



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

"Εκτίμηση της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας του λιγνίτη που παρά-  
γεται από ορυχείο του Νοτίου Πεδίου της Πτολεμαΐδας"

Διπλωματική Εργασία

Αγγελική Δ. Κουβάτα  
Α.Μ. 1999020045

Εξεταστική Επιτροπή

Μιχαήλ Γαλετάκης, Λέκτορας (επιβλέπων)

Ζαχαρίας Αγιουτάντης, Καθηγητής

Κωνσταντίνος Κομνίτσας, Αν. Καθηγητής

Χανιά  
Οκτώβριος, 2004

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα “Εκτίμηση της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας του λιγνίτη που παράγεται από ορυχείο του Νοτίου Πεδίου της Πτολεμαΐδας” έχει ως στόχο την μελέτη της εξέλιξης της ποιότητας του λιγνίτη σε σχέση με την ανάπτυξη του ορυχείου και πως επηρεάζεται αυτή από την τεκτονική. Σκοπός είναι να δειχθεί αν η επίδραση των ρηγμάτων που βρίσκονται στην περιοχή του κοιτάσματος υπήρξε καθοριστική για την μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος ή αν η εξέλιξη της ποιότητας είναι αποτέλεσμα κυρίως των άλλων παραγόντων γένεσης του κοιτάσματος όπως η σύσταση των φυτικών υπολειμμάτων και των ιζημάτων.

Στην προσπάθεια να δοθεί απάντηση στο θέμα που τίθεται σχετικά με την επίδραση της τεκτονικής σε μεγάλη κλίμακα χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που προέκυψαν από τη γεωτρητική διαδικασία τα οποία έχουν επεξεργαστεί παλαιότερα και αναφέρονται στον εκμεταλλεύσιμο λιγνίτη. Οι γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι 473 στον αριθμό.

Από τα στοιχεία των γεωτρήσεων παράχθηκαν χάρτες ισότεφρων καμπυλών με δύο μεθόδους. Στην πρώτη περίπτωση χωρίς να συμπεριληφθούν τα ρήγματα ενώ στη δεύτερη λαμβάνοντας τα υπόψη. Ως μέθοδος παρεμβολής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των αντιστρόφων αποστάσεων (IDS) την οποία χρησιμοποιεί και η ΔΕΗ. Όλοι οι χάρτες παράχθηκαν με το πρόγραμμα Surfer 8.0 της Golden Software.

Τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων αναλύθηκαν με στατιστική μέθοδο έτσι ώστε να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με το αν η επίδραση της τεκτονικής είναι στατιστικά σημαντική.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της εργασίας αυτής έγινε με σκοπό την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα του Πολυτεχνείου Κρήτης Δρ. Μ. Γαλετάκη, για την ανάθεση της εργασίας και για την πολύτιμη βοήθεια του στην επιτυχή ολοκλήρωση της.

Επίσης ευχαριστίες οφείλω στον Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης Δρ. Ζ. Αγιουτάντη και στον Αν. Καθηγητή Δρ. Κ. Κομνίτσα για τις παρατηρήσεις και διορθώσεις που έκαναν στο κείμενο.

Χανιά, Οκτώβριος 2004

Α. Κουβάτα

*αφιερώνεται  
στους γονείς μου*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	vi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
<i>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup></i> .....	3
<i>Η σημασία των ελληνικών λιγνιτών στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας</i> .....	3
1.1. Γένεση των λιγνιτών.....	3
1.2. Σύσταση των λιγνιτών.....	4
1.3. Ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα.....	5
1.4. Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαίδας – Αμύνταιου.....	6
1.5. Η Συμβολή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	9
<i>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup></i> .....	13
<i>Το κοιτάσμα του Νοτίου Πεδίου και η διαδικασία που ακολουθείται για την αξιολόγηση του</i> .....	13
2.1. Γεωλογικά-κοιτασματολογικά στοιχεία του Νοτίου Πεδίου.....	13
2.2. Επίδραση της τεκτονικής στη δομή του κοιτάσματος.....	18
2.3. Μεθοδολογία αξιολόγησης του κοιτάσματος.....	20
2.3.1 Κανόνες αξιολόγησης λιγνιτικών στρωμάτων γεώτρησης.....	23
2.3.2 Υπολογισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών απολήψιμου λιγνίτη.....	25
2.4. Περιγραφή πυρήνων γεώτρησης.....	30
2.5. Κωδικοποίηση, καταγραφή στοιχείων.....	31
<i>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup></i> .....	33
<i>Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου με τη μέθοδο των αντίστροφων αποστάσεων (IDS)</i> .....	33
3.1. Γενικά για τη δημιουργία μοντέλου ενός κοιτάσματος.....	33
3.2. Η μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων.....	35
3.2.1 Κριτική της μεθόδου IDS .....	38
3.3. Διαδικασία ανάπτυξης μοντέλου του κοιτάσματος του Νοτίου Πεδίου με τη μέθοδο IDS.....	39
<i>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup></i> .....	46
<i>Ανάπτυξη μοντέλων</i> .....	46
4.1. Ανάπτυξη μοντέλου κοιτάσματος χωρίς την επίδραση των ρηγμάτων.....	46
4.2. Διαίρεση του μοντέλου του κοιτάσματος σε τομείς.....	47
4.2.1 Σχόλια για τη χωρική κατανομή της AWF .....	62
4.3. Ανάπτυξη μοντέλου κοιτάσματος με την επίδραση των ρηγμάτων.....	63
4.4. Διαίρεση του μοντέλου του κοιτάσματος στο οποίο περιέχονται τα ρήγματα σε τομείς.....	65
4.4.1 Σχόλια για τη χωρική κατανομή της τέφρας.....	78
4.5. Ανάπτυξη μοντέλου κοιτάσματος με χρήση πολυωνυμικής συνάρτησης 3 <sup>ου</sup> βαθμού.....	78

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> .....	82
Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων.....	82
5.1. Έλεγχος στατιστικών υποθέσεων.....	82
5.2. Εφαρμογή F-test.....	84
5.3. Εφαρμογή t-test.....	86
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> .....	92
Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	96

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1. Κοιτάσματα Λιγνίτη.....	6
Σχήμα 1.2. Υπαίθρια ορυχεία.....	9
Σχήμα 1.3. Παραγωγή λιγνίτη την τελευταία δεκαετία.....	10
Σχήμα 1.4. Κόστος σε Euro ανά 100 kWh.....	12
Σχήμα 2.1. Τυπική μορφή του κοιτάσματος.....	13
Σχήμα 2.2. Τεκτονικός χάρτης Νότιου Πεδίου.....	18
Σχήμα 2.3. Στάδια αξιολόγησης στοιχείων γεωτρήσεων.....	22
Σχήμα 2.4. Τομή γεώτρησης.....	30
Σχήμα 3.1. Υπολογισμός της περιεκτικότητας $g_{block}$ του κέντρου ενός μπλοκ χρησιμοποιώντας τα κ πλησιέστερα δείγματα με τη μέθοδο IDS.....	36
Σχήμα 3.2. Παράμετροι έλλειψης για την αναζήτηση των πλησιέστερων δειγμάτων.....	37
Σχήμα 3.3. Σχεδιάγραμμα N. Πεδίου με τις θέσεις των γεωτρήσεων και τα εξωτερικά όρια του λιγνιτωρυχείου.....	39
Σχήμα 3.4. Σχεδιάγραμμα N. Πεδίου με τις θέσεις των γεωτρήσεων, τα εξωτερικά όρια του λιγνιτωρυχείου και τα ρήγματα.....	40
Σχήμα 3.5. Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν με τη μέθοδο IDS.....	44
Σχήμα 3.6. Η λειτουργία της IDS με τη χρήση ρηγμάτων.....	45
Σχήμα 4.1. Χάρτης ισόθεπρων καμπυλών (AWF%).....	46
Σχήμα 4.2. Σχεδιάγραμμα κοιτάσματος.....	48
Σχήμα 4.3. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 1.....	49
Σχήμα 4.4. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 2.....	50
Σχήμα 4.5. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 3.....	51
Σχήμα 4.6. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 4.....	52
Σχήμα 4.7. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 5.....	53
Σχήμα 4.8. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 6.....	54
Σχήμα 4.9. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 7.....	55
Σχήμα 4.10. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 8.....	56
Σχήμα 4.11. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 9.....	57
Σχήμα 4.12. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 10.....	58
Σχήμα 4.13. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 11.....	59
Σχήμα 4.14. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 12.....	60
Σχήμα 4.15. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 13.....	61
Σχήμα 4.16. Μεταβολή AWF% σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.....	62
Σχήμα 4.17. Μεταβολή AWF% σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.....	63

Σχήμα 4.18. Χάρτης ισόθεφων καμπυλών.....	63
Σχήμα 4.19. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 1 .....	66
Σχήμα 4.20. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 2 .....	67
Σχήμα 4.21. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 3 .....	68
Σχήμα 4.22. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 4 .....	69
Σχήμα 4.23. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 5 .....	70
Σχήμα 4.24. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 6 .....	71
Σχήμα 4.25. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 7 .....	72
Σχήμα 4.26. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 8 .....	73
Σχήμα 4.27. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 9 .....	74
Σχήμα 4.28. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 11 .....	75
Σχήμα 4.29. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 12 .....	76
Σχήμα 4.30. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 13 .....	77
Σχήμα 4.31. Ισόθεφρες καμπύλες (AWF%) που προέκυψαν με χρήση πολυώνυμου 3 <sup>ου</sup> βαθμού .....	80
Σχήμα 5.1. Συσχέτιση υπολογισθείσας τιμής και κρίσιμης F-test.....	85
Σχήμα 5.2. Όρια διακύμανσης της μέσης τιμής της AWF για το σύνολο του κοιτάσματος και τους τομείς με τη μέθοδο χωρίς τα ρήγματα .....	88
Σχήμα 5.3. Όρια διακύμανσης της μέσης τιμής της AWF για το σύνολο του κοιτάσματος και τους τομείς με τη μέθοδο με τα ρήγματα. ....	88
Σχήμα 5.4. Συσχέτιση υπολογισθείσας τιμής t και κρίσιμης.....	90

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1. Συμμετοχή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 1997-2002 σε σχέση με άλλες πηγές (Πηγή: ΔΕΗ) .....	11
Πίνακας 1.2. Ενεργειακές μονάδες ΛΚΠ-Α (Πηγή: ΔΕΗ,2003) .....	12
Πίνακας 3.1. Στατιστικά στοιχεία απόστασης γεωτρήσεων .....	42
Πίνακας 4.1. Στατιστικά στοιχεία AWF% του κοιτάσματος του Ν.Πεδίου.....	47
Πίνακας 4.2. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 1. ....	49
Πίνακας 4.3. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 2. ....	50
Πίνακας 4.4. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 3. ....	51
Πίνακας 4.5. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 4. ....	52
Πίνακας 4.6. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 5. ....	53
Πίνακας 4.7. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 6 .....	54
Πίνακας 4.8. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 7 .....	55
Πίνακας 4.9. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 8 .....	56
Πίνακας 4.10. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 9 .....	57
Πίνακας 4.11. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 10 .....	58
Πίνακας 4.12. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 11 .....	59
Πίνακας 4.13. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 12 .....	60
Πίνακας 4.14. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 13.....	61
Πίνακας 4.15. Στατιστικά στοιχεία AWF% του κοιτάσματος του Ν.Πεδίου.....	64
Πίνακας 4.16. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 1.....	66
Πίνακας 4.17. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 2 .....	67
Πίνακας 4.18. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 3 .....	68
Πίνακας 4.19. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 4.....	69
Πίνακας 4.20. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 5 .....	70
Πίνακας 4.21. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 6 .....	71

Πίνακας 4.22. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 7 .....	72
Πίνακας 4.23. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 8 .....	73
Πίνακας 4.24. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 9 .....	74
Πίνακας 4.25. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 11 .....	75
Πίνακας 4.26. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 12 .....	76
Πίνακας 4.27. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 13 .....	77
Πίνακας 4.28. Συντελεστές πολυωνύμου 3 <sup>ου</sup> βαθμού.....	79
Πίνακας 4.29. Στατιστικά στοιχεία AWF% με χρήση πολυώνυμου 3 <sup>ου</sup> βαθμού.....	80
Πίνακας 5.1. F-test.....	85
Πίνακας 5.2. Όρια διακύμανσης μέσης τιμής AWF για το σύνολο του κοιτάσματος και τους τομείς με τη μέθοδο χωρίς τα ρήγματα. ....	87
Πίνακας 5.3. Όρια διακύμανσης μέσης τιμής AWF για το σύνολο του κοιτάσματος και τους τομείς με τη μέθοδο με τα ρήγματα.....	87
Πίνακας 5.4. t-test.....	89



### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο την μελέτη της εξέλιξης της ποιότητας του λιγνίτη σε σχέση με την ανάπτυξη του ορυχείου και πως επηρεάζεται αυτή από την τεκτονική. Η παράμετρος της ποιότητας που μελετήθηκε είναι η τέφρα επί ξηρού.

