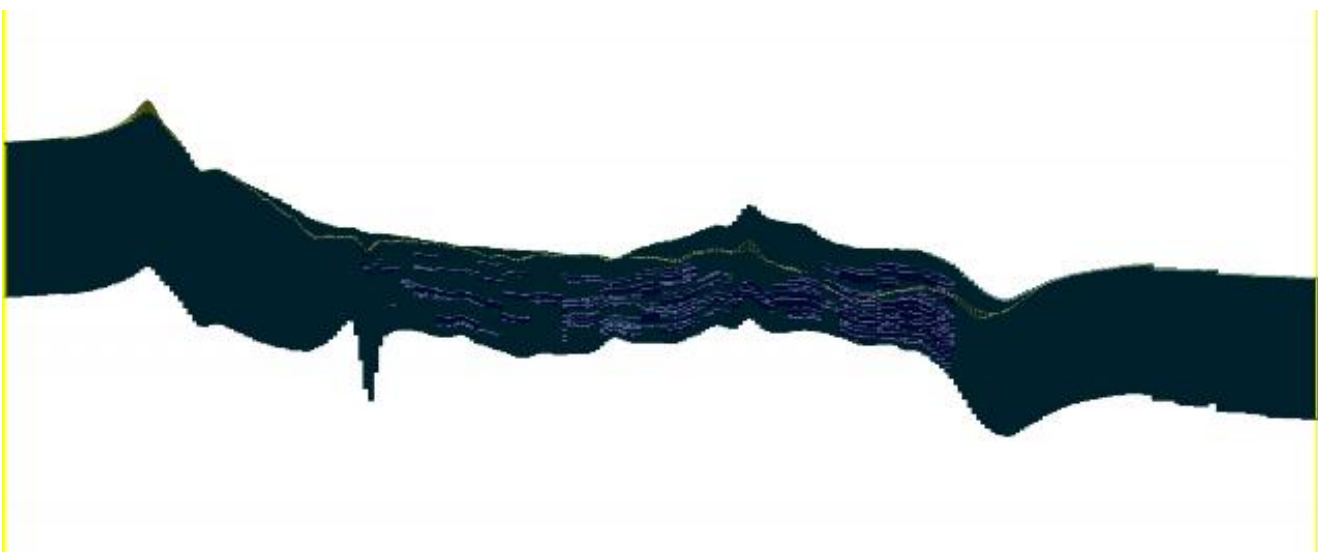
Σχήμα Ε.52: Τομή 107.



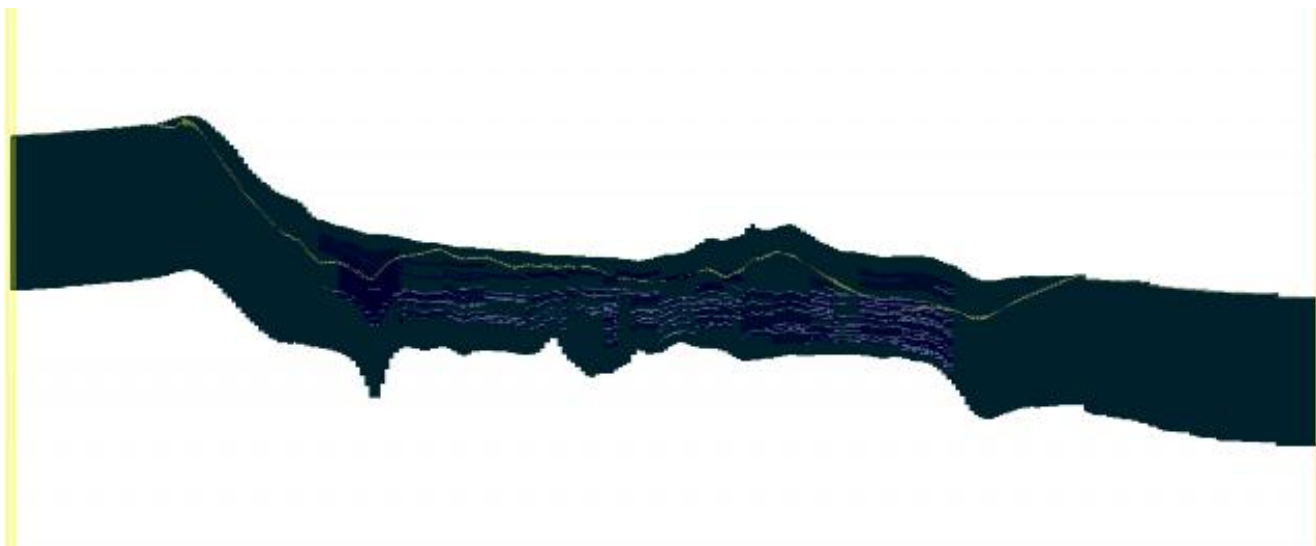
Σχήμα E.53: Τομή 108.



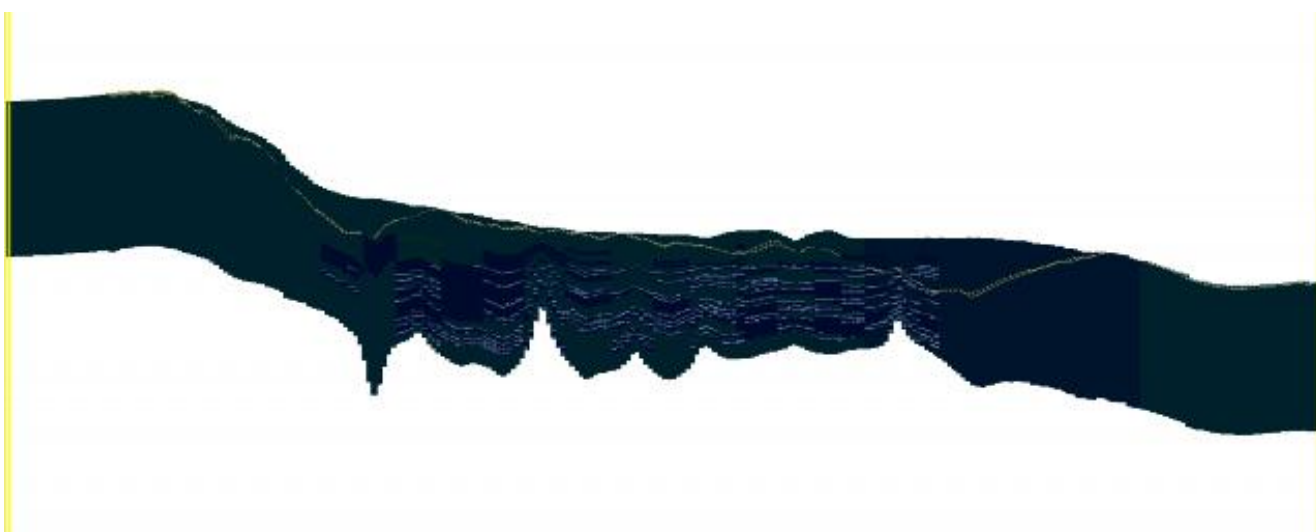
Σχήμα E.54: Τομή 109.



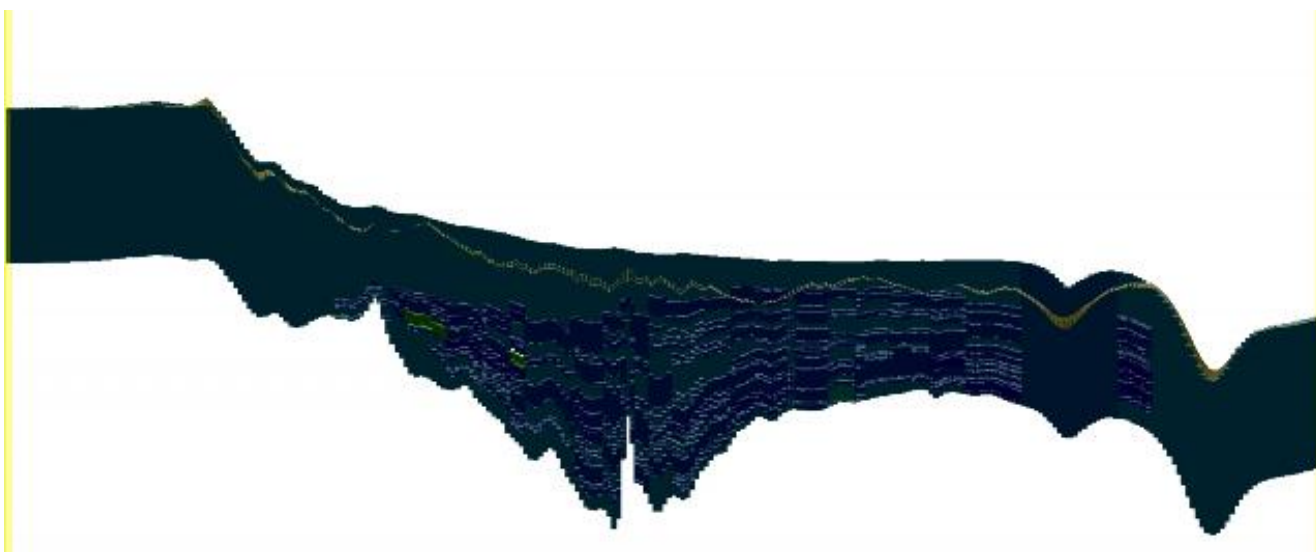
Σχήμα E.55: Τομή 1010.



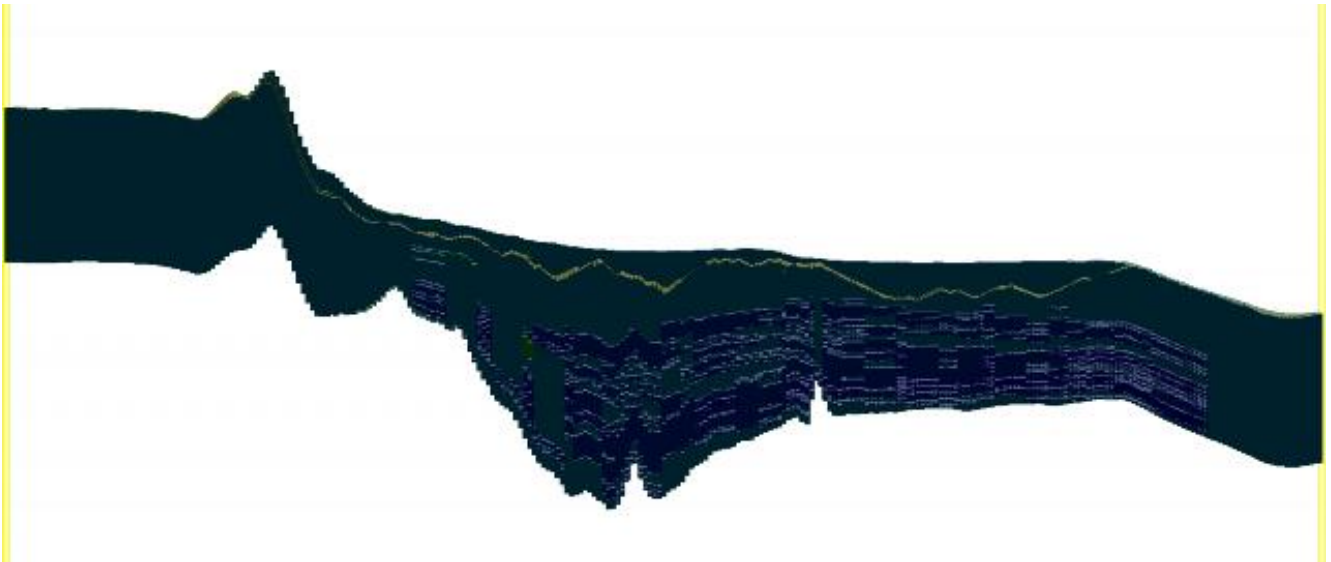
Σχήμα Ε.56: Τομή 1011.