Αφορμή στάθηκε η έρευνα που διεξήχθη από το Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας κατά το έτος 2001 με θέμα "Η σχέση της τεκτονικής με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος ορυχείου Νότιου Πεδίου" και κατά την οποία προέκυψε ότι μετά τα ρήγματα, που συναντώνταν κατά την εξέλιξη της εκμετάλλευσης από ΒΑ-ΝΔ, υπήρξε αλλαγή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος και συγκεκριμένα αύξηση της τέφρας από ΒΑ-ΝΔ.

Στην παρούσα εργασία στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία για τους ελληνικούς λιγνίτες, γίνεται η περιγραφή του κοιτάσματος της Πτολεμαΐδας και δίνονται στοιχεία που αφορούν τα αποθέματα και την παραγωγή του λιγνίτη στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου.

Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο, ακολουθεί η περιγραφή του ορυχείου του Νότιου Πεδίου και παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση των στοιχείων των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του μοντέλου του κοιτάσματος. Χρησιμοποιήθηκε δισδιάστατο μοντέλο με τετραγωνική κυψελίδα και ο υπολογισμός των παραμέτρων του κοιτάσματος (τέφρα επί ξηρού, AWF) από τα γνωστά

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

στοιχεία των γεωτρήσεων έγινε χρησιμοποιώντας ως μέθοδο παρεμβολής τη μέθοδο των αντιστρόφων αποστάσεων (IDS).

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η ανάπτυξη των μοντέλων του κοιτάσματος. Στην πρώτη περίπτωση αναπτύχθηκε το μοντέλο του κοιτάσματος χωρίς να ληφθεί υπόψη η ύπαρξη ρηγμάτων ενώ στη δεύτερη το μοντέλο που αναπτύχθηκε περιείχε και τα ρήγματα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται στατιστική ανάλυση και συσχέτιση των αποτελεσμάτων των διαφόρων μεθόδων και τέλος στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

### *Η σημασία των ελληνικών λιγνιτών στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας*

#### **1.1. Γένεση των λιγνιτών**

Οι λιγνίτες ανήκουν στις στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες με τη γενική ονομασία γαιάνθρακες, που προήλθαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Οι διεργασίες αυτές είχαν σαν αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των αποθέσεων των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα (ενανθράκωση).

Η ενανθράκωση εξαρτάται από τρεις κυρίως παράγοντες :

- το γεωλογικό χρόνο
- τη θερμοκρασία
- την πίεση.

Η μεταβολή από την τύρφη (αρχικό στάδιο ενανθράκωσης) στον ανθρακίτη (τελικό στάδιο ενανθράκωσης), χαρακτηρίζεται από μια σειρά μεταβολών στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων, όπως η μείωση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο και υδρογόνο, η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα, η αύξηση του ποσοστού των ατόμων του άνθρακα που είναι συνδεδεμένα σε αρωματικούς δακτυλίους και η μείωση των πτητικών συστατικών.

Οι λιγνίτες σχηματίζονται κατά τα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης, αμέσως μετά την τύρφη. Για τον σχηματισμό ενός μέτρου λιγνίτη έχει υπολογιστεί ότι απαιτείται χρονικό διάστημα 1000 έως 4000 ετών. Κατά το χρονικό αυτό διάστημα συντελούνται σημαντικές μεταβολές στη σύνθεση της

χλωρίδας από την οποία προκύπτουν τα φυτικά υπολείμματα όσο και στις συνθήκες απόθεσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία λιγνιτικών στρωμάτων που έχουν τον ίδιο μεν βαθμό ενανθράκωσης, αλλά είναι διαφορετικού τύπου. Οι διαφορετικοί αυτοί τύποι ονομάζονται λιθότυποι και διακρίνονται εύκολα στα μέτωπα εκσκαφής των ορυχείων σαν στρώματα διαφορετικής υφής και χρώματος.

## **1.2. Σύσταση των λιγνιτών**

Τα βασικά χαρακτηριστικά των λιγνιτών είναι η οργανική καύσιμη ύλη, η υγρασία και η τέφρα.

Η καύσιμη ύλη περιλαμβάνει τον μόνιμο άνθρακα και τα πτητικά συστατικά. Πτητικά συστατικά θεωρούνται τα συστατικά που απομακρύνονται από τον λιγνίτη με θέρμανση σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου και σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 750° C. Αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες, CO<sub>2</sub> και CO.

Η υγρασία αποτελεί σημαντικό συστατικό των λιγνιτών και όλων γενικά των γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης. Το περιεχόμενο νερό στους λιγνίτες διακρίνεται στο τριχοειδές και το προσροφημένο.

Η τέφρα περιλαμβάνει τα ανόργανα συστατικά των φυτικών υπολειμμάτων (πρωτογενής ή συγγενετική τέφρα) και το ανόργανο υλικό που προέρχεται από εξωτερικές πηγές και συναποτετέθηκε με τα φυτικά υπολείμματα ή εισήλθε σε αυτά μέσω ρηγμάτων (δευτερογενής ή επιγενετική τέφρα). Στην πράξη κατά την εξόρυξη του λιγνίτη προστίθεται και ανόργανο υλικό, ενδιάμεσα στείρα, που συνεξορύσσεται με τον λιγνίτη (τέφρα εκμετάλλευσης).

Τα παραπάνω τρία βασικά συστατικά του λιγνίτη συνδέονται με τη σχέση:

$$\text{καύσιμη ύλη \%} + \text{υγρασία \%} + \text{τέφρα \%} = 100$$

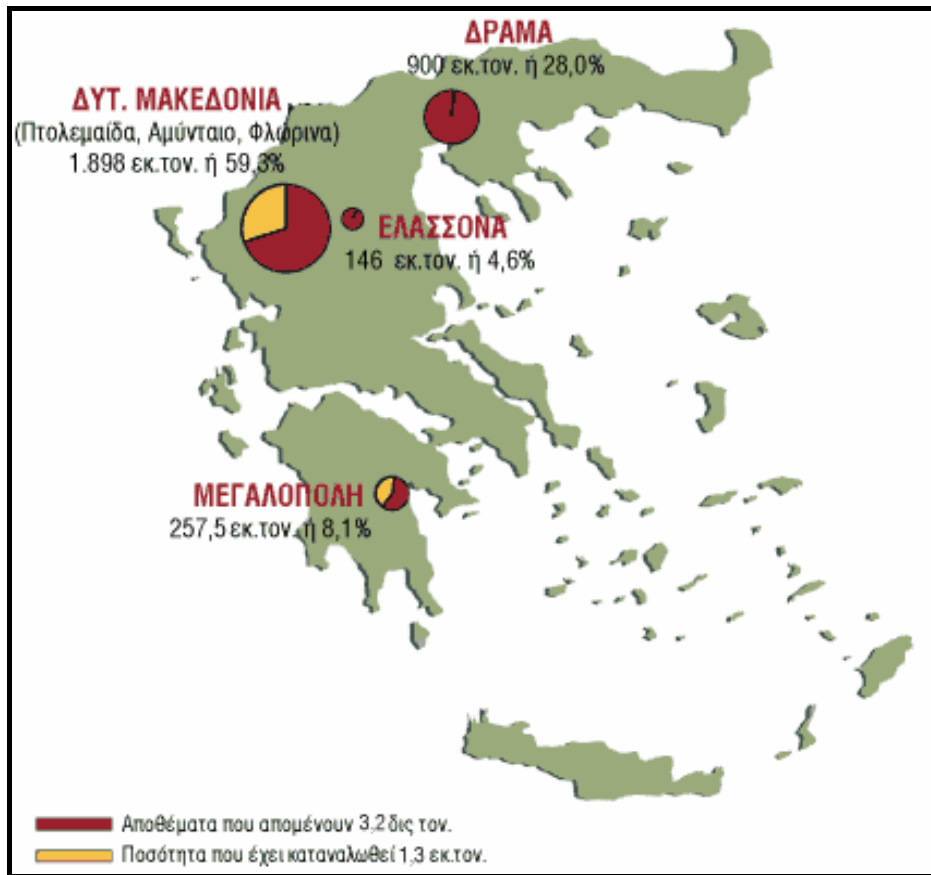
### **1.3. Ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα**

Στον Ελλαδικό χώρο έχουν εντοπισθεί σημαντικές ποσότητες φτωχών ενεργειακών πρώτων υλών όπως είναι ο λιγνίτης και η τύρφη που η αξιοποίηση τους έχει συμβάλλει καθοριστικά στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας μας.

Τα βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα ξεπερνούν τους 6.75 δισεκατομμύρια τόννους. Από τους 6,75 δις τόννους γεωλογικά βεβαιωμένων αποθεμάτων, τα 3,85 δις τόννοι είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμοι ενώ τα δυνατά αποθέματα ανέρχονται σε 1,6 δις τόννους και τα πιθανά σε 2,3 δις τόννους (Παπανικολάου, 2003).

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,9 δις τόννους, στην περιοχή της Δράμας με απόθεμα 900 εκ. τόννους και στην περιοχή Ελασσόνας με 150 εκ. τόννους. Επίσης στην Πελοπόννησο, περιοχή Μεγαλόπολης, υπάρχει λιγνιτικό κοίτασμα με απόθεμα περίπου 250 εκ. τόννους (Σχήμα 1.1).

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων.



*Σχήμα 1.1. Κοιτάσματα Λιγνίτη (Πηγή:ΔΕΗ)*

Εκτός από λιγνίτη η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα Τύρφης στην περιοχή των Φιλιππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα αυτό εκτιμώνται σε 4 δις κυβικά μέτρα και ισοδυναμούν περίπου με 125 εκατ. τόνους πετρελαίου (Πηγή:ΔΕΗ, 2004).

#### **1.4. Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμύνταιου**

Στη Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Φλώρινα – Πτολεμαΐδα - Κοζάνη, είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της Ελλάδας. Τα βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα ανέρχονται σε 4.3 δισεκατομμύρια τόννους και αποτελούν τα 2/3

περίπου των συνολικών αποθεμάτων της Ελλάδας. Τα συνολικά εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα εκτιμώνται σε 2.4 δισεκατομμύρια τόννους με βάση τα σημερινά τεχνικό-οικονομικά δεδομένα. Αυτά τα αποθέματα επαρκούν για να τροφοδοτήσουν την εγκατεστημένη ισχύ στους ΑΗΣ της περιοχής για τα επόμενα 50 χρόνια περίπου.

Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην περιοχή της Πτολεμαΐδας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε το 1955 από την εταιρία ΛΙΠΤΟΛ. Εξαιτίας της σπουδαιότητας του λιγνίτη η οποία δεν άργησε να διαφανεί και σήμανε την ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας, οι μετοχές της ΛΙΠΤΟΛ περιήλθαν το 1959 στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) και στην Εθνική Τράπεζα. Η ΛΙΠΤΟΛ ενσωματώθηκε πλήρως στη ΔΕΗ στις 08/12/1975. Σήμερα η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης ανήκει στην αρμοδιότητα του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας - Κοζάνης (ΛΚΠ-Α). Η παραγωγή λιγνίτη που ήταν το 1959 1,3 εκ. τόνους, αυξήθηκε το 1975 σε 11,7 εκ. τόνους, το 1985 σε 27,3 εκ. τόνους και το 2003 σε 54,58 εκ. τόνους.

Για την επίτευξη του έργου αυτού χρησιμοποιούνται 42 καδοφόροι εκσκαφείς, 16 αποθέτες, 225 km περίπου ταινιόδρομοι (με πλάτος 1,0 - 2,4 μέτρα) και 1.000 περίπου ντηζελοκίνητα μηχανήματα (Πηγή:ΔΕΗ, 2004).

Το ΛΚΠ-Α συνίσταται από τα παρακάτω ορυχεία, που σήμερα βρίσκονται σε λειτουργία (Σχ 1.2) :

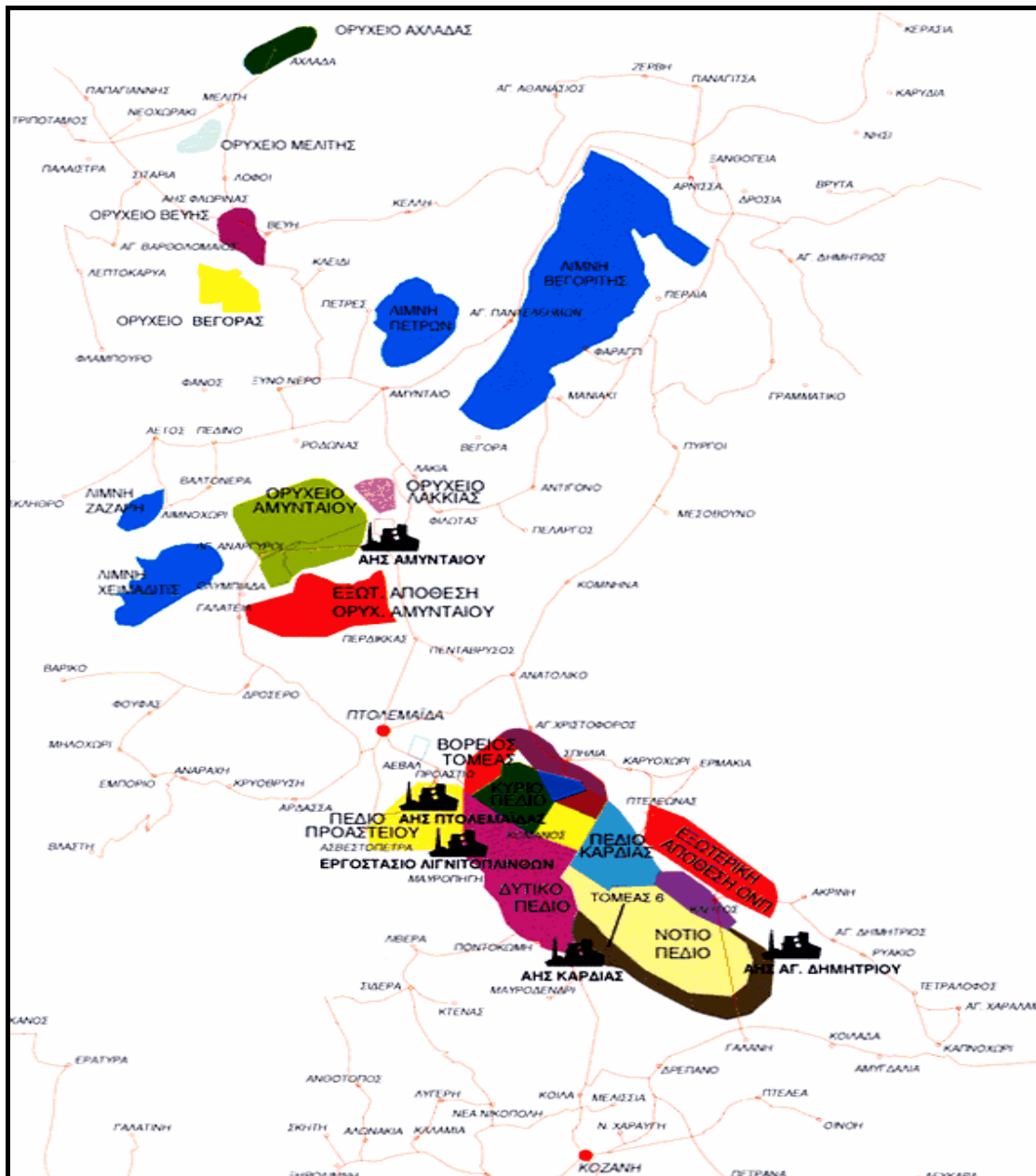
- Ορυχείο Κύριου Πεδίου (*εκμεταλλεύσεις Βόρειου Πεδίου και Πεδίου Κομάνου*)
- Ορυχείο Πεδίου Καρδιάς (*εκμεταλλεύσεις Ανατολικών Ορίων Καρδιάς και Τομέα 6*)

- Ορυχείο Νότιου Πεδίου (*εκμεταλλεύσεις ομώνυμου Πεδίου*)
- Ορυχείο Αμυνταίου (*εκμεταλλεύσεις κυρίως ορυχείου και Πεδίου Αναργύρων*)

Η συνολική παραγωγή λιγνίτη των παραπάνω τεσσάρων ορυχείων ανέρχεται περίπου στα 50 εκατομμύρια τόνους ανά έτος και παρουσιάζει αυξητικές τάσεις την τελευταία πενταετία. Η παραγωγική ικανότητα των ορυχείων του ΛΚΠ-Α ανά έτος έχει περίπου ως εξής: (Πηγή: ΔΕΗ, 2004)

Ορυχείο Κύριου Πεδίου	7 εκατ. τόνοι
Ορυχείο Πεδίου Καρδιάς	15 εκατ. τόνοι
Ορυχείο Νότιου Πεδίου	20 εκατ. τόνοι
Ορυχείο Αμυνταίου	8 εκατ. Τόνοι





Σχήμα 1.2. Υπαίθρια ορυχεία (Πηγή:ΔΕΗ)

### 1.5. Η Συμβολή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ο λιγνίτης αποτελεί την κύρια ενεργειακή πρώτη ύλη της χώρας μας και τη βάση της ανάπτυξης των ενεργειακών προγραμμάτων της ΔΕΗ. Τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ στην Πτολεμαΐδα και τη Μεγαλόπολη εξασφαλί-

ζουν το σημαντικότερο για την ελληνική οικονομία ενεργειακό καύσιμο, το λιγνίτη, στον οποίο βασίστηκε ο εξηλεκτρισμός της χώρας μας από τη στιγμή της ίδρυσης της Επιχείρησης.

Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα έχουν εξορυχθεί συνολικά 1,3 δισ. τόνοι λιγνίτη ενώ τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 3,2 δισ. τόνους περίπου. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η παραγωγή λιγνίτη την τελευταία δεκαετία (Πηγή: ΔΕΗ).



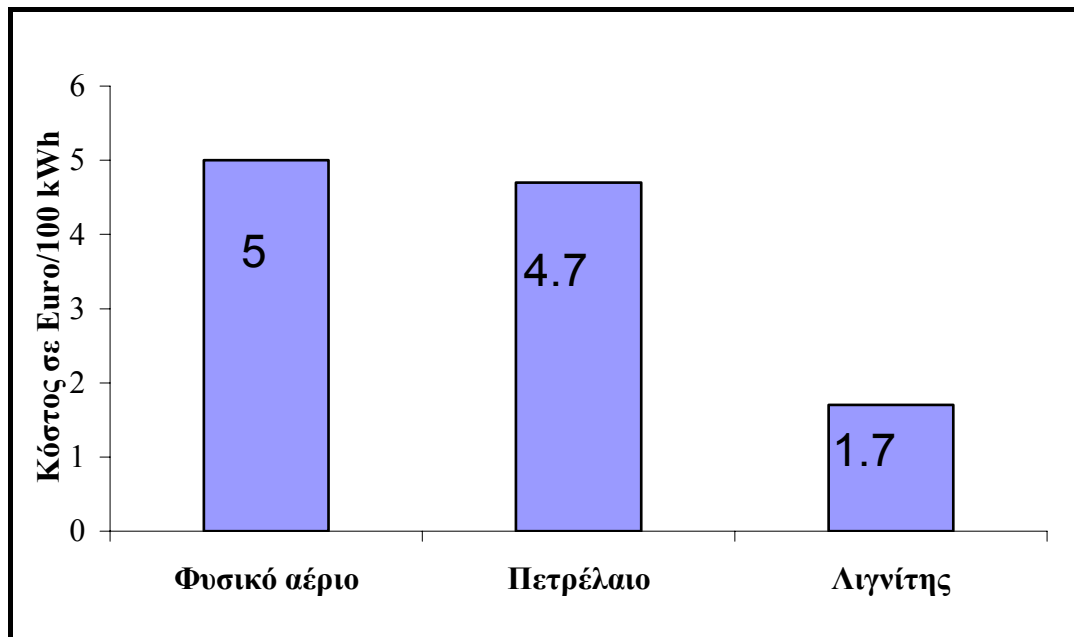
**Σχήμα 1.3. Παραγωγή λιγνίτη την τελευταία δεκαετία (Πηγή: ΔΕΗ)**

Η χρήση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποφέρει στην Ελλάδα τεράστια εξοικονόμηση συναλλάγματος (περίπου 1 δισ. δολάρια ετησίως). Ο λιγνίτης είναι καύσιμο στρατηγικής σημασίας για τη ΔΕΗ, γιατί έχει χαμηλό κόστος εξόρυξης, σταθερή και άμεσα ελέγξιμη τιμή και παρέχει σταθερότητα και ασφάλεια στον ανεφοδιασμό καυσίμου. Συγχρόνως, προσφέρει χιλιάδες θέσεις εργασίας στην ελληνική περιφέρεια, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά ανεργίας. Ο λιγνίτης έχει συντελέσει τα μέγιστα στην αύξηση του εθνικού προϊόντος (Πηγή: ΔΕΗ). Η συμμετοχή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 1997-2002 σε σχέση με άλλες πηγές παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 1.1. Συμμετοχή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 1997-2002 σε σχέση με άλλες πηγές (Πηγή: ΔΕΗ)**

Έτος	Λιγνίτης		Φυσικό αέριο		Πετρέλαιο		Υδατοπτώσεις		Σύνολο	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
1997	27751	76.7	2851	0.8	4976	11.3	4048	11.2	36160	100.0
1998	29231	75.8	1616	4.2	3852	10.0	3841	10.0	38540	100.0
1999	29276	70.9	3700	9.0	3528	8.5	4781	11.6	41285	100.0
2000	31058	69.2	5596	12.5	4141	9.2	4062	9.1	44856	100.0
2001	32106	72.4	5801	13.1	3551	8.0	2668	6.0	44373	99.5
2002	31242	69.8	6730	15.0	3391	7.6	3381	7.6	44744	100.0

Όπως γίνεται αντιληπτό, ο λιγνίτης συμμετέχει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά ένα ποσοστό που αγγίζει το 70%. Το γεγονός αυτό δεν οφείλεται αποκλειστικά στην αφθονία του λιγνίτη στο ελληνικό υπέδαφος αλλά και στο χαμηλό κόστος παραγωγής της kWh χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το λιγνίτη. Το σχήμα που ακολουθεί παριστά το κόστος σε Euro ανά 100 kWh από τους μη ανανεώσιμους πόρους που χρησιμοποιήθηκαν στην Ελλάδα για την ηλεκτρική παραγωγή κατά τη διάρκεια του έτους 2001 (Σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.4. Κόστος σε Euro ανά 100 kWh (Πηγή: ΔΕΗ,2001)

Ο λιγνίτης που εξορύσσεται από τα ορυχεία του ΛΚΠ-Α τροφοδοτεί τις ενεργειακές μονάδες που έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 4.438 MW. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι λιγνιτικές μονάδες του διασυνδεδεμένου δικτύου της ΔΕΗ της περιοχής του ΛΚΠ-Α.

Πίνακας 1.2. Ενεργειακές μονάδες ΛΚΠ-Α (Πηγή: ΔΕΗ,2003)

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	10+33 = <b>43</b>
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	70 + 2x125 + 300 = <b>620</b>
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	2x300 + 2x325 = <b>1.250</b>
ΑΗΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	2x300+2x310+375 = <b>1.595</b>
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	2x300 = <b>600</b>
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ-ΑΧΛΑΔΑΣ	1x330 = <b>330</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>4.438</b>

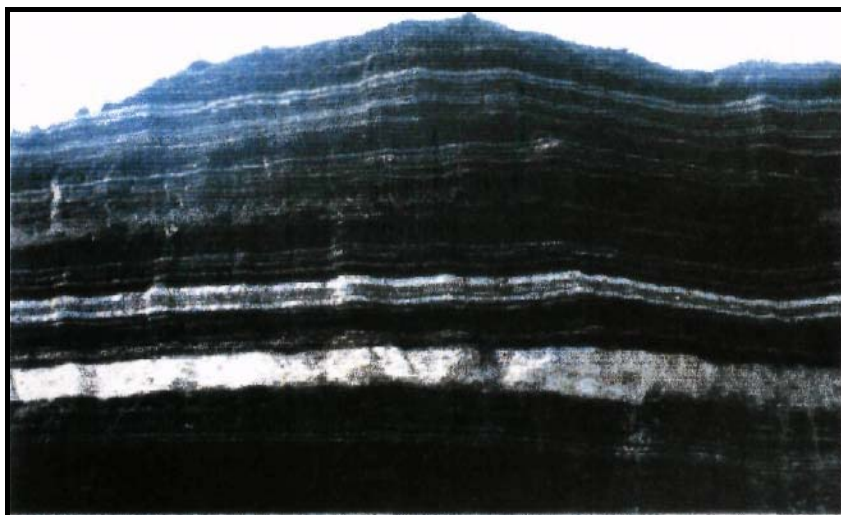
Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω καθίσταται φανερός ο σημαντικός ρόλος που παίζει και πρόκειται να παίζει ο λιγνίτης στην ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας μας και στην οικονομική της ανάπτυξη.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### *Το κοίτασμα του Νοτίου Πεδίου και η διαδικασία που ακολουθείται για την αξιολόγηση του*

#### **2.1. Γεωλογικά-κοιτασματολογικά στοιχεία του Νότιου Πεδίου**

Η λιγνιτοφόρος λεκάνη Πτολεμαΐδας αποτελεί τμήμα μίας ευρύτερης τεκτονικής τάφρου, που αρχίζει Β-ΒΔ από την περιοχή των συνόρων της Ελλάδας με την Π.Γ.Δ.Μ (FYROM) και συνεχίζεται Ν-ΝΑ πέρα της κωμόπολης Σερβίων Κοζάνης. Το κοίτασμα λιγνίτη του Ορυχείου του Νότιου Πεδίου είναι πολυστρωματικό, λιμνοτελματικού τύπου και φιλοξενείται στις Νεογενείς αποθέσεις του νοτίου τμήματος (Σαρηγκιόλ) της λεκάνης Αμυνταίου- Πτολεμαΐδας. Πρόκειται για λιγνίτη που προήλθε από την ενανθράκωση της υδροχαρούς βλάστησης του Ανωτέρου Πλειόκαινου. Κύριο χαρακτηριστικό του κοιτάσματος είναι η εναλλαγή λιγνιτικών ζωνών και ενδιαμέσων( μάργες, άργιλοι, άμμοι).