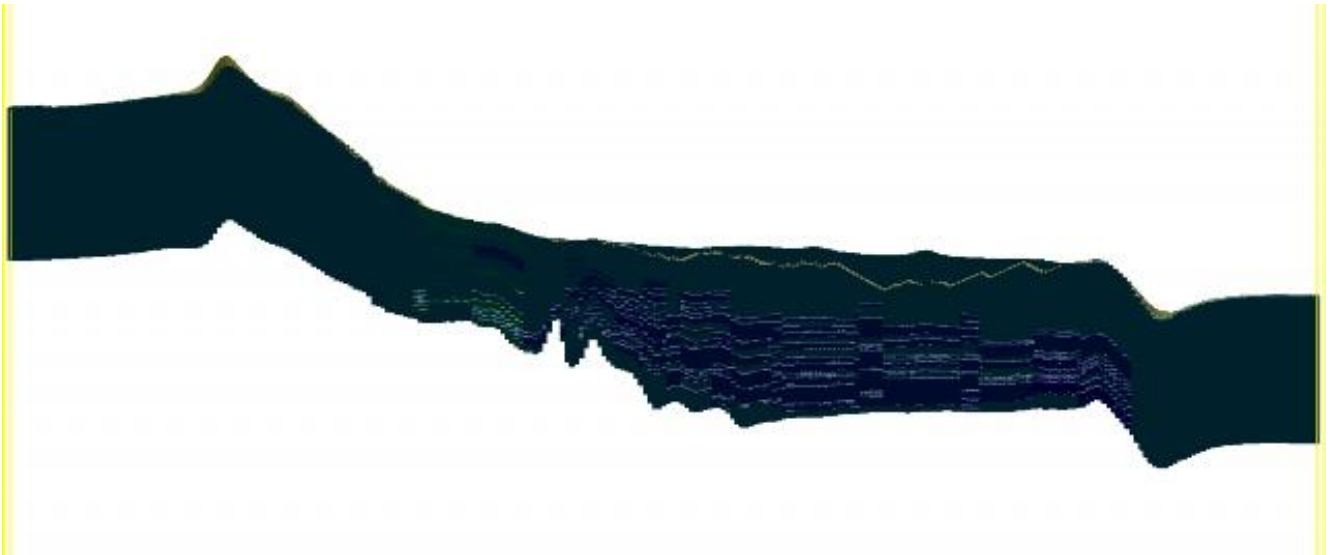
Σχήμα Ε.57: Τομή 1012.



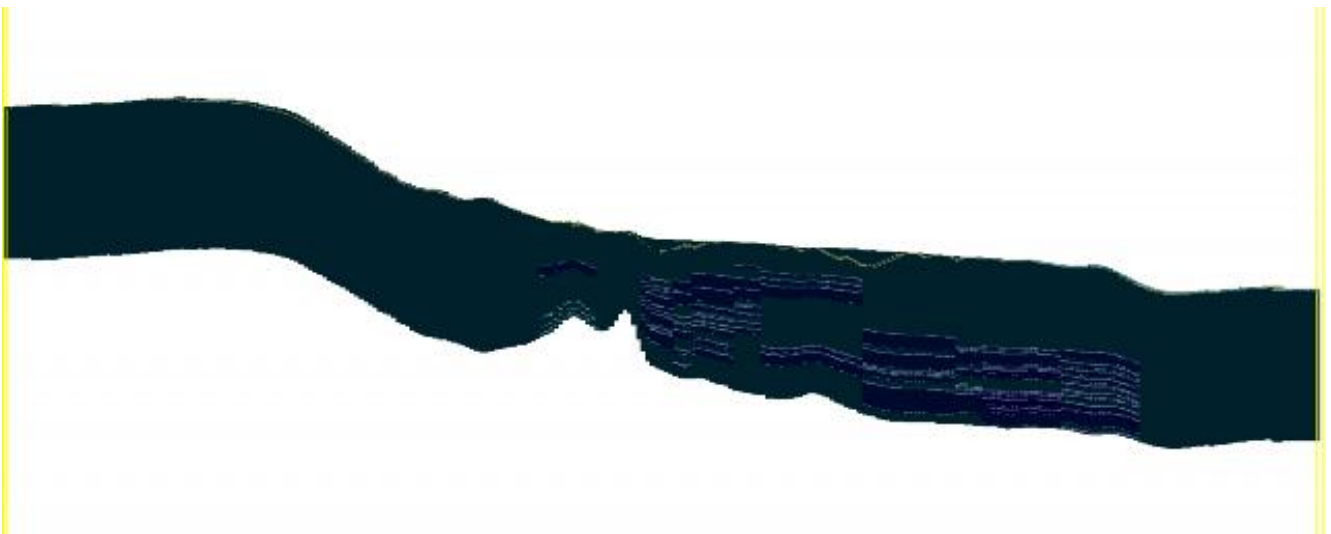
Σχήμα Ε.58: Τομή 1013.



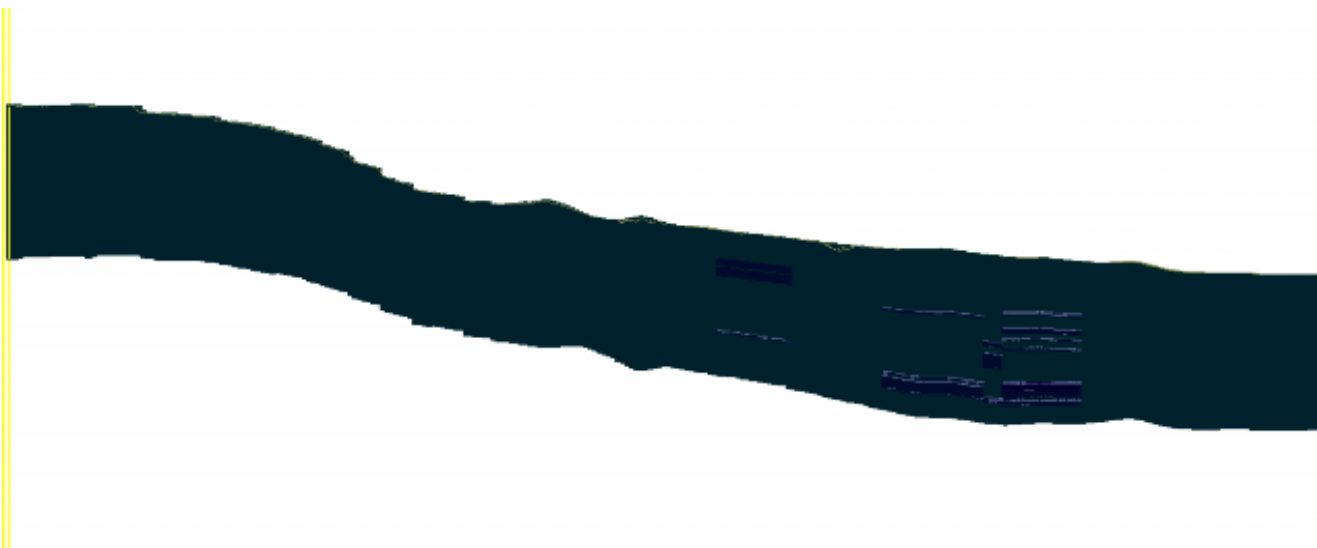
Σχήμα Ε.59: Τομή 1014.



Σχήμα Ε.60: Τομή 1015.



Σχήμα Ε.61: Τομή 1016.



Σχήμα Ε.62: Τομή 1017.



Σχήμα Ε.63: Τομή 1018.

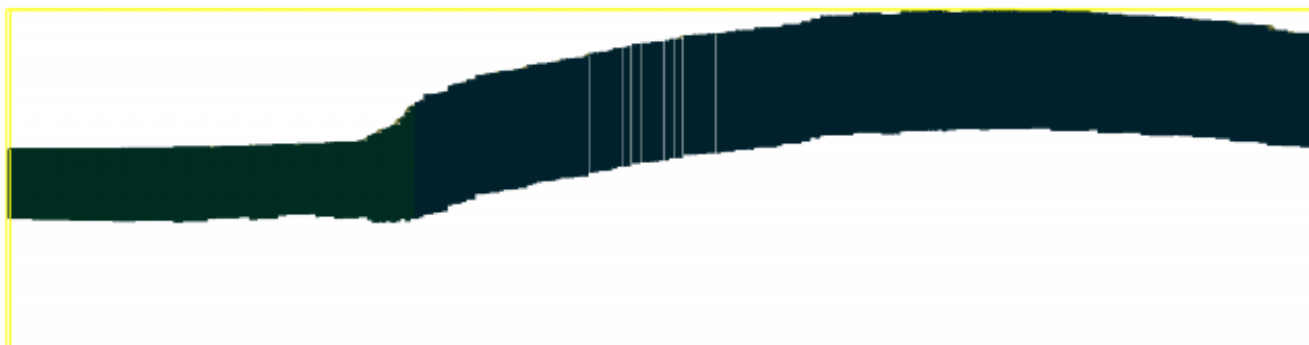


Σχήμα Ε.64: Τομή 1019.

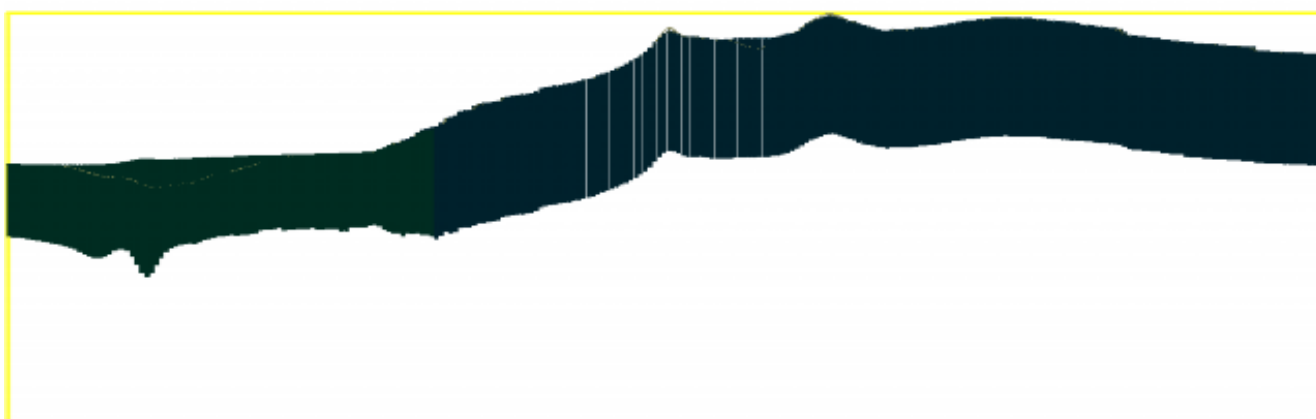


Σχήμα Ε.65: Τομή 1020.

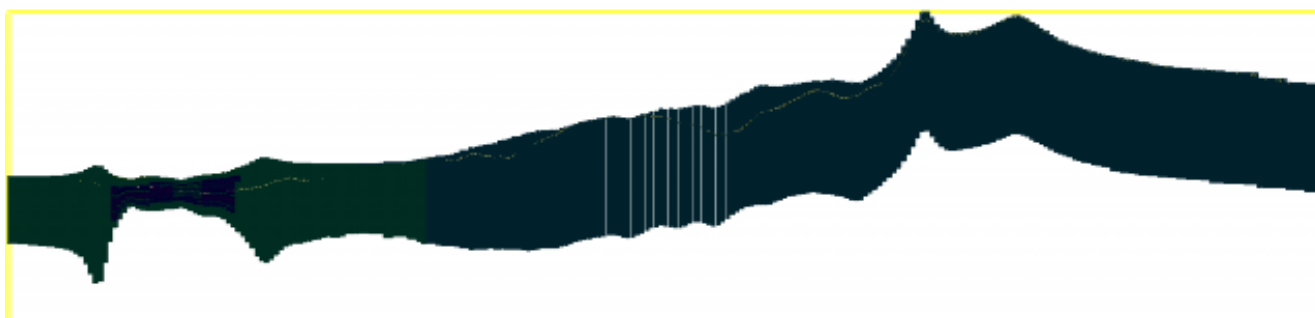
## Τομές δεύτερης περίπτωσης



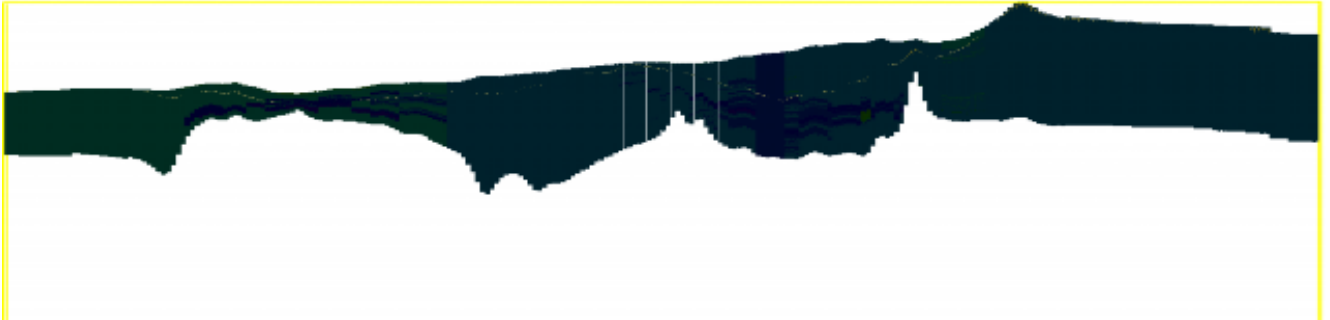
Σχήμα E.66: Τομή 2Κ0



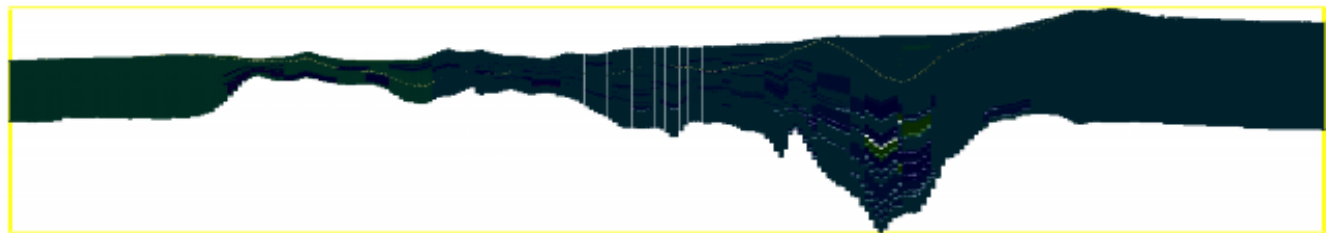
Σχήμα E.67: Τομή 2Κ1.