*Σχήμα 2.1. Τυπική μορφή του κοιτάσματος (Πηγή:ΔΕΗ).*

Η γεωλογική ιστορία και εξέλιξη της λεκάνης εντοπίζεται στη δεύτερη γαι-ανθρακοφόρο γεωλογική περίοδο του καινοζωικού αιώνα. Η κύρια φάση

της λιγνιτογέννεσης συμπίπτει με τη νεογενή περίοδο. Γεωτεκτονικά η περιοχή της λεκάνης (περιθώριο και υπόβαθρο) ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, είναι δε πιθανό τμήμα των ανατολικών περιθωρίων της να ανήκει στη ζώνη Αξιού.

Στη γεωλογική κατασκευή των περιθωρίων και του υποβάθρου της λεκάνης συμμετέχουν από τη μια τα πετρώματα της κρυσταλλοσχιστώδους Πελαγονικής μάζας και από την άλλη το επικείμενο πάνω σε αυτή μεσοζωικό επικάλυμμα.

Τα ιζήματα της τάφρου αποτελούνται από τα στρώματα του νεογενούς (Πλειόκαινου), που με τη σειρά τους αποτελούν τη βάση και το κύριο μέρος της στρωματογραφικής σειράς, που βρίσκεται μέσα στην τάφρο και από τα στρώματα του τεταρτογενούς, που από άποψη ηλικίας βρίσκονται μεταξύ Πλειστόκαινου και Ολόκαινου και που υπέρκεινται των προηγούμενων νεογενών.

Από τα πετρώματα της Πελαγονικής μάζας εμφανίζονται αυτά του λιθανθρακοπερμίου αλλά και παλαιότερα κρυσταλλοσχιστώδη στα δυτικά περιθώρια της λεκάνης και πιθανόν και μέσα στο υπόβαθρο της νεογενούς λεκάνης. Τα πρώτα αποτελούνται από κρυσταλλικούς σχιστόλιθους, κύρια μαρμαρυγιακούς, χαλαζίτες και γνεύσιους, όπως επίσης και μερικούς οφιόλιθους.

Η στρωματογραφική σειρά του μεσοζωικού επικαλύμματος που υπέρκειται των προηγούμενων στρωμάτων της Πελαγονικής σε ασυμφωνία, περιλαμβάνει πετρώματα τριαδικοϊουρασικής και ανωκρητιδικής ηλικίας. Η τριαδικοϊουρασική σειρά αποτελείται από την παχιά ασβεστολιθική μάζα της βάσεως και το σύστημα σχιστοκερατολίθων με οφιόλιθους στη συνέχεια. Η μετά την επίκλυση του Κενομανίου, ανωκρητιδική σειρά περιλαμβάνει: το βασικό κροκαλοπαγές επίκλυσης, διαφόρων τύπων ασβεστόλι-

θους και το σύστημα των φλυσχοειδών πετρωμάτων, που συνίσταται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και λεπτοπλακώδεις μέχρι σχιστώδεις ασβεστόλιθους. Μεταξύ των προηγούμενων μεσοζωικών σειρών παρεμβάλλονται τοπικά βωξιτικού τύπου λατεριτικά σιδηρομεταλλεύματα όπως επίσης και μερικές εμφανίσεις βωξίτη.

Προς το τέλος της τριτογενούς περιόδου σχηματίστηκε η μεγάλη τεκτονική τάφρος, σαν αποτέλεσμα διαρρήξεων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, που αποτελεί ολόκληρη ζώνη μικρότερων ταφροειδών βυθισμάτων οι οποίες συνιστούν τις λιγνιτοφόρες λεκάνες Φλώρινας- Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας και Κοζάνης - Σερβίων. Με τις ηπειρογενετικές κινήσεις του Τεταρτογενούς οι λεκάνες αυτές κομματιάστηκαν και έτσι η λεκάνη Πτολεμαΐδας χωρίστηκε σε μικρότερα ταφροειδή βυθίσματα (Πτολεμαΐδας - Έλους - Σαρηγκιόλ κλπ.) και σε ρηξιγενή εξάρματα (Αγίου Χριστόφορου, Κομάνου κλπ.).

Τα ιζήματα της τεκτονικής τάφρου που αφορούν το νότιο τμήμα της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας, ανήκουν στους νεογενείς (πλειοκαινικούς) λιγνιτοφόρους και μη σχηματισμούς και σε κείνους του Τεταρτογενούς (Πλειστοκαίνου και Ολοκαίνου).

Οι νεογενείς αποθέσεις περιλαμβάνουν τις ακόλουθες σειρές :

- α. Την ανώτερη (υπέρκειται της λιγνιτοφόρας)
- β. Τη λιγνιτοφόρα
- γ. Την κατώτερη (υπόκειται της λιγνιτοφόρας)

Η ανώτερη σειρά περιλαμβάνει :

- α. Την ανώτερη στοιβάδα των κιτρινόφαιων λεπτομερών κλαστικών ιζημάτων, που αποτελούνται από εναλλασσόμενες ενστρώσεις άμμων, αργίλων,

αμμούχων μαργών, χαλαρών κροοκαλοπαγών και φακοειδών διαστρώσεων ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

β. Την στοιβάδα των πρασινότεφρων αργιλομαργαϊκών ιζημάτων, που αποτελούνται από αμμούχους -αργίλους και ιλυομιγείς αργιλούχες μάργες.

Το μέγιστο πάχος ολόκληρης της σειράς αυτής φτάνει τα 100 μέτρα περίπου (Γαλετάκης, 1996).

Η λιγνιτοφόρα σειρά περιλαμβάνει:

α. Την ανώτερη λιγνιτοφόρα στοιβάδα που αποτελείται από 9-10 στρώματα λιγνίτη πάχους κυμαινόμενου μεταξύ μερικών εκατοστών του μέτρου μέχρι και δύο μέτρων και από ένα μέχρι τρία λεπτά στρώματα ξυλίτη στην οροφή της στοιβάδας, που μεταξύ τους παρεμβάλλονται στείρες ενστρώσεις αργίλων, μαργών και λιμναίας κρητίδας. Το μέγιστο συνολικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων είναι 10 μέτρα και της στοιβάδας 40 μέτρα.

β. Την ενδιάμεση σειρά στείρων ιζημάτων, που αποτελείται κυρίως από ασθενώς αμμούχες - μάργες, με σπάνιες ενστρώσεις αργίλων και συχνές ενστρώσεις λιμναίας κρητίδας αλλά και με ελάχιστα λεπτότατα στρωματίδια λιγνίτη πάχους 0.032 - 0.03 μέτρα. Το μέγιστο πάχος της στοιβάδας αυτής είναι 14 μέτρα.

γ. Την κατώτερη λιγνιτοφόρα στοιβάδα, που αποτελείται κύρια από εναλλασσόμενα στρώματα λιγνίτη, μάργων και αργίλων με μεταβλητό πάχος και από δύο ενστρώσεις, μια χαρακτηριστικής άμμου και μιας λιμναίας κρητίδας με το απολίθωμα "Neritina" που χρησιμοποιήθηκαν ως χαρακτηριστικοί ορίζοντες για τη διαπίστωση και τον εντοπισμό τεκτονικών στοιχείων (μεταπτώσεων) του κοιτάσματος. Το μέγιστο συνολικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων, στη στοιβάδα αυτή, φτάνει τα



55 μέτρα. Το μέγιστο πάχος ολόκληρης της στοιβάδας φτάνει τα 80 μέτρα περίπου.

Η κατώτερη σειρά αποτελείται, στους ανώτερους μεν ορίζοντες από τεφρές αργιλούχες μάργες, τοπικά αμμούχες με φακοειδείς διαστρώσεις μαργαικού ασβεστόλιθου συνολικού πάχους 90 μέτρων, στους κατώτερους δε, από αμμώδεις αργίλους με μαργαϊκές ενστρώσεις και έχει πάχος 110 μέτρα.

Η ηλικία των τριτογενών ιζημάτων, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, τοποθετείται στο Ανώτερο Πλειόκαινο.

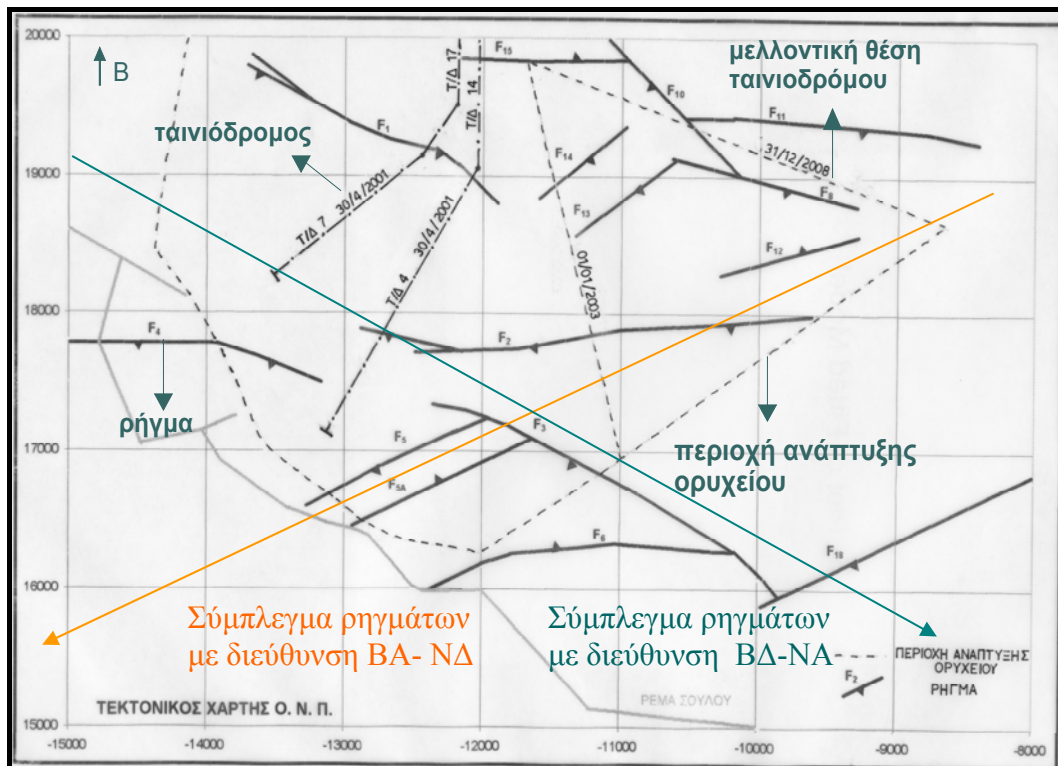
Οι τεταρτογενείς αποθέσεις, που επικαλύπτουν επιφανειακά όλα τα νεογενή ιζήματα, περιλαμβάνουν:

α. Σχηματισμούς δολουβιακούς, που αποτελούνται από σύστημα εναλλασσόμενων κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και κόκκινων αργίλων, από τα "κροκαλοπαγή Προαστίου", που όλα είναι ποταμιοχειμάριας προέλευσης, όπως επίσης και από κώνους λατυποκροκαλοπαγούς υλικού, που μεταφέρθηκε με τους χείμαρρους από τα κράσπεδα των περιθωρίων της λεκάνης και αποτέθηκε μέσα στη λεκάνη με μορφή ριπιδοειδών σχηματισμών. Οι επιφανειακοί ορίζοντες των λατυποκροκαλοπαγών αυτών στα νοτιοανατολικά τμήματα της λεκάνης αποτελούνται αποκλειστικά από ασβεστολιθικό υλικό και σχηματίζουν ένα συμπαγές και σκληρό επικάλυμμα.

β. Αλλουβιακούς σχηματισμούς, που περιλαμβάνουν τις ποταμιοχειμαρώδεις νεώτερες και πρόσφατες αποθέσεις, τα αποσαθρώματα των προηγουμένων πετρωμάτων, τα πλευρικά κορήματα και τα πρόσφατα εξωγενή ιζήματα της περιοχής Σαρηγκιόλ.

## 2.2. Επίδραση της τεκτονικής στη δομή του κοιτάσματος.

Τα ρήγματα που επικρατούν στην περιοχή είναι αρχικά τα ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης (Σχ.2.2). Από αυτά τα πρώτα θεωρούνται κρασπεδικά ρήγματα, που δημιούργησαν την αρχική τεκτονική τάφρο. Στα δεύτερα οφείλεται ο κατατεμαχισμός εγκάρσια προς τη γενική διεύθυνση της τάφρου και η διαμόρφωση της σημερινής εικόνας της λεκάνης Πτολεμαΐδας σε υπολεκάνες και εξάρματα.



Σχήμα 2.2. Τεκτονικός χάρτης Νότιου Πεδίου (Πηγή: ΔΕΗ)

Από τις προηγούμενες διευθύνσεις παρατηρούνται μικρές παρεκκλίσεις, δηλ. ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΒΒΑ-ΝΝΔ. Τέλος ρήγματα νεώτερης ηλικίας των προηγούμενων, διεύθυνσης Β-Ν και Α-Δ μέχρι ΑΒΑ-ΔΝΔ, παρατηρούνται τόσο μέσα στη λεκάνη όσο και στα περιθώρια αυτής. Τα ρήγματα αυτά έ-

χουν συμβάλλει στη διαμόρφωση της σημερινής μορφής του λιγνιτικού κοιτάσματος κυρίως στο ΝΑ τομέα της λεκάνης.

Σαν αποτέλεσμα των τεκτονικών διαταραχών τα λιγνιτικά στρώματα και τα περιβάλλοντα ιζήματα εμφανίζουν ελαφρά πτύχωση και τοπικά ελαφρά κλίση ( $3^{\circ}$  -  $5^{\circ}$ ) προς τα ΝΔ, ενώ τις περισσότερες φορές είναι σχεδόν οριζόντια. Στις ίδιες διαταραχές οφείλονται και οι διαβρώσεις στα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα, που παρατηρήθηκαν. Στα πετρώματα των περιθωρίων επικρατεί ρηξιγενής τεκτονική με ρήγματα των παραπάνω διευθύνσεων.

Σημαντικά τεκτονικά γεγονότα της περιοχής είναι η επίκλιση της θάλασσας του Κενομανίου και η παρουσία των τεκτονικών λεπίων στα ΝΑ περιθώρια της λεκάνης.

Ο λιγνίτης του Ν. Πεδίου και γενικότερα της λεκάνης Πτολεμαΐδας σχηματίστηκε στην περίοδο του Πλειόκαινου του Τριτογενούς (Καινοζωικός αιώνας), που χρονολογικά τοποθετείται πριν 1 εκ. ως 11 εκ. έτη (Κουρίδου, Σταμουλης, 2002).

Η κλειστή τεκτονική τάφρος Μοναστηρίου - Φλώρινας - Πτολεμαΐδας - Κοζάνης -Σερβίων, που δημιουργήθηκε μετά το τέλος των Αλπικών πτυχώσεων, αποτελούσε την περίοδο εκείνη λίμνη που περιοδικά και για ποικίλα, κατά περίπτωση, χρονικά διαστήματα, τμήματα της μεταβάλλονται σε έλη. Η υδροχαρής βλάστηση, που αναπτύχθηκε και συσσωρεύτηκε στον πυθμένα του έλους με τη συνδρομή και άλλων απαραίτητων προϋποθέσεων (καθίζηση, επικάλυψη, δράση μικροοργανισμών κ.α.) δημιούργησε τα λιγνιτικά στρώματα. Λιγνιτικά στρώματα μεγάλου πάχους αντιστοιχούν σε συνεχείς ομοιόμορφες καθιζήσεις του πυθμένα, αντίθετα οι απότομες κατακόρυφες κινήσεις της λεκάνης προκαλούν διακοπή της

λιγνιτογέννεσης και αντιστοιχούν στο σχηματισμό των ενδιάμεσων στείρων ενστρώσεων (κύρια μάργες, άργιλοι και άμμοι).

Οι λιγνίτες Πτολεμαίδας ανήκουν στην κατηγορία των αυτοχθόνων κοιτασμάτων, εφόσον το υλικό της φυτικής ιζηματογένεσης δε μεταφέρθηκε από άλλη περιοχή.

Το κύριο χαρακτηριστικό του λιγνιτικού κοιτάσματος είναι η συχνή εναλλαγή ποικίλλοντος πάχους λιγνιτικών στρωμάτων και ενδιάμεσων στείρων ενστρώσεων.

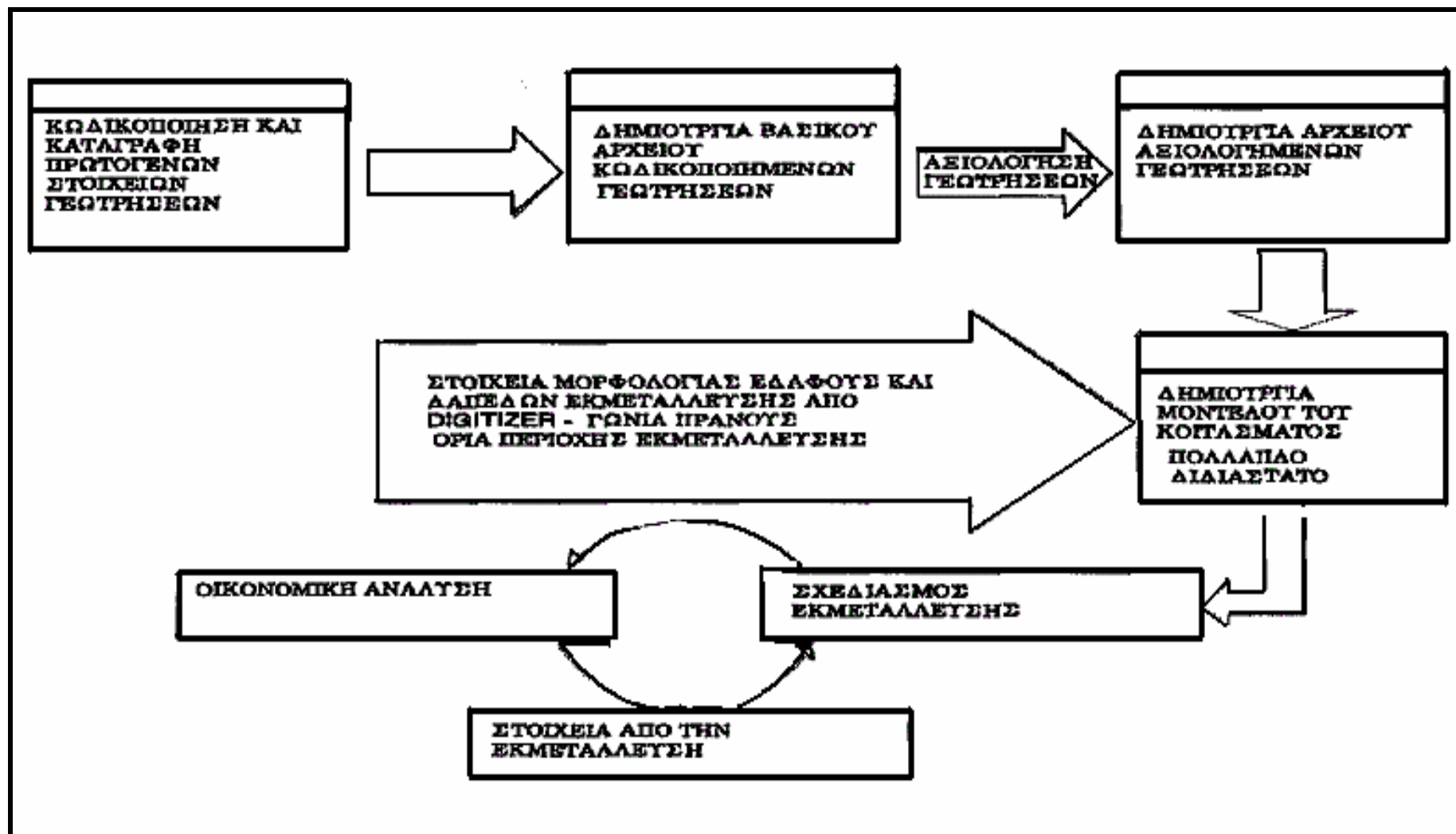
### **2.3. Μεθοδολογία αξιολόγησης του κοιτάσματος.**

Η συλλογή των στοιχείων που επιτρέπουν τον καθορισμό των ποιοτικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος γίνεται κατά το στάδιο της εκπόνησης της κοιτασματολογικής μελέτης και στηρίζεται στο πρόγραμμα έρευνας με γεωτρήσεις.

Ο αριθμός, η θέση, ο τύπος των γεωτρήσεων καθώς και το πρόγραμμα των δειγματοληψιών και αναλύσεων, πρέπει να είναι σχεδιασμένα ορθολογικά έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος βαθμός βεβαιότητας, όσον αφορά την αξιοπιστία των στοιχείων, με το μικρότερο δυνατό κόστος. Πολλές φορές το κόστος της γεωτρητικής έρευνας μπορεί να είναι πολύ μικρό, συγκρινόμενο με τις δαπάνες της προγραμματιζόμενης εκμετάλλευσης και εκείνο που ενδιαφέρει ιδιαίτερα είναι η αξιοπιστία και η επάρκεια των συλλεγέντων στοιχείων, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή και να μηδενιστεί η πιθανότητα, έστω και μερικής αποτυχίας της εκμετάλλευσης, που θα έχει κόστος πολλαπλάσιο των ερευνητικών εργασιών που θα απαιτούνταν για την εκτέλεση ενός επιπλέον αριθμού γεωτρήσεων ή άλλων ερευνητικών εργασιών.

Η διαδικασία συλλογής και αξιολόγησης των στοιχείων των γεωτρήσεων περιλαμβάνει τα εξής στάδια (Γαλετάκης , 1996), (Σχήμα 2.3):

- Καταγραφή και κωδικοποίηση των πρωτογενών στοιχείων των γεωτρήσεων όπως αυτά συλλέγονται στην ύπαιθρο.
- Δημιουργία βάσης δεδομένων, εισαγωγή και έλεγχος της ορθότητας των κωδικοποιημένων στοιχείων.
- Αξιολόγηση των στοιχείων κάθε μιας γεώτρησης λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τη μέθοδο εκμετάλλευσης και τις απαιτήσεις ποιότητας που προκύπτουν από τη χρήση για την οποία προορίζεται το εξορυσσόμενο υλικό.
- Δημιουργία μοντέλου του κοιτάσματος που βασίζεται στα στοιχεία των αξιολογημένων γεωτρήσεων.
- Κατασκευή χαρτών ισοτίμων καμπυλών για κάθε μια από τις παραμέτρους που ενδιαφέρει. (Γαλετάκης , 1996).



Σχήμα 2.3. Στάδια αξιολόγησης στοιχείων γεωτρήσεων (Γαλετάκης, 1996)

### 2.3.1 Κανόνες αξιολόγησης λιγνιτικών στρωμάτων γεώτρησης.

Η αξιολόγηση λιγνιτικών γεωτρήσεων είναι μια διαδικασία ενοποίησης των στρωμάτων τους σε τεχνικά απολήψιμα τμήματα λιγνίτη και ενδιάμεσων στείρων, που βασίζεται σε συγκεκριμένους κανόνες που προέκυψαν ως αποτέλεσμα των περιορισμών που θέτει η μέθοδος εκμετάλλευσης, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, οι απαιτήσεις χρήσης και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί.