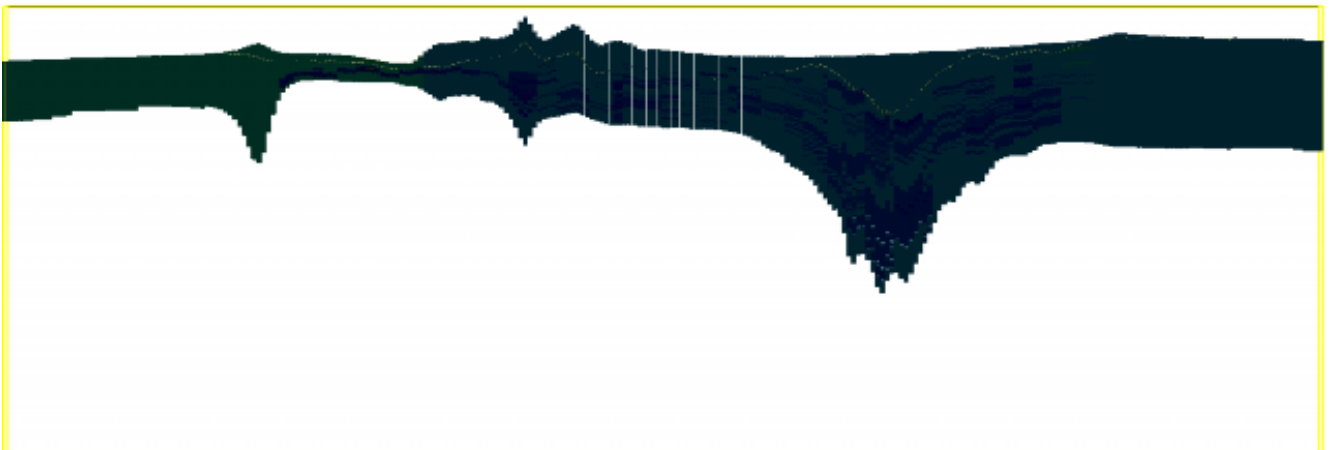
Σχήμα E.68: Τομή 2Κ2.



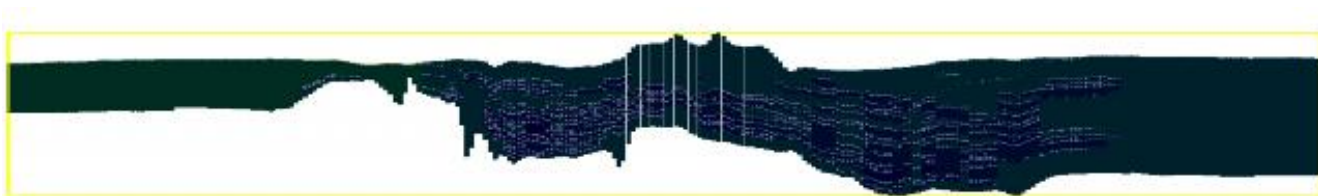
Σχήμα E.69: Τομή 2Κ3



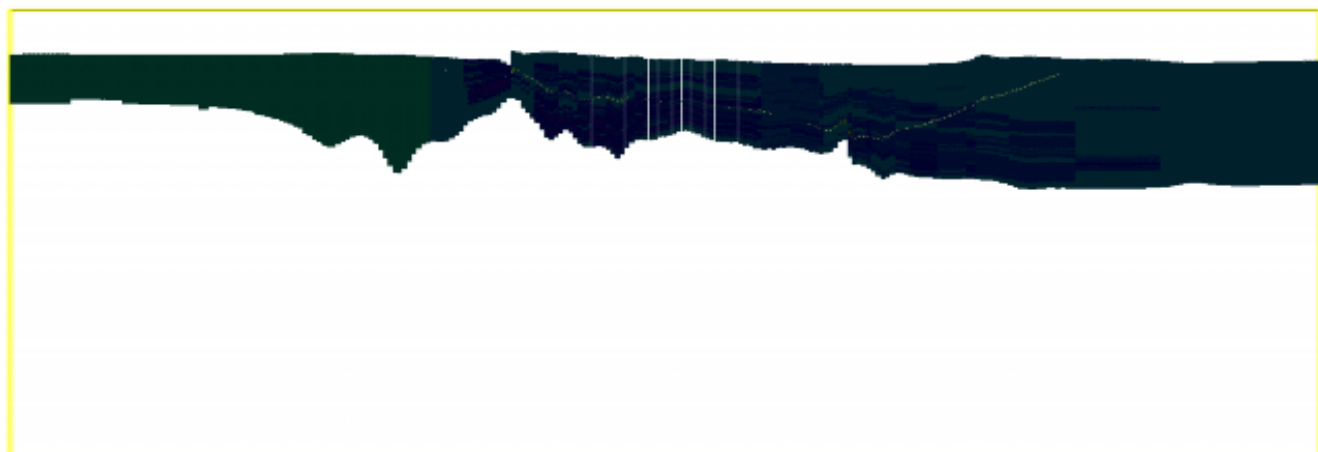
Σχήμα E.70: Τομή 2Κ4.



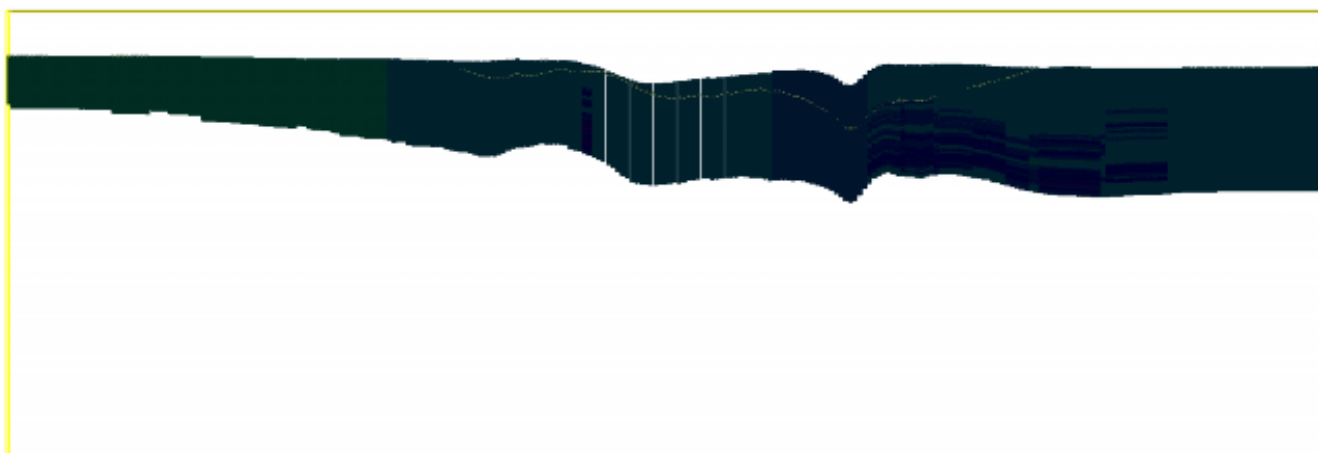
Σχήμα E.71: Τομή 2Κ5.



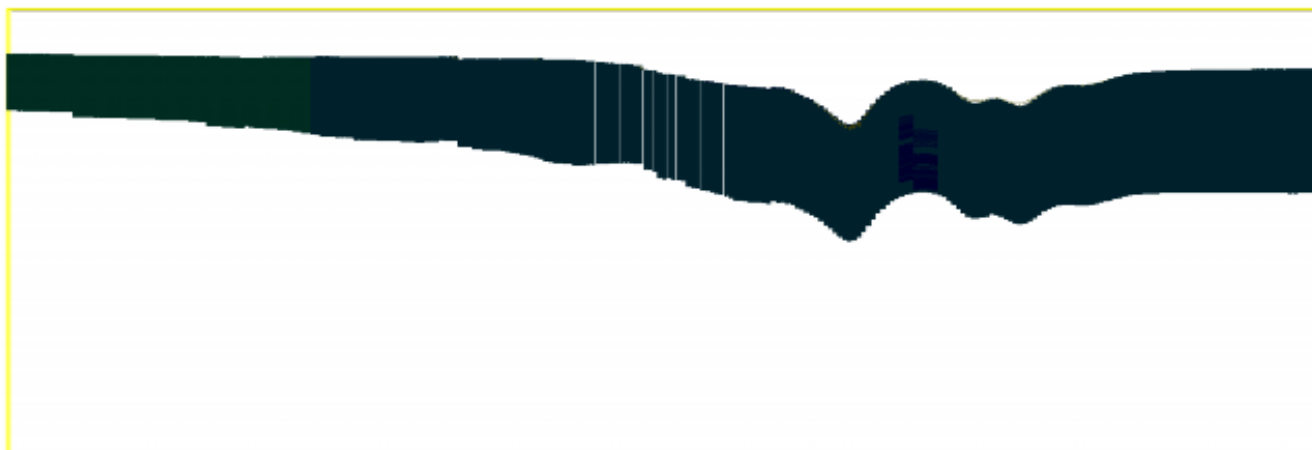
Σχήμα E.72: Τομή 2Κ6.



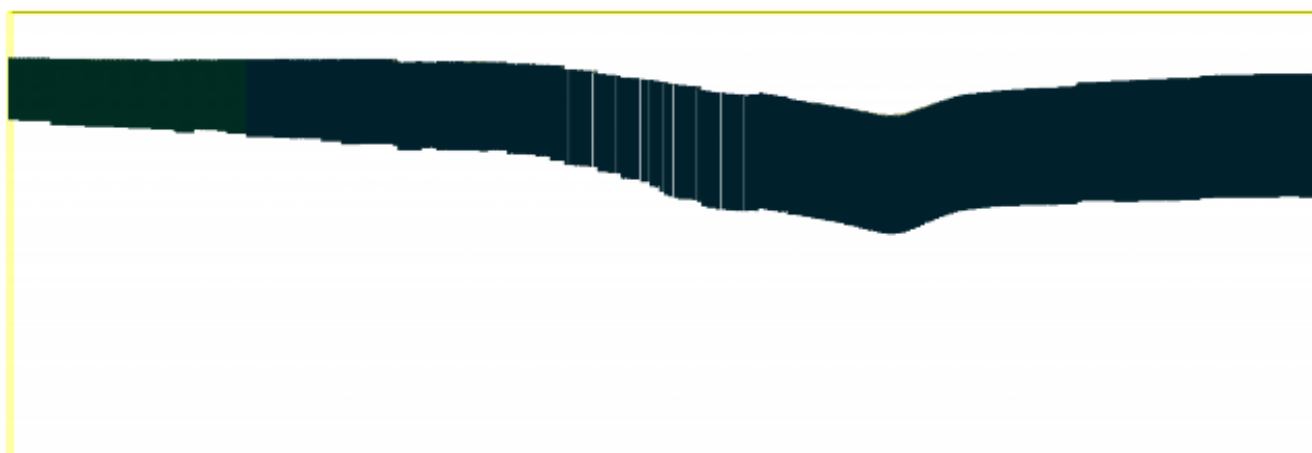
Σχήμα E.73: Τομή 2Κ7.