Για τα λιγνιτικά κοιτάσματα της περιοχής ΛΚΠΑ που εκμεταλλεύονται με την υπαίθρια συνεχή μέθοδο, θεσπίστηκαν και ακολουθούνται κατά την αξιολόγηση οι παρακάτω κανόνες (Αναστόπουλος και Κούκουζας, 1972):

- Απολήψιμο λιγνιτικό στρώμα χαρακτηρίζεται εκείνο που έχει πάχος μεγαλύτερο του ελάχιστου πάχους εκλεκτικής εξόρυξης (συνήθως 50cm για υπαίθρια εκμετάλλευση με καδοφόρους εκσκαφείς) και τέφρα επί ξηρού μικρότερη της ανώτερης επιτρεπόμενης (συνήθως 50%).
- Στείρα ενδιάμεση ένστρωση με πάχος μεγαλύτερο του ορίου εκλεκτικής εξόρυξης (συνήθως 20cm για υπαίθρια εκμετάλλευση με καδοφόρους εκσκαφείς ) και με τέφρα επί ξηρού μεγαλύτερη του 70% απομακρύνεται σαν άγονο.
- Εάν μεταξύ δυο ενστρώσεων ενός απολήψιμου στρώματος λιγνίτη, με τέφρα επί ξηρού μικρότερη του επιτρεπόμενου ορίου (συνήθως 50%) υπάρχει ένστρωση που μακροσκοπικά χαρακτηρίζεται σαν λιγνίτης ενώ η χημική ανάλυση έχει δώσει τέφρα επί ξηρού με-

γαλύτερη του ορίου (50%) και κατώτερη του 55% (πολύ ισχυρά αργιλούχος λιγνίτης), η ένστρωση αυτή συνυπολογίζεται με την υπερκείμενη και την υποκείμενη ένστρωση, με την προϋπόθεση ότι η μέση τέφρα επί ξηρού της στοιβάδας που θα σχηματισθεί κατ' αυτό τον τρόπο θα είναι μικρότερη ή ίση του ανώτερου επιτρεπτού ορίου. Εάν είναι μεγαλύτερη του τότε η ενδιάμεση ένστρωση του πολύ ισχυρά αργιλούχου λιγνίτη δεν συνυπολογίζεται και αξιολογείται σαν στείρο υλικό.

- Στείρα ενδιάμεση ένστρωση με πάχος 0.20 - 0.25 m που χαρακτηρίζεται σαν ανθρακομιγής μέχρι πολύ ανθρακομιγής, με λεπτές λιγνιτικές ενστρώσεις συνολικού πάχους τουλάχιστον 25% του πάχους της, συνυπολογίζεται στο απολήψιμο απόθεμα και λαμβάνεται με τα υπερκείμενα και τα υποκείμενα στρώματα. Στην περίπτωση αυτή η τέφρα επί ξηρού της ενδιάμεσης στείρας ένστρωσης υπολογίζεται ως 100%, όταν φυσικά δεν υπάρχει ιδιαίτερη χημική ανάλυση.
- Στις παραπάνω δυο περιπτώσεις θα πρέπει οπωσδήποτε η μέση σταθμική τέφρα επί ξηρού της στοιβάδας να μην υπερβαίνει το όριο της τέφρας του απολήψιμου λιγνίτη. Σε αντίθετη περίπτωση η ενδιάμεση ένστρωση απορρίπτεται.
- Εάν υπάρχουν δυο εκμεταλλεύσιμα στρώματα που μεταξύ τους παρεμβάλλεται στείρα ένστρωση με πάχος 0.10 – 0.20 m, τα εκμεταλλεύσιμα στρώματα και η στείρα ένστρωση θα αποτελούν εκμεταλλεύσιμη στοιβάδα εάν η μέση τέφρα επί ξηρού δεν υπερβαίνει το προκαθορισμένο ανώτατο όριο της τέφρας για να χαρακτηριστεί



σαν εκμεταλλεύσιμο λιγνιτικό στρώμα. Σε αντίθετη περίπτωση τα δυο εκμεταλλεύσιμα στρώματα αξιολογούνται ξεχωριστά.

- Από το πραγματικό πάχος κάθε απολήψιμης στοιβάδας ή μεμονωμένου απολήψιμου στρώματος αφαιρούνται ορισμένα εκατοστά (συνήθως 10 cm) από την οροφή και το δάπεδο, που υπολογίζονται στα ενδιάμεσα στείρα. Το πραγματικό πάχος της στοιβάδας είναι αυτό που μένει μετά την αφαίρεση. Η αφαίρεση αυτή αντιπροσωπεύει τις απώλειες κατά την εκμετάλλευση που απαιτούνται για τον πλήρη καθαρισμό ενός απολήψιμου στρώματος.
- Σε κάθε εκμεταλλεύσιμο τμήμα προστίθεται ένα στείρο στρώμα καθορισμένου πάχους (από 5 έως 20 cm ανάλογα με τον τύπο του εξορυκτικού εξοπλισμού) που αντιστοιχεί στη ρύπανση εκμετάλλευσης.

### 2.3.2 Υπολογισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών απολήψιμου λιγνίτη.

Συμβολισμοί:

W = Υγρασία επί φυσικού %

AWF = Τέφρα επί ξηρού %

A = Τέφρα επί φυσικού

KΘΔ = Κατώτερη θερμογόνοξ δύναμη σε kcal/kg

d<sub>i</sub> = Πάχος σε cm του στρώματος i της γεώτρησης

d<sub>o</sub> = Αφαιρούμενο πάχος σε cm από κάθε απολήψιμη στοιβάδα λόγω απωλειών εκμετάλλευσης

$d_{\sigma}$  = Πάχος ρυπαντικού στρώματος

$\rho_i$  = Πυκνότητα του στρώματος  $i$

$\rho_{\sigma}$  = Μέση πυκνότητα στείων στρωμάτων ( συνήθως  $1,8 \text{ g/cm}^3$ )

Ο δείκτης  $\varepsilon$  αναφέρεται στην υπολογιζόμενη απολήψιμη στιβάδα και ο δείκτης  $\sigma$  στο στείο υλικό. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας απολήψιμης λιγνιτοφόρας στιβάδας υπολογίζονται σαν μέση σταθμική τιμή των τιμών των διακεκριμένων στρωμάτων ( $n$ ) που την απαρτίζουν.

Οι τύποι υπολογισμού είναι οι παρακάτω (Γαλετάκης, 1996):

$$W_{\varepsilon} = \frac{(d_1 - d_o)W_1\rho_1 + \sum_{i=2}^{n-1} d_i W_i \rho_i + (d_n - d_o)W_n \rho_n + d_{\sigma} W_{\sigma} \rho_{\sigma}}{\sum_{i=1}^n d_i \rho_i - d_o(\rho_1 + \rho_n) + d_{\sigma} \rho_{\sigma}} \quad (2.1)$$

$$AWF_{\varepsilon} = \frac{(d_1 - d_o)AWF_1\rho_1 + \sum_{i=2}^{n-1} d_i AWF_i \rho_i + (d_n - d_o)AWF_n \rho_n + d_{\sigma} AWF_{\sigma} \rho_{\sigma}}{\sum_{i=1}^n d_i \rho_i - d_o(\rho_1 + \rho_n) + d_{\sigma} \rho_{\sigma}} \quad (2.2)$$

$$K\Theta\Delta_{\varepsilon} = \frac{(d_1 - d_o)K\Theta\Delta_1\rho_1 + \sum_{i=2}^{n-1} d_i K\Theta\Delta_i \rho_i + (d_n - d_o)K\Theta\Delta_n \rho_n + d_{\sigma} K\Theta\Delta_{\sigma} \rho_{\sigma}}{\sum_{i=1}^n d_i \rho_i - d_o(\rho_1 + \rho_n) + d_{\sigma} \rho_{\sigma}} \quad (2.3)$$

Οι τιμές της τέφρας της υγρασίας και της  $K\Theta\Delta$  που δεν έχουν αναλυθεί λαμβάνονται προσεγγιστικά. Συνήθως σαν τέφρα επί ξηρού για τα ενδιά-

μεσα στείρα στρώματα λαμβάνεται 100%, ενώ η υγρασία επί φυσικού λαμβάνεται 35%. Η ΚΘΔ θεωρείται ίση με μηδέν ή λαμβάνει αρνητικές τιμές για ασβεστιτικής σύστασης τέφρα (Γαλετάκης, 1996).

Κατά την διαδικασία της αξιολόγησης απαιτείται λοιπόν ο προσδιορισμός των παρακάτω βασικών παραμέτρων (Γαλετάκης, 1996):

- Τα ελάχιστα απαιτούμενα πάχη για την εκλεκτική εξόρυξη των λιγνιτικών και στείρων ενδιαμέσων στρωμάτων, σύμφωνα με τον χρησιμοποιούμενο μηχανολογικό εξοπλισμό και την μέθοδο εξόρυξης.
- Το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό τέφρας για τον χαρακτηρισμό ενός στρώματος ως λιγνιτικού.
- Το αφαιρούμενο πάχος λιγνίτη από κάθε απολήψιμο στρώμα (απόλεια εκμετάλλευσης).
- Τα ειδικά βάρη λιγνίτη και ενδιάμεσων στείρων.
- Την τέφρα επί ξηρού και την ΚΘΔ των ενδιαμέσων στείρων.
- Το ισοδύναμο πάχος στείρου στρώματος που αντιστοιχεί στην ρύπανση που συμβαίνει κατά την εξόρυξη.

Επειδή η διαδικασία της αξιολόγησης των πρωτογενών γεωτρήσεων είναι χρονοβόρα και επίπονη, πραγματοποιείται σήμερα με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και ειδικού λογισμικού (Καραμαλίκης, 1992), με

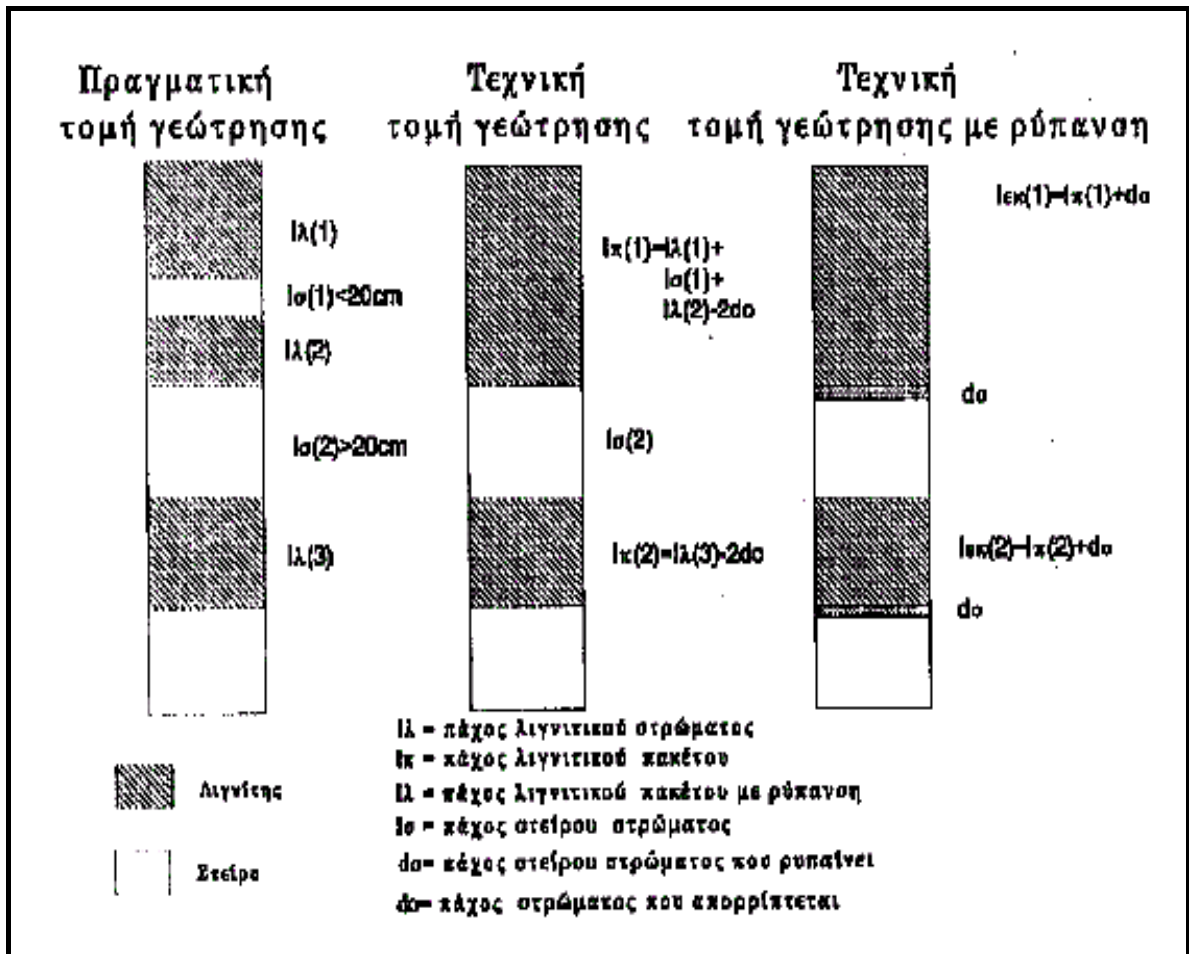
τη βοήθεια του οποίου είναι δυνατή η ταχύτατη και αξιόπιστη αξιολόγηση μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων.

Η ταχύτητα και αξιοπιστία που επιτυγχάνονται κατά την επεξεργασία με τη βοήθεια υπολογιστού, δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθούν πολλές διαφορετικές αξιολογήσεις και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τα πραγματικά στοιχεία της εκμετάλλευσης, να καθορίσουμε τις βέλτιστες τιμές των κρισίμων για την αξιολόγηση παραμέτρων. Τα βήματα που ακολουθεί ο αλγόριθμος της αξιολόγησης είναι:

- Εξετάζει τα στρώματα της υπό αξιολόγηση γεώτρησης μέχρι να εντοπίσει στείρο στρώμα που ικανοποιεί τις προϋποθέσεις εκλεκτικής απόληψης αγόνου, όπως για παράδειγμα το στρώμα Ισ(2) του σχήματος 2.4. Στην συνέχεια ενοποιεί προσωρινά τα στρώματα που προηγούνται του εκλεκτικά απολήψιμου αγόνου δημιουργώντας ένα μπλοκ (τμήμα  $l_{\pi}(1)$  του σχήματος 2.4.) και αφού αφαιρέσει για λόγους απωλειών, από την οροφή και το δάπεδο του το αντίστοιχο πάχος, προχωρά στον υπολογισμό των μέσων σταθμικών τιμών της υγρασίας, τέφρας και κατωτέρας θερμογόνου δύναμης του.
- Αν το πάχος του μπλοκ που προκύπτει και η μέση σταθμική τέφρα του ικανοποιεί τις προϋποθέσεις του απολήψιμου μπλοκ λιγνίτη, χαρακτηρίζεται λιγνιτικό στρώμα του αποδίδονται οι μέσες τιμές υγρασίας, τέφρας, ΚΘΔ και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις εξάντλησης των στρωμάτων της συγκεκριμένης γεώτρησης.

- Αν όμως ο σταθμικός μέσος όρος της τέφρας του παραπάνω μπλοκ και το συνολικό του πάχος δεν ικανοποιούν τις προϋποθέσεις του εκλεκτικά απολήψιμου λιγνιτικού στρώματος, αφαιρείται το τελευταίο στρώμα του μπλοκ και επαναλαμβάνεται η διαδικασία υπολογισμών μέσων τιμών και αφαιρέσεων στρωμάτων, έως ότου βρεθεί κάποιο τμήμα του μπλοκ που ικανοποιεί τις προδιαγραφές του απολήψιμου στρώματος λιγνίτη.
- Το τμήμα αυτό το χαρακτηρίζει λιγνίτη και συνεχίζεται η ίδια διαδικασία με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των στρωμάτων που απομένουν μέχρις εξάντλησης του μπλοκ  $l_{p(1)}$ .
- Στην περίπτωση που μετά από συνεχείς αφαιρέσεις στρωμάτων κανένας συνδυασμός δεν δίνει τεχνικά απολήψιμο λιγνίτη, αξιολογείται το πρώτο στρώμα του μπλοκ και μετά τον χαρακτηρισμό του σε λιγνίτη ή στείρο, συνεχίζει την διαδικασία με τα υπόλοιπα στρώματα μέχρις εξάντλησης του μπλοκ.

Ο αλγόριθμος αξιολόγησης εξετάζει και εξαντλεί όλους τους δυνατούς συνδυασμούς μεταξύ των στρωμάτων ενός μπλοκ, γεγονός που με χειρογραφική διαδικασία είναι σχεδόν αδύνατο. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα επόμενα μπλοκ που αποκόπτονται από εκλεκτικά απολήψιμα άγονα στρώματα μέχρις εξάντλησης της εξεταζόμενης γεώτρησης. Μετά το πέρας της αξιολόγησης, τα υπερκείμενα και τα αξιολογημένα μπλοκ λιγνίτη και στείρων ενδιαμέσων συνθέτουν την στήλη της αξιολογημένης γεώτρησης, ένα τμήμα της οποίας φαίνεται στο σχήμα 2.4. (Γαλετάκης, 1996).



Σχήμα 2.4. Τομή γεώτρησης (Γαλετάκης, 1996)

#### 2.4. Περιγραφή πυρήνων γεώτρησης.

Από το 1960 έως και σήμερα έχει εκτελεσθεί ένας πολύ μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων από διάφορους, κρατικούς κυρίως, φορείς στην περιοχή του Νότιου Πεδίου. Οι παλαιότερες έχουν εκτελεσθεί από το μελετητικό γραφείο του Ehlers για λογαριασμό της ΔΕΗ, το ΙΓΕΥ (σημερινό ΙΓΜΕ), τη ΛΙΠΤΟΛ (που αργότερα συγχωνεύτηκε με τη ΔΕΗ) και την ΥΕΒ. Τα τελευταία χρόνια οι γεωτρήσεις εκτελούνται αποκλειστικά από τη ΔΕΗ και το ΙΓΜΕ (Γαλετάκης, 1996).

Οι μέχρι σήμερα εκτελεσθείσες γεωτρήσεις ξεπερνούν τις 600. Οι περισσότερες από αυτές έχουν εκτελεσθεί για την κοιτασματολογική έρευνα ενώ έχει εκτελεσθεί και ένας σημαντικός αριθμός τόσο για τη μελέτη και εντοπισμό των σκληρών σχηματισμών στην υπερκείμενη της λιγνιτοφόρου σειράς όσο και για τη μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών. Σ' όλες τις κοιτασματολογικές γεωτρήσεις έγινε πυρηνοληψία για το τμήμα της λιγνιτοφόρου στιβάδας ενώ σε ένα ποσοστό αυτών έγινε και πυρηνοληψία στα υπερκείμενα στρώματα. Η ιδιομορφία των ιζημάτων της λεκάνης του Ν.Πεδίου με τις πολυάριθμες και ποικίλου πάχους ενστρώσεις διαφορετικής λιθολογικής σύστασης και η αναγκαιότητα εντοπισμού χαρακτηριστικών οριζόντων αναφοράς, επέβαλλαν τη λεπτομερή λιθολογική περιγραφή των πυρήνων των γεωτρήσεων. Η περιγραφή των πυρήνων έγινε κατά τμήματα ενιαία ελάχιστου πάχους 10 cm . Έτσι, σε περιπτώσεις που ένστρωση με πάχος μικρότερο των 10 cm παρεμβάλλεται της ένστρωσης μεγαλύτερου πάχους και διαφορετικής σύστασης, η λεπτή αυτή ένστρωση περιγραφόταν σαν τμήμα της παχύτερης που την περιέκλειε. Στην περιγραφή κάθε ένστρωσης δίνονται κατά σειρά τα παρακάτω στοιχεία: το είδος του πετρώματος, οι προσμίξεις, η υφή, ο ιστός, το χρώμα και όταν συναντώνται απολιθώματα, συγκρίματα, κροκάλες και διάφορα άλλα στοιχεία που γίνονται αντιληπτά με την μακροσκοπική εξέταση του πυρήνα. (Γαλετάκης, 1996).

## **2.5. Κωδικοποίηση, καταγραφή στοιχείων.**

Η κωδικοποίηση των στοιχείων των γεωτρήσεων κρίνεται απαραίτητη για τους παρακάτω λόγους (Γαλετάκης, 1996):

- Μειώνει σημαντικά το μέγεθος των δημιουργούμενων αρχείων.
- Καθιστά εύκολη και γρήγορη την εισαγωγή και διόρθωση τους.

- Διευκολύνει την αναζήτηση και σύγκριση.
- Μειώνει την υποκειμενικότητα των εκτιμήσεων που περιέχουν οι ελεύθεροι χαρακτηρισμοί και περιγραφές

Τα αναλυτικά στοιχεία των γεωτρήσεων του ορυχείου του Ν.Πεδίου κωδικοποιήθηκαν σύμφωνα με τις χρησιμοποιούμενες από τη ΔΕΗ συμβάσεις, καταγράφηκαν σε αρχείο και ελέγχθηκαν για ύπαρξη λαθών.

Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι, τα αναλυτικά στοιχεία των περισσότερων γεωτρήσεων που αφορούν τη τέφρα επί ξηρού είναι υποεκτιμημένα γιατί δεν περιλαμβάνουν το CO<sub>2</sub> που προέρχεται από τη διάσπαση του CaCO<sub>3</sub> κατά τη διεξαγωγή της μέτρησης σε θερμοκρασία  $750 \pm 25^{\circ}\text{C}$  (Μέθοδος DIN). Αποτέλεσμα της λανθασμένης αυτής εκτίμησης είναι να υπάρχει μια διαφορά από την πραγματική τέφρα επί ξηρού, που περιλαμβάνει και το CO<sub>2</sub> και αυτής των γεωτρήσεων του Ν.Πεδίου 2-2.5% μονάδων, εξαρτημένη κυρίως από τη φύση της τέφρας (αν είναι κυρίως αργιλοπυριτική υπάρχει σχετικά μικρό σφάλμα, ενώ αν είναι μαργαϊκή σημαντικό) (Γαλετάκης, 1996).

Ο αριθμός των συνολικών γεωτρήσεων του Ν. Πεδίου που χρησιμοποιήθηκαν ανέρχεται σε 480 από τις οποίες οι 473 είναι θετικές (Παράρτημα).



### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

#### *Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου με τη μέθοδο των αντίστροφων αποστάσεων (IDS)*

##### **3.1. Γενικά για τη δημιουργία μοντέλου ενός κοιτάσματος.**

Ο σκοπός της δημιουργίας του μοντέλου είναι, είναι η όσο δυνατόν πιο πιστή αριθμητική αναπαράσταση των παραμέτρων που ενδιαφέρουν για το υπό μελέτη κοίτασμα.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος υλοποίησης ενός ψηφιακού μοντέλου είναι ένας τρισδιάστατος κάρναβος με μοναδιαία διανύσματα  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ , όπου κάθε κόμβος του καννάβου αναπαριστά ένα στοιχειώδη όγκο  $\Delta V$  του κοιτάσματος, με κέντρο τον κόμβο και διαστάσεις  $\Delta X \Delta Y \Delta Z$ . Ο στοιχειώδης όγκος  $\Delta V$ , ονομάζεται κυψελίδα και οι διαστάσεις και το σχήμα του εξαρτώνται από τη μορφή του κοιτάσματος, τη μέθοδο εκμετάλλευσης, το είδος και την πυκνότητα των ερευνητικών εργασιών (Γαλετάκης, 1996).

Για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων με υπαίθρια μέθοδο, χρησιμοποιούνται συνήθως οι παρακάτω τύποι μοντέλων:

- Τρισδιάστατο μοντέλο με κυψελίδα τετραγωνικής διατομής ( $\Delta X = \Delta Y$ ) σταθερής σε όλη την έκταση του κοιτάσματος και  $\Delta Z$  ίσο με το ύψος της βαθμίδας εκμετάλλευσης.
- Τρισδιάστατο μοντέλο με κυψελίδα ορθογωνικής διατομής μεταβαλλόμενο από θέση σε θέση ( $\Delta X \neq \Delta Y$ ) και  $\Delta Z$  ίσο με το ύψος της βαθμίδας εκμετάλλευσης.

- Πολλαπλό δισδιάστατο μοντέλο με τετραγωνική κυψελίδα ( $\Delta X = \Delta Y$ ). Το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται σε στρωσιγενή κοιτάσματα που αποτελούνται από πολλαπλούς ορίζοντες. Για κάθε ορίζοντα δημιουργείται ένα δισδιάστατο μοντέλο και με υπέρθεση όλων των επιμέρους μοντέλων δημιουργείται το συνολικό.
- Δισδιάστατο μοντέλο με μεταβαλλόμενο σχήμα κυψελίδας. Τέτοια μοντέλα δημιουργούνται όταν είναι διαθέσιμα στοιχεία από κατακόρυφες τομές.
- Τρισδιάστατο μοντέλο με μεταβαλλόμενο σχήμα κυψελίδας. Χρησιμοποιείται για κοιτάσματα που αποτελούνται από μεμονωμένους φακούς ή θύλακες ακανόνιστης μορφής (Γαλετάκης, 1996).

Σε κάθε κυψελίδα υπολογίζονται και αποδίδονται οι τιμές των παραμέτρων του κοιτάσματος που μελετούνται. Ο υπολογισμός γίνεται με ειδικές μεθόδους παρεμβολής, χρησιμοποιώντας τα γνωστά στοιχεία από γεωτρήσεις και τις άλλες ερευνητικές εργασίες. Οι μέθοδοι αυτοί λαμβάνουν υπόψη τις τιμές της υπολογιζόμενης παραμέτρου των γειτονικών στην κυψελίδα στοιχείων των γεωτρήσεων, τις αποστάσεις τους και τις σχετικές τους θέσεις ως προς αυτή. Οι πιο γνωστές είναι οι μέθοδοι των αντιστρόφων αποστάσεων, των κινητών μέσων, οι στατιστικές και οι γεωστατιστικές (Γαλετάκης, 1996).