Σχήμα E.74: Τομή 2Κ8.



Σχήμα Ε.75: Τομή 2Κ9.



Σχήμα Ε.76: Τομή 2Κ10.



Σχήμα E.77: Τομή 200.



Σχήμα E.78: Τομή 201.



Σχήμα E.79: Τομή 202.



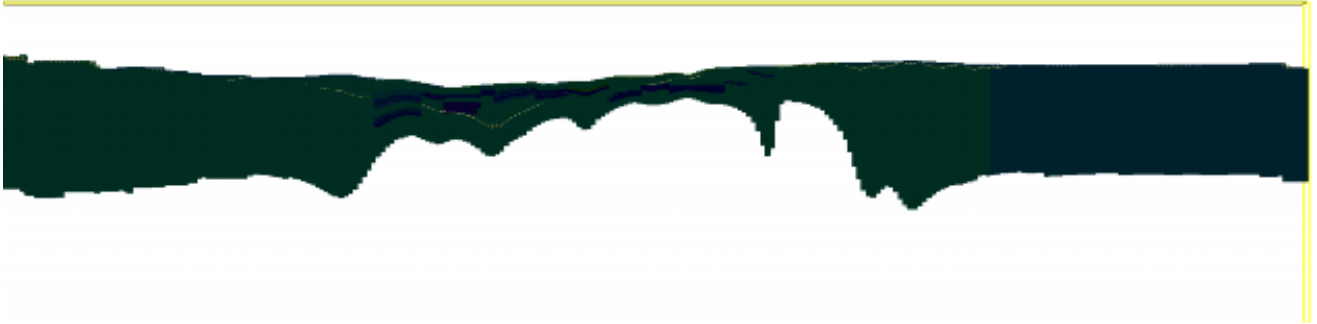
Σχήμα E.80: Τομή 203.



Σχήμα E.81: Τομή 204.



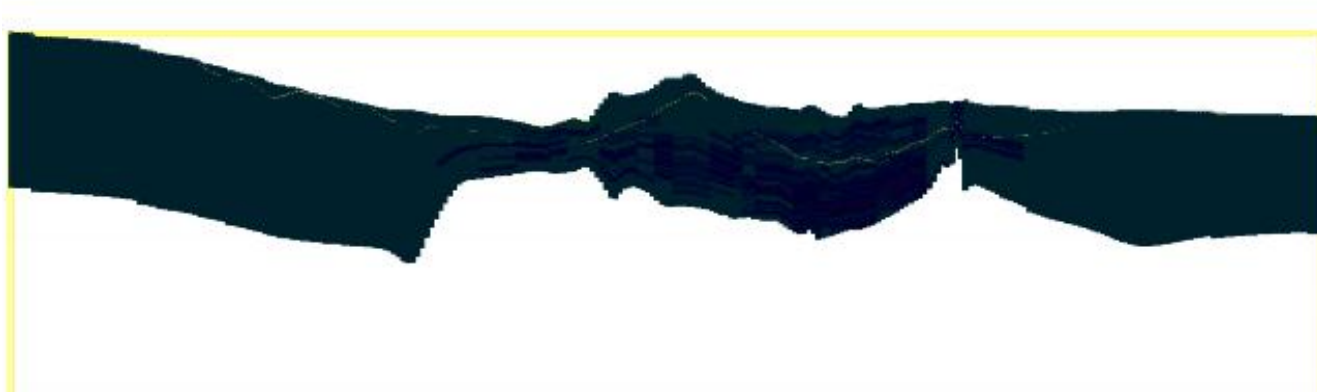
Σχήμα E.82: Τομή 205



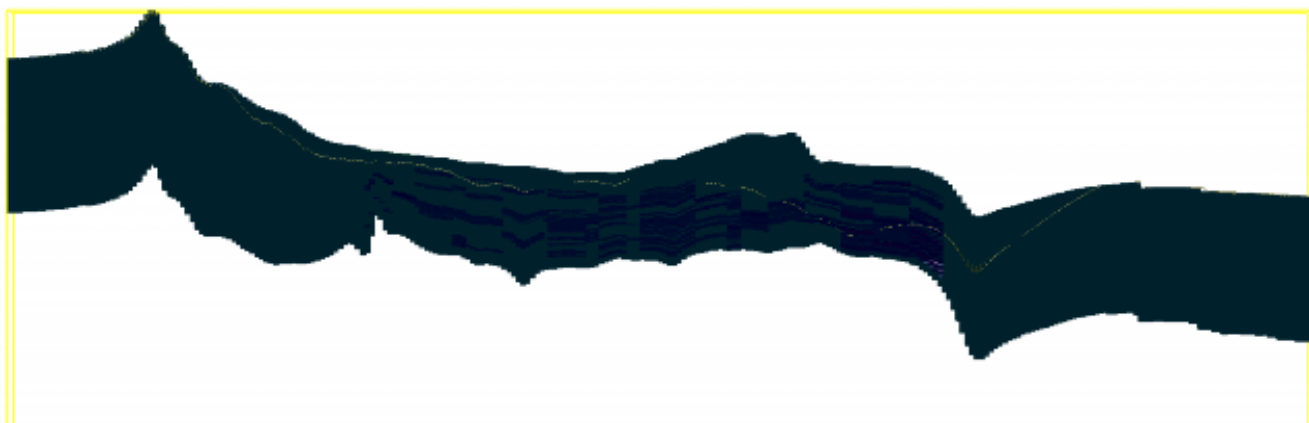
Σχήμα E.83: Τομή 206.



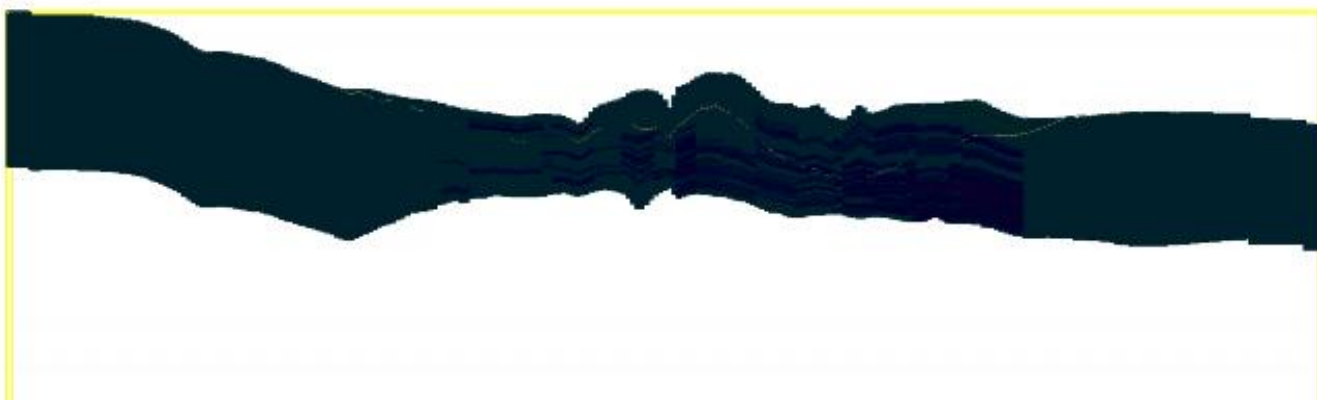
Σχήμα E.84: Τομή 207.



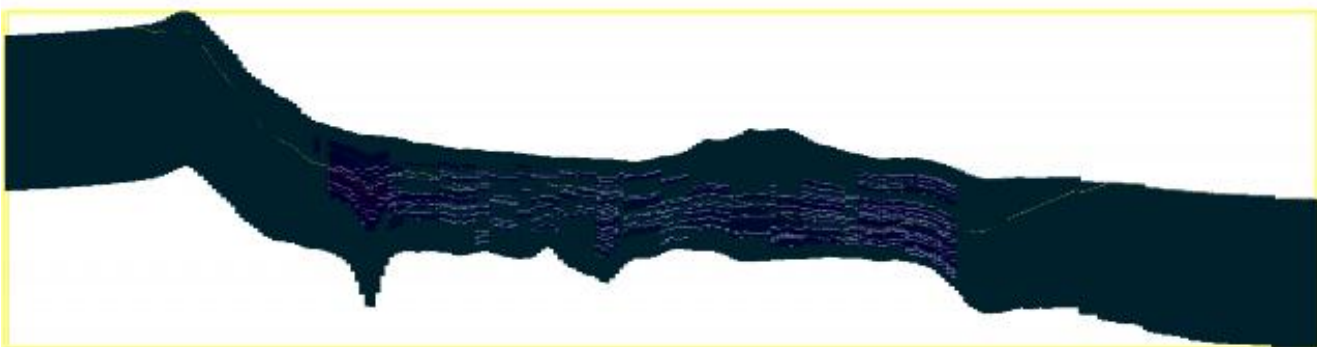
Σχήμα E.85: Τομή 208.



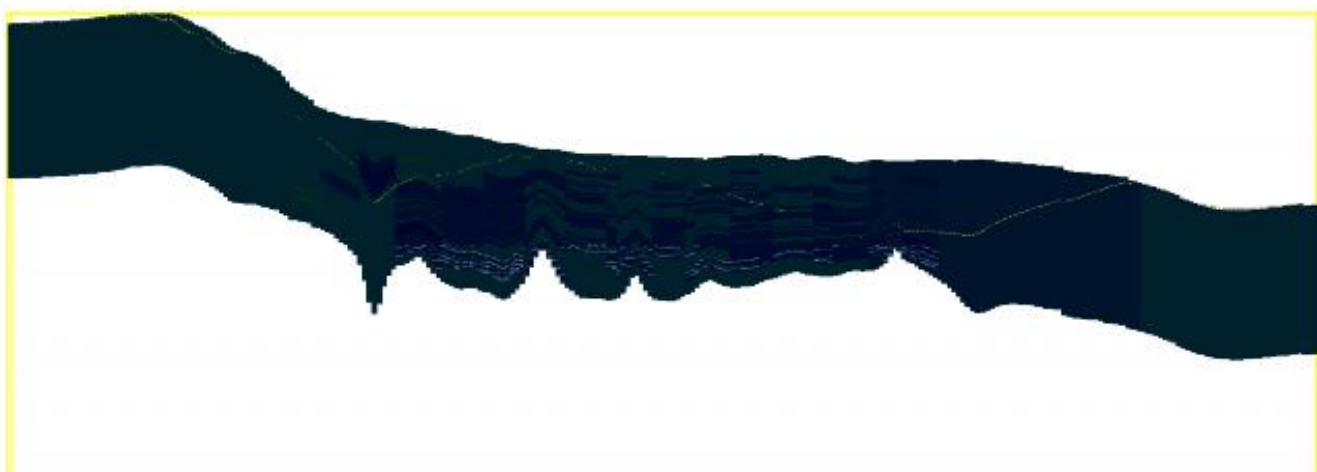
Σχήμα E.86: Τομή 209.



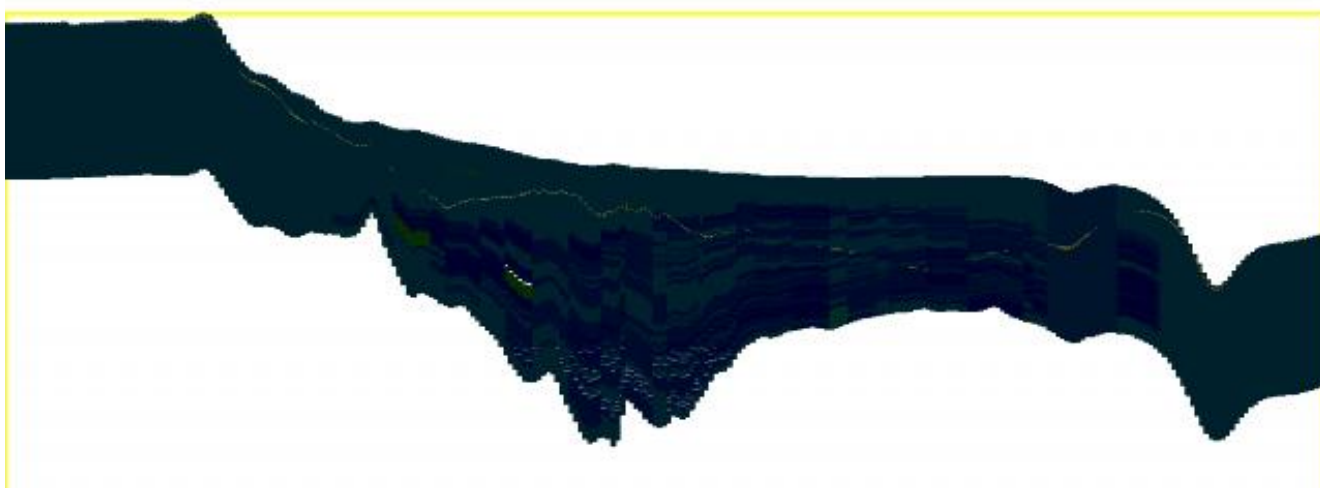
Σχήμα E.87: Τομή 2010.



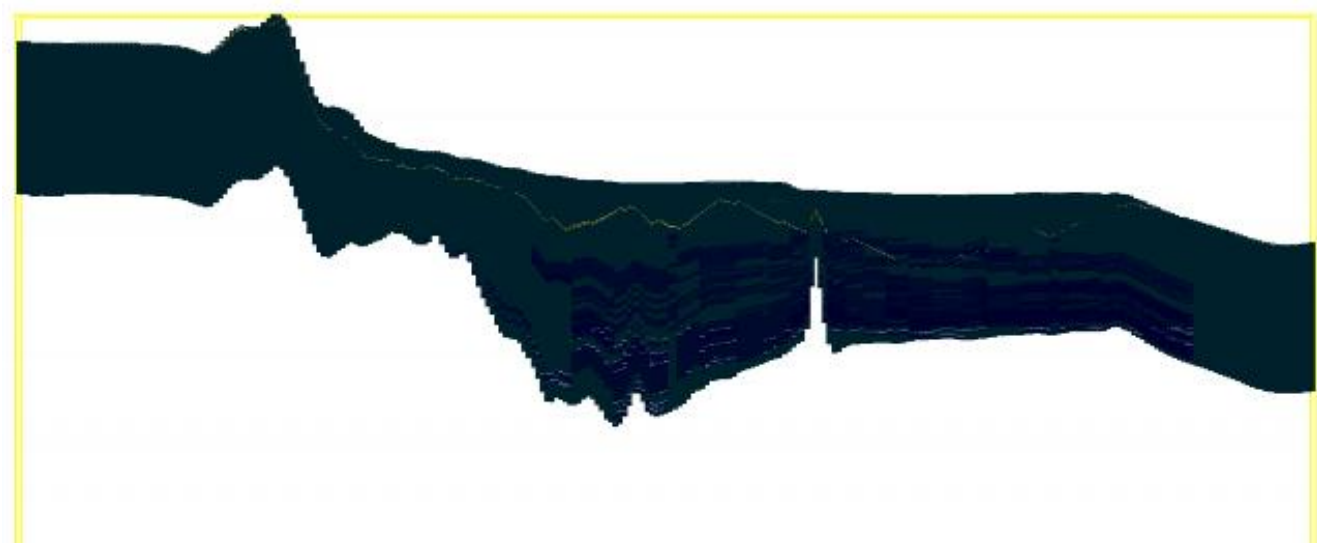
Σχήμα E.88: Τομή 2011.



Σχήμα Ε.89: Τομή 2012.



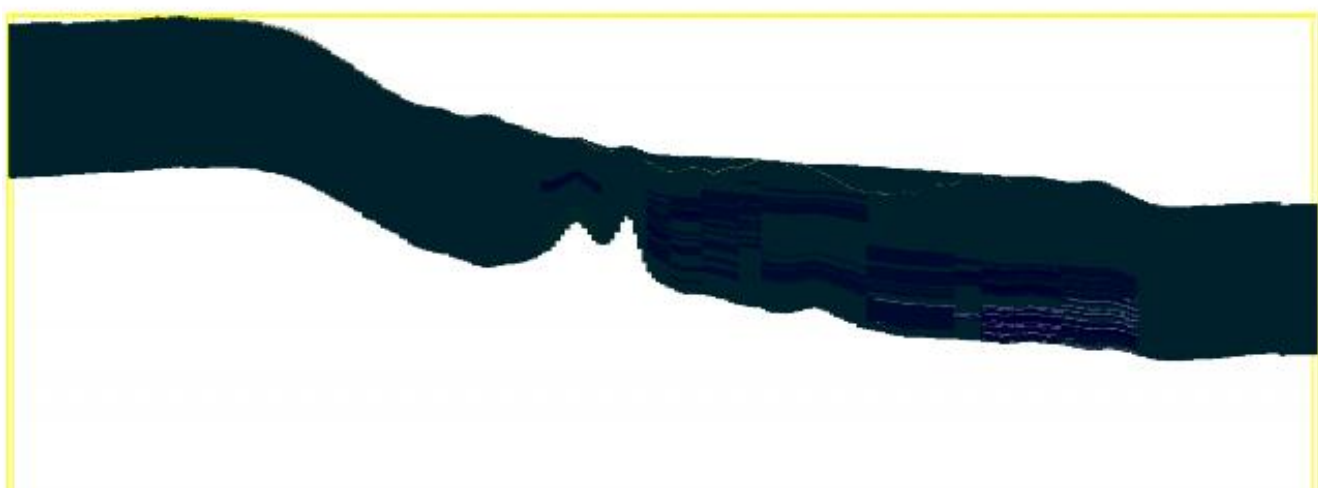
Σχήμα Ε.90: Τομή 2013.



Σχήμα Ε.91: Τομή 2014.



Σχήμα Ε.92: Τομή 2015.



Σχήμα Ε.93: Τομή 2016.



Σχήμα Ε.94: Τομή 2017.



Σχήμα E.95: Τομή 2018.



Σχήμα E.96: Τομή 2019.



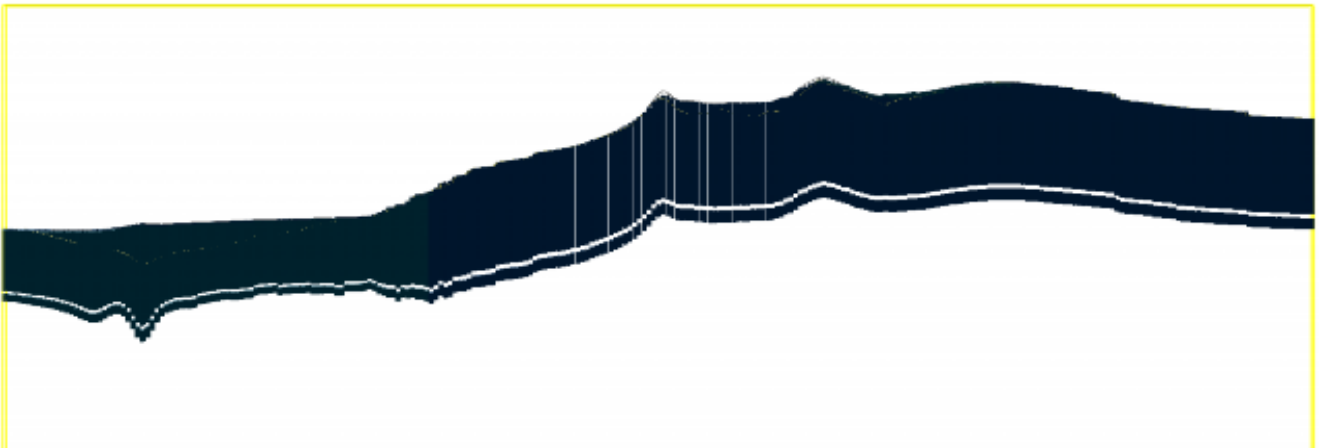
Σχήμα E.97: Τομή 2020.

## Τομές τρίτης περίπτωσης

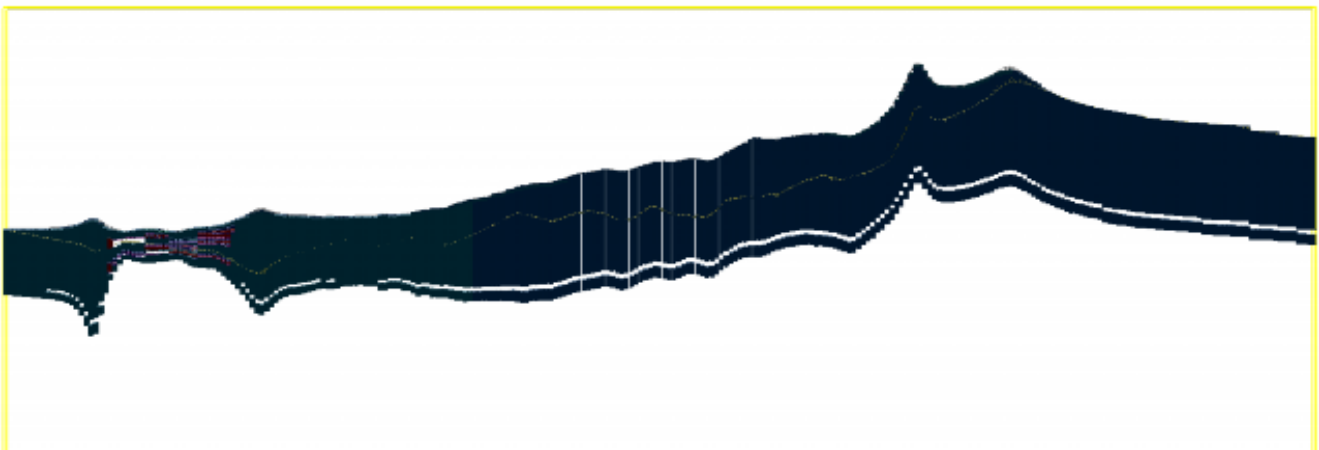
Στις παρακάτω τομές δεν απεικονίζονται ορισμένα block καθώς κατά την μεταφορά του αρχείου αυτό καταστράφηκε και δεν ήταν δυνατόν να ανακτηθεί. Η δημιουργία του από την αρχή ήταν εξαιρετικά χρονοβόρα και αδύνατο να ξαναγίνει στο περιορισμένο χρόνο της διπλωματικής εργασίας. Ο υπολογισμός των ορίων εκσκαφής έγινε με το μη κατεστραμμένο αρχείο ενώ τα block που διαγράφηκαν είναι λίγα και στις περισσότερες περιπτώσεις σε περιοχές χαμηλού ενδιαφέροντος. Γι' αυτό το λόγο τελικά επιλέχθηκε να παρουσιαστούν.



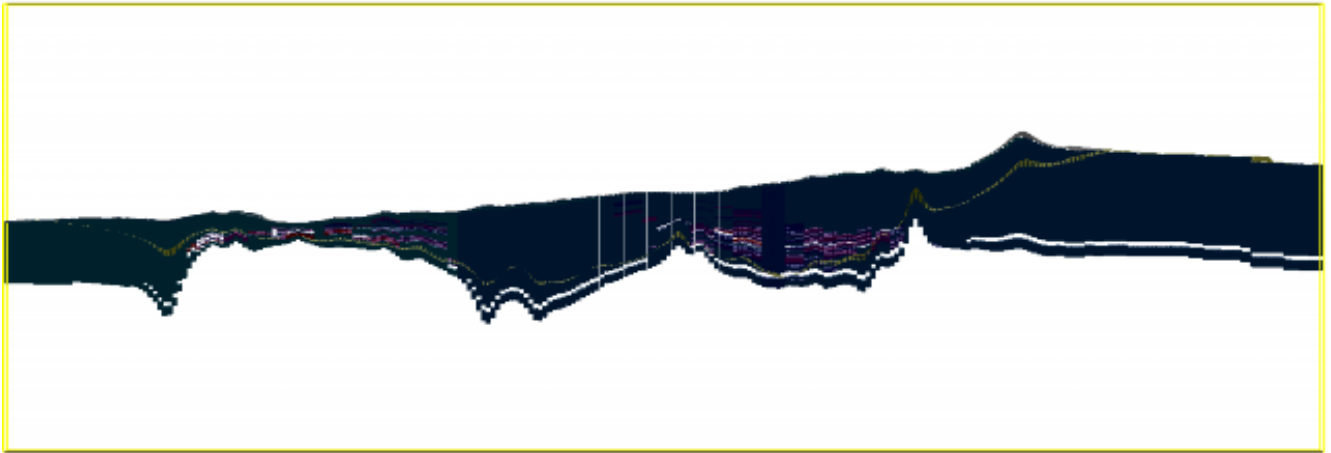
Σχήμα E.98: Τομή 3Κ0.



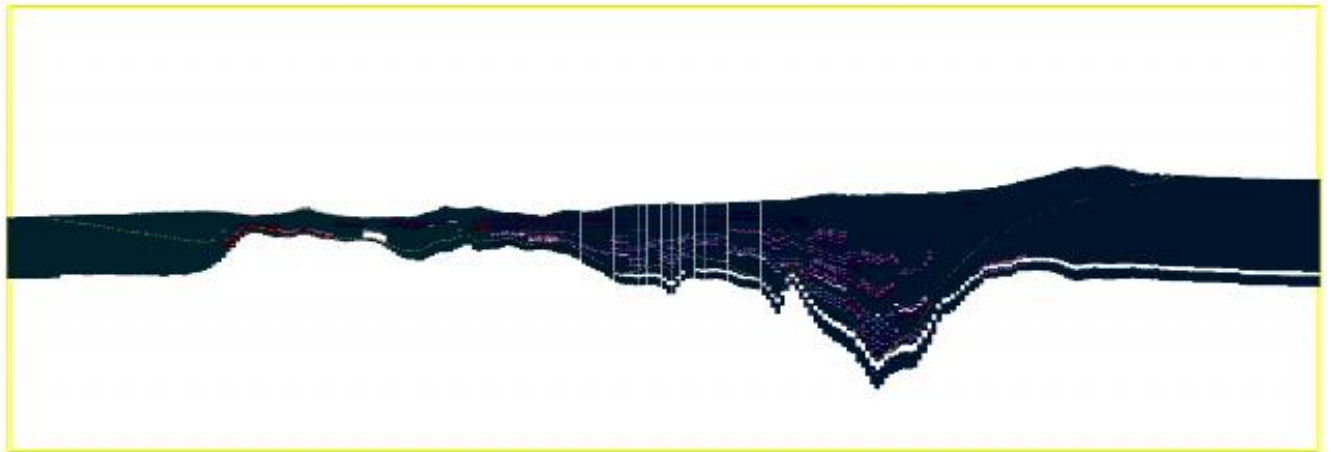
Σχήμα E.99: Τομή 3Κ1.



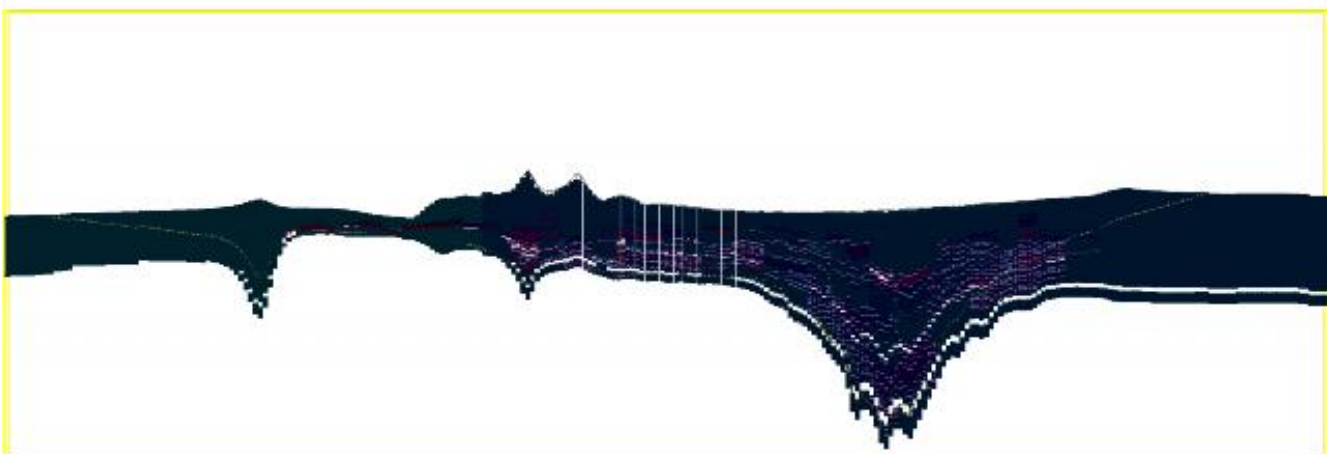
Σχήμα E.100: Τομή 3Κ2.



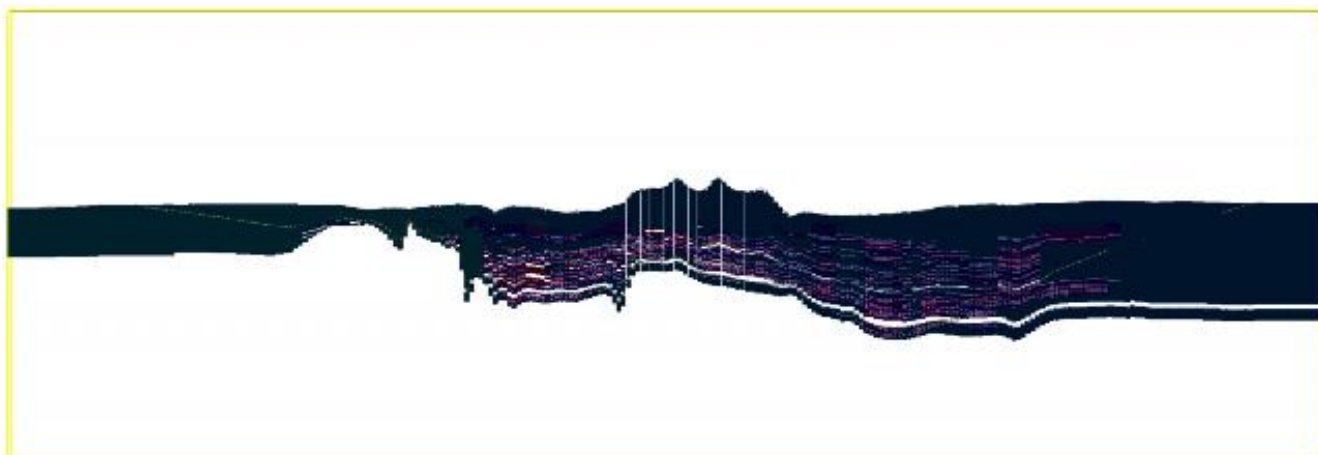
Σχήμα Ε.101: Τομή 3Κ3.



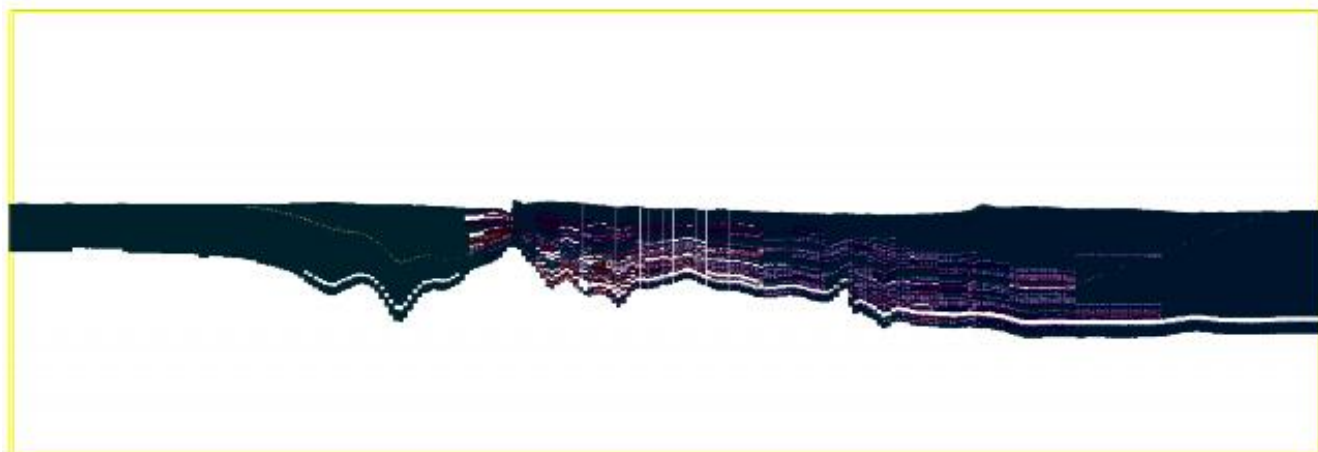
Σχήμα Ε.102: Τομή Κ4.



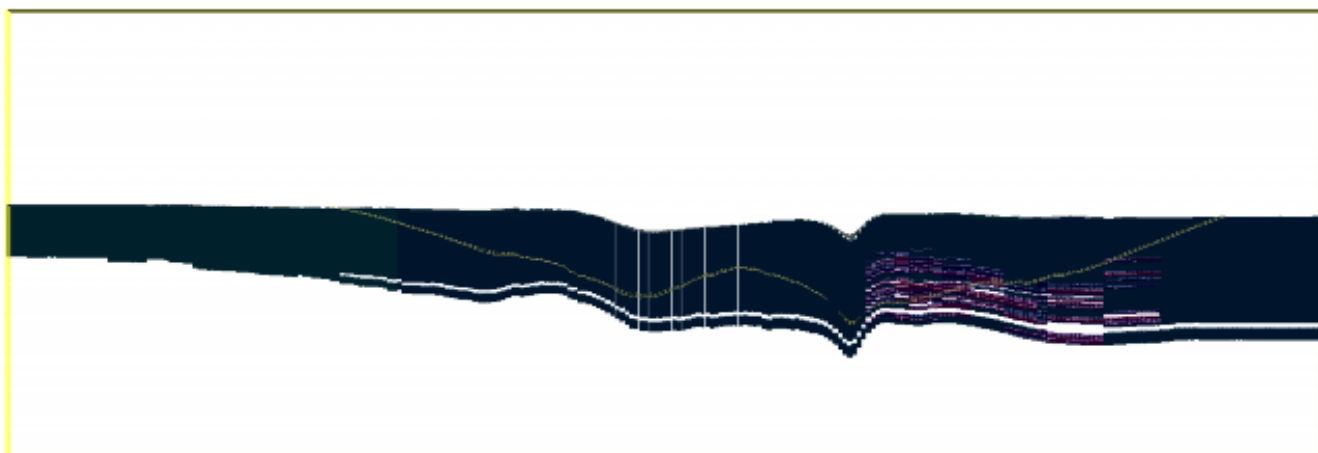
Σχήμα Ε.103: Τομή 3Κ5



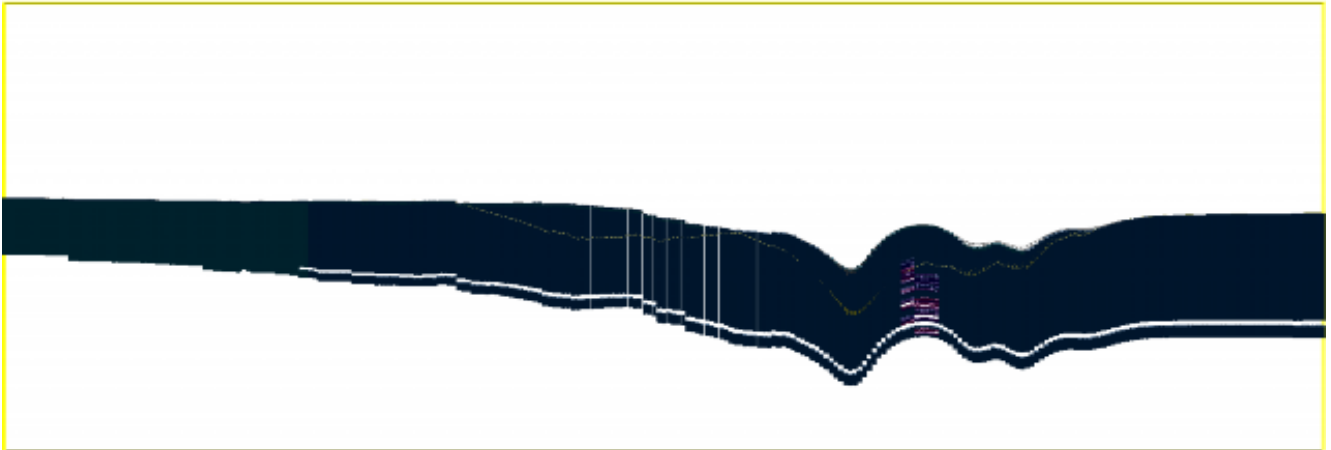
Σχήμα Ε.104: Τομή 3Κ6.



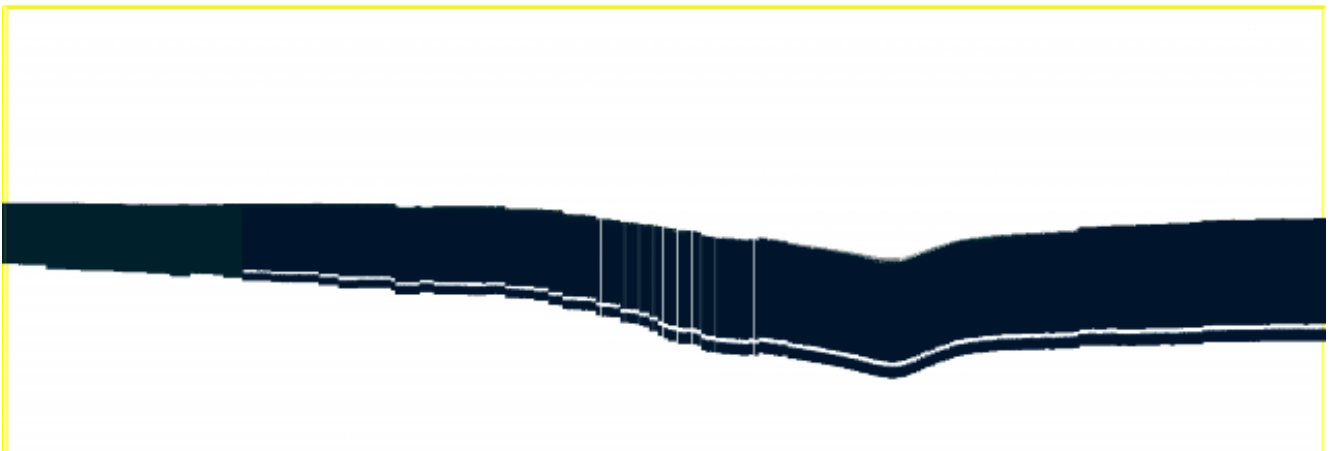
Σχήμα Ε.105: Τομή 3Κ7.



Σχήμα Ε.106: Τομή 3Κ8.



Σχήμα Ε.107: Τομή 3Κ9.



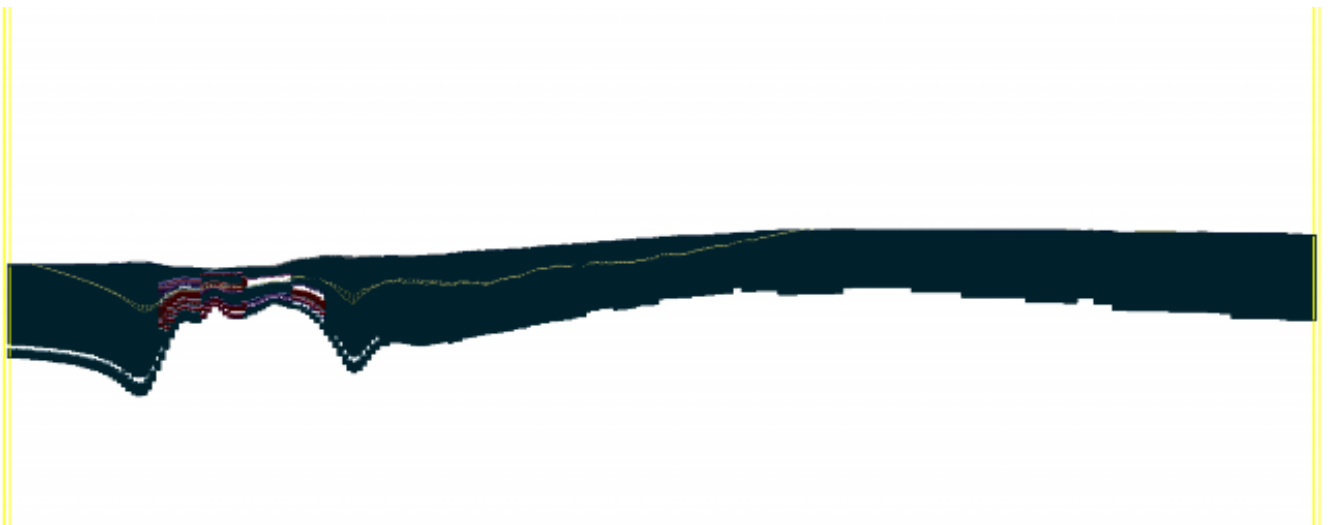
Σχήμα Ε.108: Τομή Κ10.



Σχήμα E.109: Τομή 300.



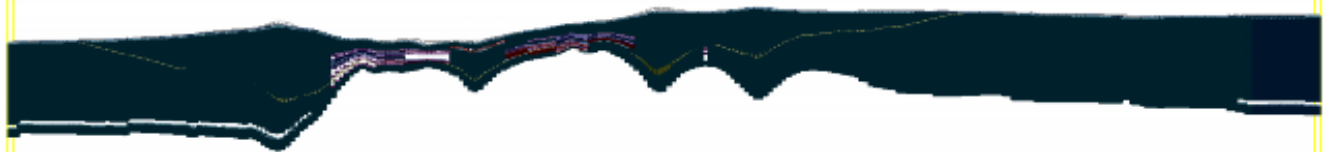
Σχήμα E.110: Τομή 301.



Σχήμα E.111: Τομή 302.



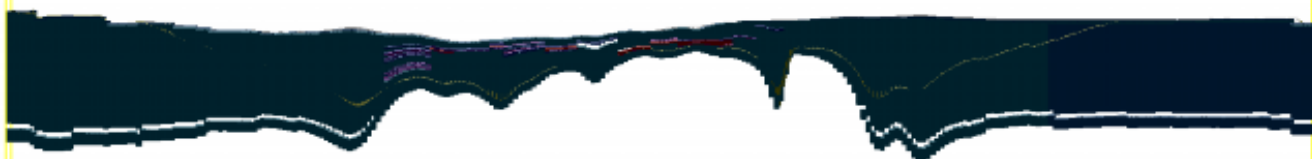
Σχήμα Ε.112: Τομή 303.



Σχήμα Ε.113: Τομή 304.



Σχήμα Ε.114: Τομή 305.



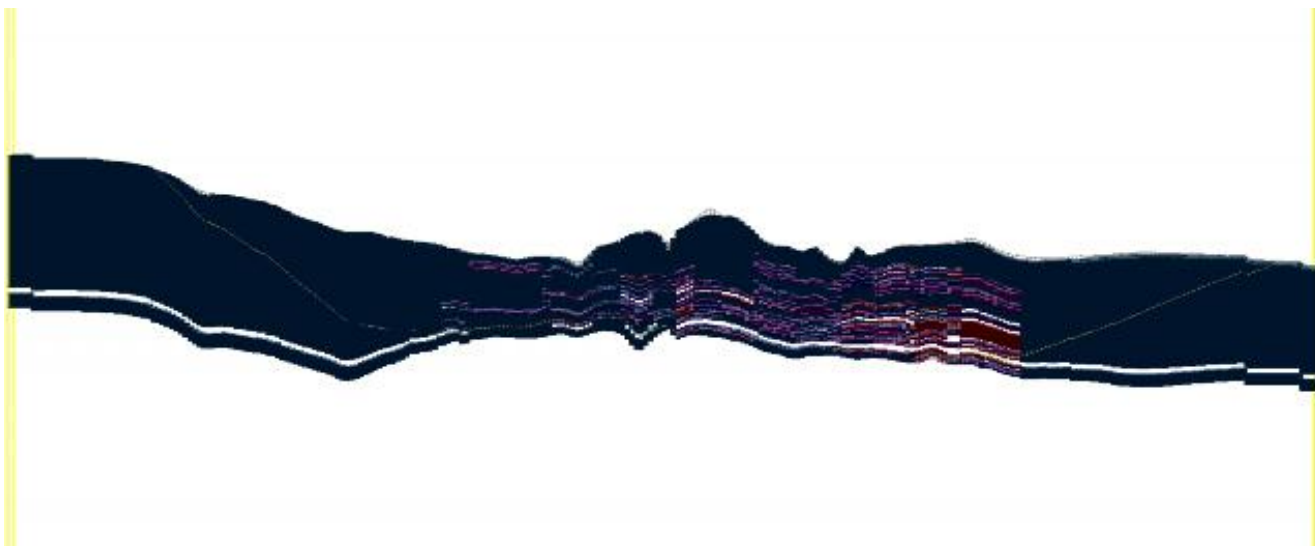
Σχήμα E.115: Τομή 306.



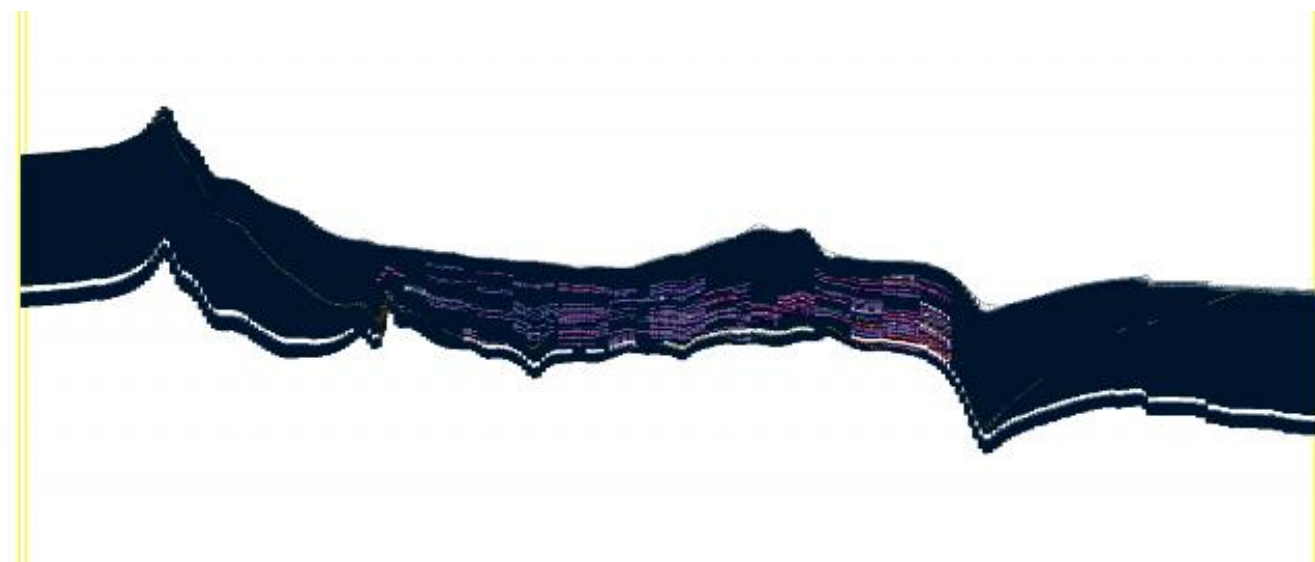
Σχήμα E.116: Τομή 307.



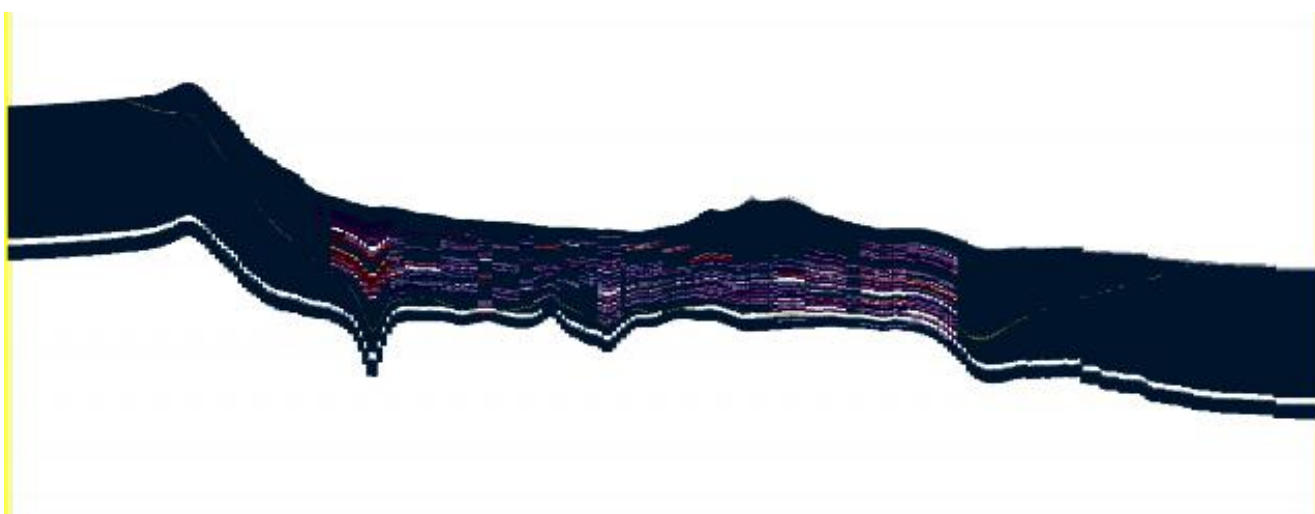
Σχήμα E.117: Τομή 308.



Σχήμα E.118: Τομή 309.



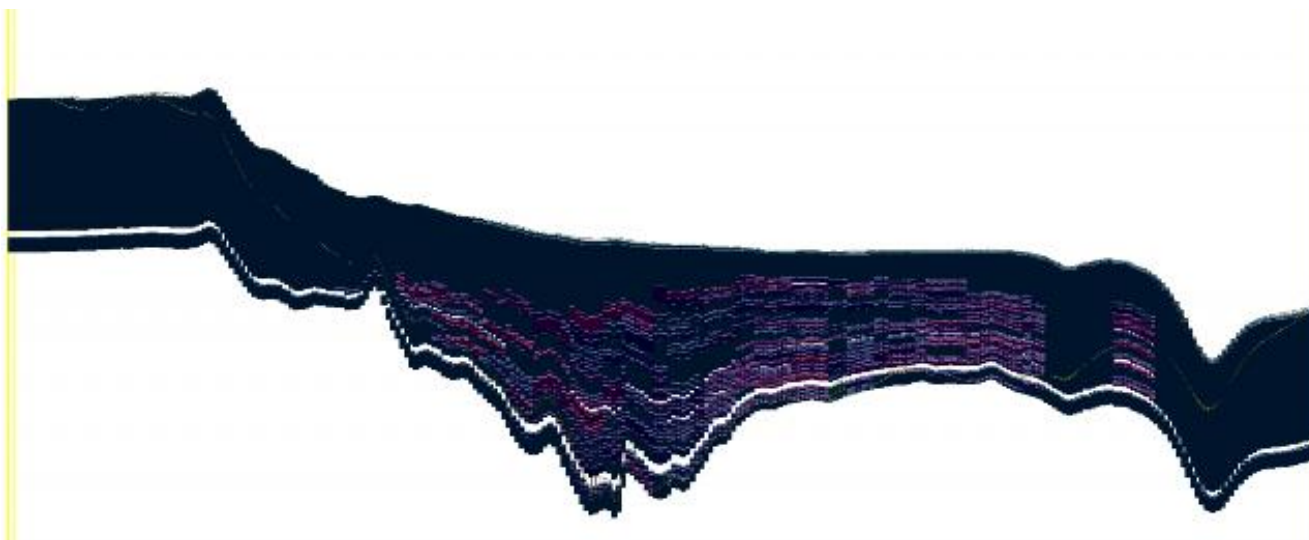
Σχήμα E.119: Τομή 3010.



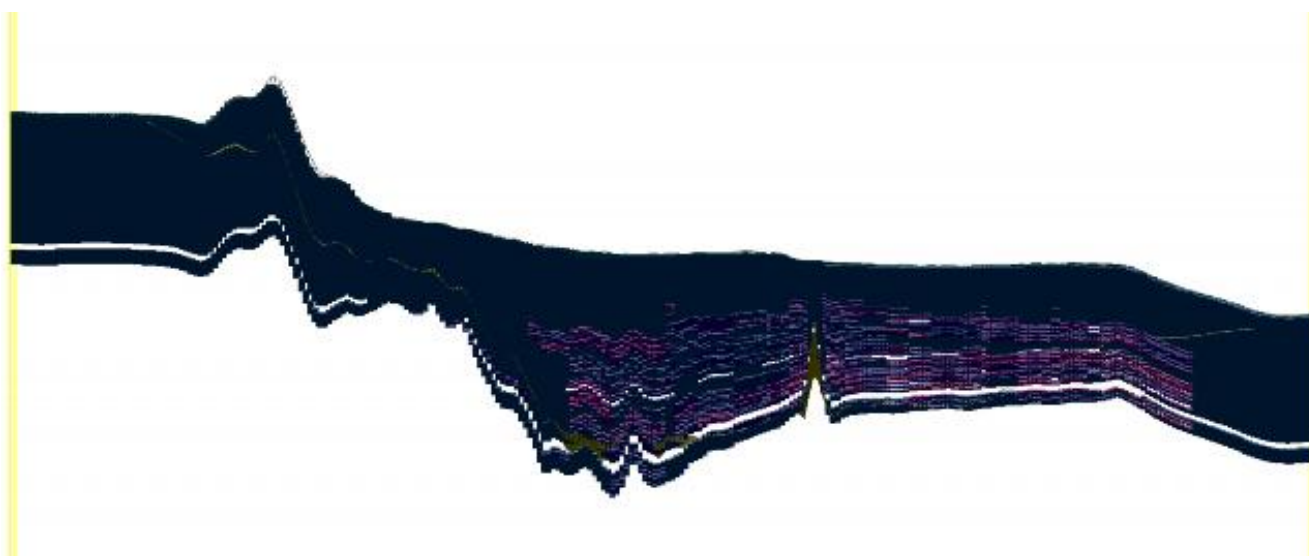
Σχήμα E.120: Τομή 3011.



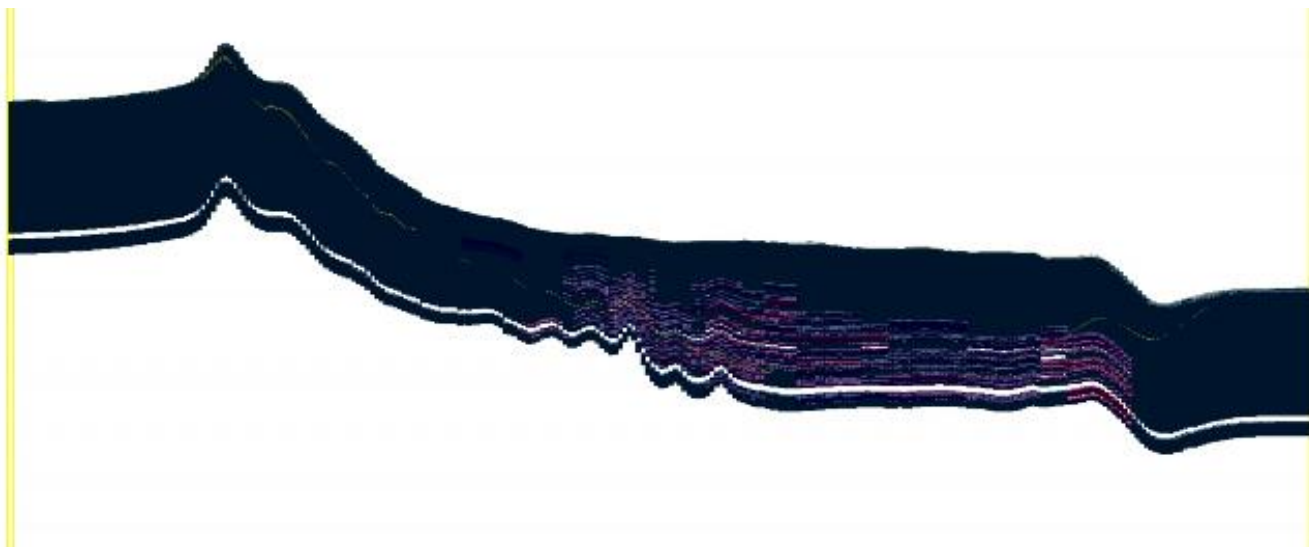
Σχήμα E.121: Τομή 3012.



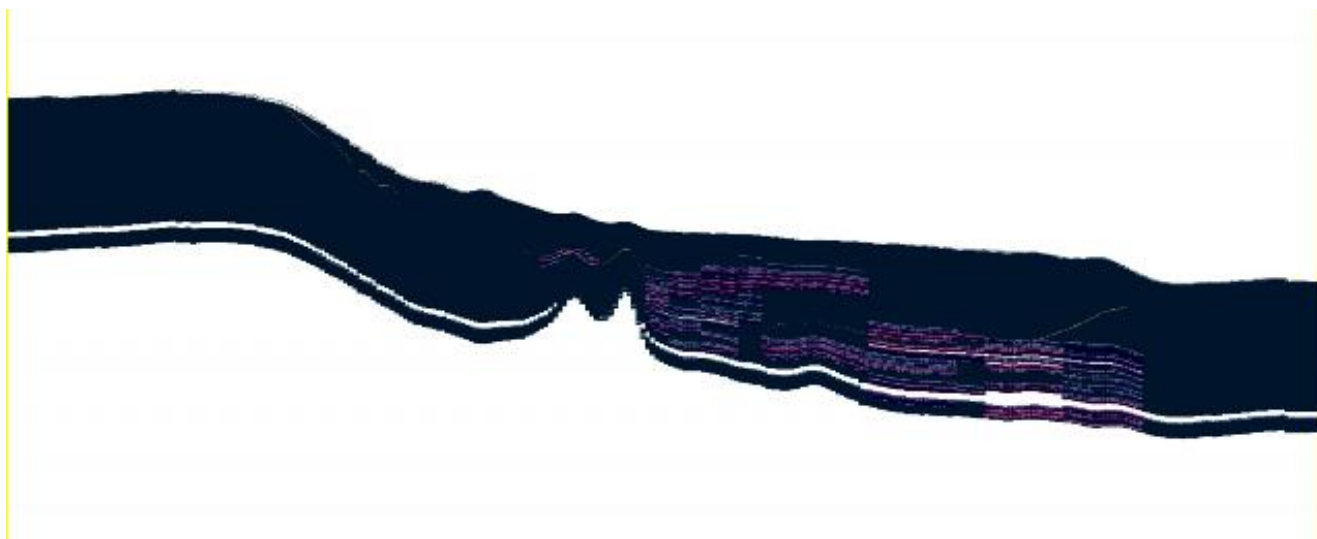
Σχήμα E.122: Τομή 3013.



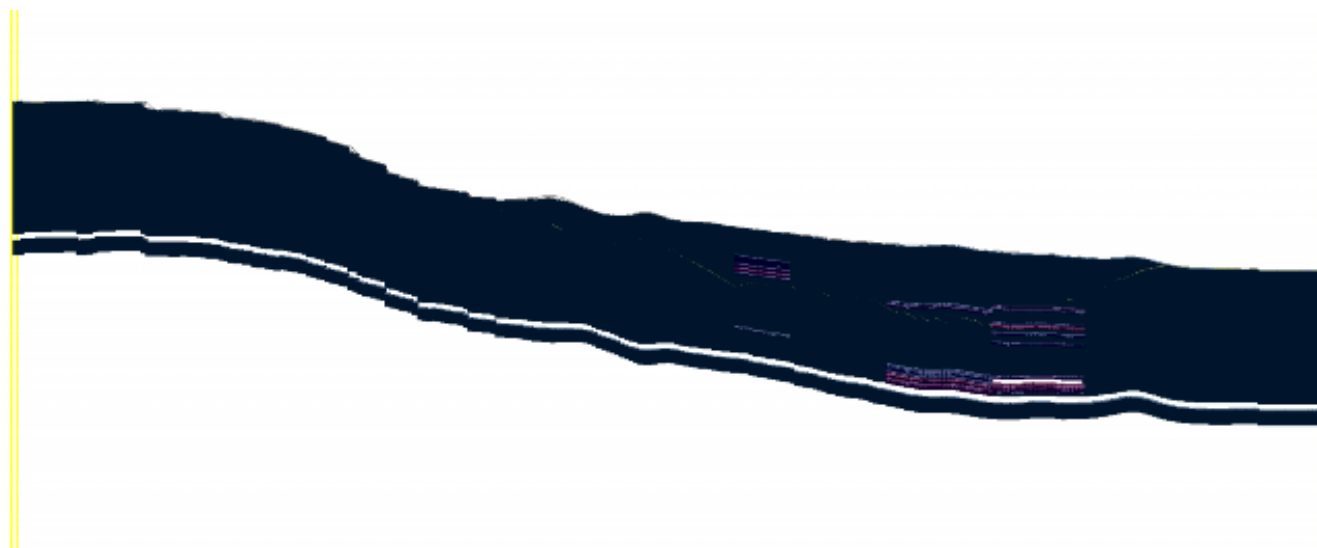
Σχήμα E.123: Τομή 3014.



Σχήμα Ε.124: Τομή 3015.



Σχήμα Ε.125: Τομή 3016.



Σχήμα Ε.126: Τομή 3017.



Σχήμα Ε.127: Τομή 3018.



Σχήμα Ε.128: Τομή 3019.



Σχήμα Ε.129: Τομή 3020.