Αφού γίνει η κατασκευή του μοντέλου του κοιτάσματος, στη συνέχεια γίνονται οι διάφοροι υπολογισμοί και οι απαραίτητοι χάρτες. Με χρήση τόσο των στοιχείων του μοντέλου, όσο και των τοπογραφικών στοιχείων της επιφάνειας, της κλίσης των πρανών και των γεωμετρικών χαρακτηριστι-

κών των βαθμίδων γίνονται οι υπολογισμοί των συνολικών αποθέμάτων και των αποθεμάτων ανά τομή. Οι παράμετροι που υπολογίζονται στην περίπτωση λιγνιτικού κοιτάσματος μπορεί να είναι το πάχος του κοιτάσματος, των ενδιαμέσων, των υπερκείμενων, ο λόγος αποκάλυψης, η τέφρα, η υγρασία και η ΚΘΔ (Γαλετάκης, 1996).

Στην παρούσα εργασία, για την αξιολόγηση του κοιτάσματος του Νοτίου Πεδίου χρησιμοποιήθηκε το δισδιάστατο μοντέλο με τετραγωνική κυψελίδα ενώ σαν μέθοδος παρεμβολής χρησιμοποιήθηκε η των αντιστρόφων αποστάσεων στο τετράγωνο. Όλοι οι υπολογισμοί καθώς και οι χάρτες έγιναν με το πρόγραμμα Surfer 8.0, της Golden Software.

### **3.2. Η μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων.**

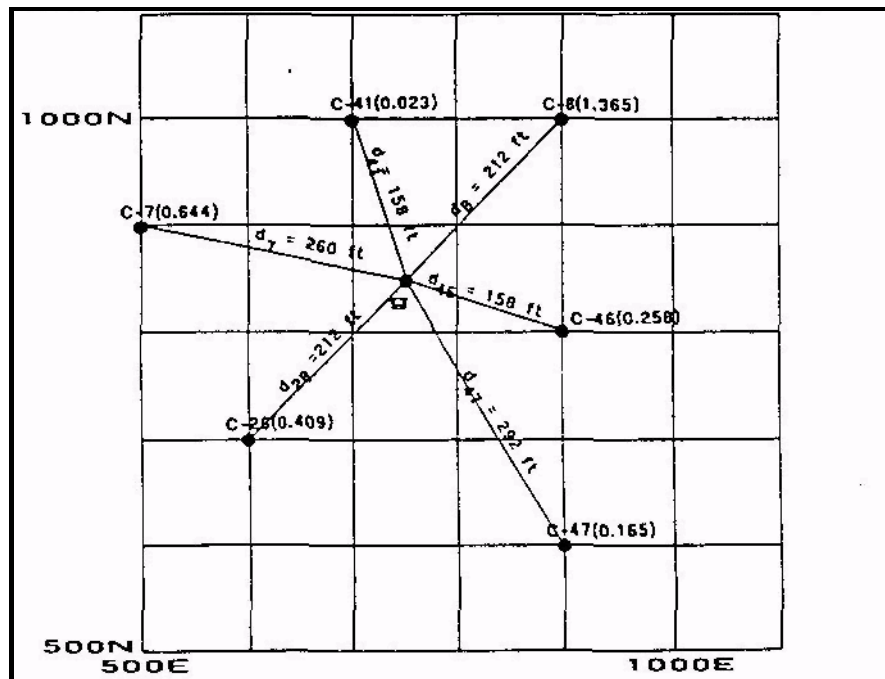
Η μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων είναι μια μέθοδος σταθμικού μέσου, όπου για τον υπολογισμό της τιμής ενός στοιχειώδους όγκου (block) του κοιτάσματος χρησιμοποιούνται τα  $k$  πλησιέστερα δείγματα που περιέχονται εντός μιας προκαθορισμένης περιοχής που ορίζεται από μια σφαίρα ακτίνας  $R$ . Ο συντελεστής στάθμισης για κάθε δείγμα που λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό είναι το αντίστροφο της απόστασης του δείγματος από το κέντρο του στοιχειώδους όγκου υψωμένου σε μια δύναμη  $m$ .

Ο υπολογισμός με τη μέθοδο αυτή, που είναι εμπειρική, βασίζεται στη αρχή ότι όσο πλησιέστερο στο μπλοκ είναι ένα δείγμα τόσο περισσότερο πρέπει να αυξάνεται ο συντελεστής επιρροής του στη διαμόρφωση του σταθμικού μέσου του μπλοκ. Η πιο συνηθισμένη παραλλαγή της μεθόδου των αντίστροφων αποστάσεων είναι η μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων στο τετράγωνο, γνωστή και ως IDS (Inverse Distance Squared Method).

Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας  $g_{\text{block}}$  του κέντρου ενός μπλοκ χρησιμοποιώντας τα  $k$  πλησιέστερα δείγματα, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$g_{\text{block}} = \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{d_i} \right)^2 g_i}{\sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{d_i} \right)^2}$$

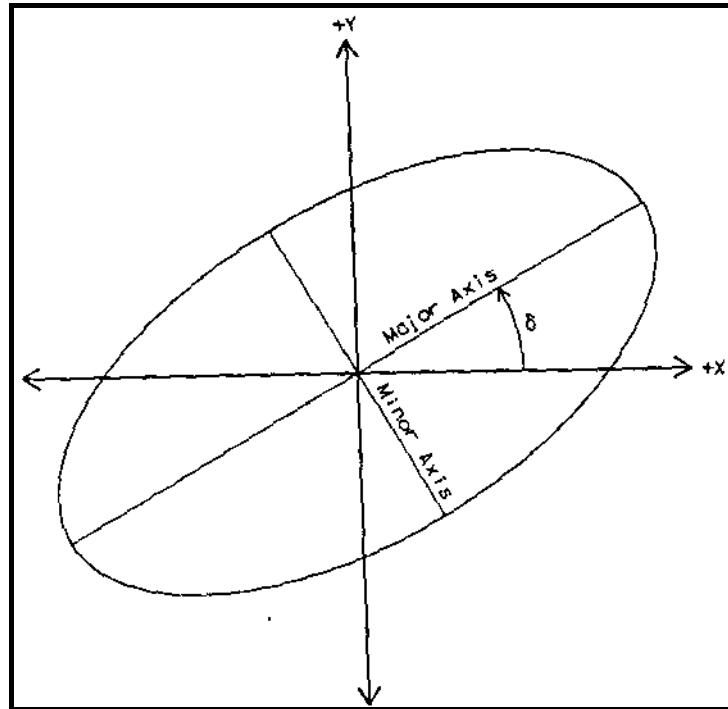
όπου  $d_i$  η απόσταση του δείγματος  $i$  από το κέντρο του μπλοκ και  $g_i$  η περιεκτικότητα του δείγματος  $i$ .



**Σχήμα 3.1.** Υπολογισμός της περιεκτικότητας  $g_{\text{block}}$  του κέντρου ενός μπλοκ χρησιμοποιώντας τα  $k$  πλησιέστερα δείγματα με τη μέθοδο IDS (Γαλετάκης, 2002).

Για τον εντοπισμό των  $k$  πλησιέστερων δειγμάτων που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από την ακτίνα  $R$  πολλές φορές, όταν η μεταβολή της παραμέτρου του κοιτάσματος που εξετάζεται παρουσιάζει ανισοτροπία, χρησιμοποιείται αντί για μια ακτίνα  $R$ , δύο ακτίνες  $R_{\text{max}}$  και  $R_{\text{min}}$ , που α-

ντιπροσωπεύουν μια επιφάνεια ελλειπτική και όχι σφαιρική όπως συμβαίνει στην περίπτωση αναζήτησης εντός σφαίρας ακτίνας  $R$ . Για τον καθορισμό της έλλειψης αναζήτησης απαιτείται να καθοριστεί επίσης και η γωνία του μεγάλου ημιάξονα  $R_{\max}$  σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα  $x$  (Σχήμα 3.2).



*Σχήμα 3.2. Παράμετροι έλλειψης για την αναζήτηση των πλησιέστερων δειγμάτων (Γαλετάκης, 2002)*

Το σχήμα της έλλειψης καθορίζεται δίνοντας την ακτίνα του μεγάλου ημιάξονα  $R_{\max}$  και το λόγο  $\lambda$  των ημιαξόνων που εκφράζει την ανισοτροπία της εξεταζόμενης παραμέτρου.

$$\lambda = \frac{R_{\min}}{R_{\max}}$$

Με βάση την καθοριζόμενη έλλειψη τροποποιούνται οι αποστάσεις  $d$  των δειγμάτων από το κέντρο του μπλοκ για να ληφθεί υπόψη και η ανισοτροπία.

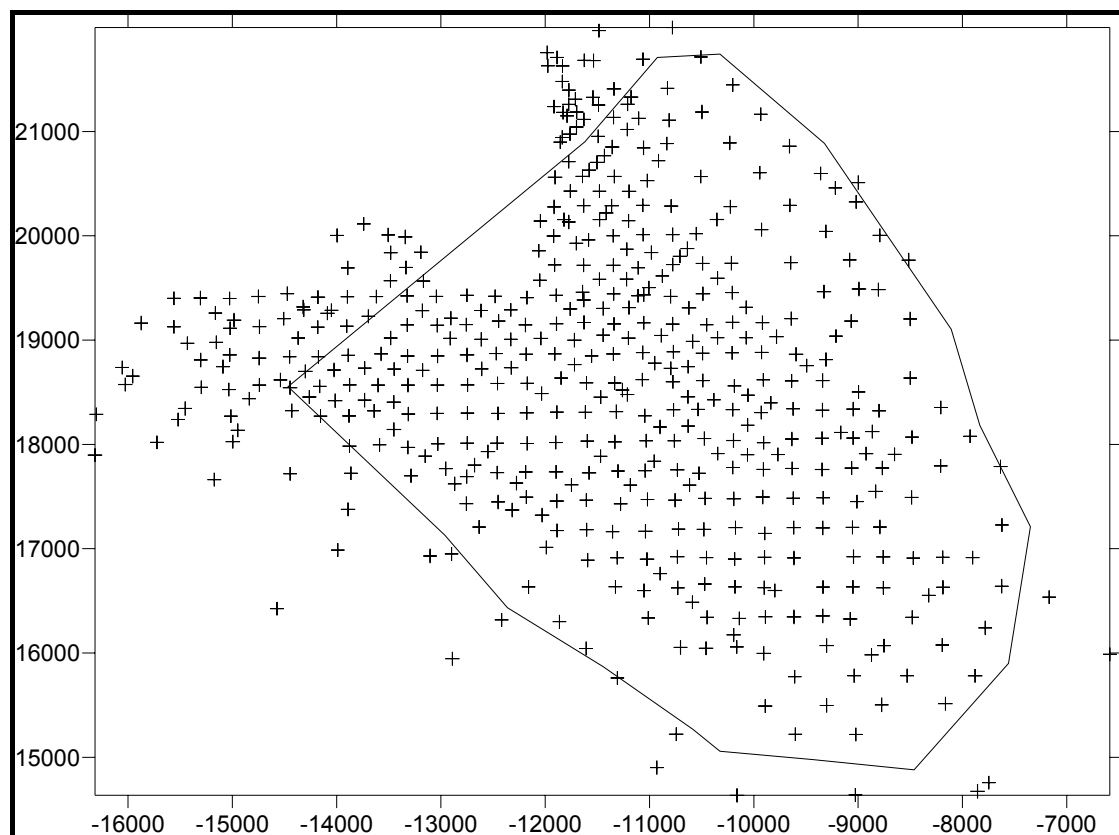
### 3.2.1 Κριτική της μεθόδου IDS

Η μέθοδος των αντιστρόφων αποστάσεων που χρησιμοποιείται για την απόδοση τιμών στις κυψελίδες του κανάβου διακρίνεται για την απλότητα της και όχι για την ακρίβειά της και την ευαισθησία της. Παρόλα αυτά προτιμήθηκε σε σχέση με μια γεωστατιστική μέθοδο για τους εξής λόγους:

- Είναι η μέθοδος που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ και τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας θα μπορούσαν να συσχετισθούν με ανάλογα αποτελέσματα που έχουν παραχθεί από τη ΔΕΗ.
- Το λογισμικό που χρησιμοποιείται (Surfer 8.0) δίνει τη δυνατότητα στη συγκεκριμένη μέθοδο να συμπεριλάβει στην ανάπτυξη του μοντέλου και τα ρήγματα, επιλογή που δεν υπάρχει με τις γεωστατιστικές μεθόδους.
- Τέλος στη μέθοδο των αντίστροφων αποστάσεων, μπορεί να συμπεριληφθεί για τη δημιουργία του μοντέλου του κοιτάσματος και η ανισοτροπία. Έτσι χρησιμοποιούνται δύο ακτίνες αναζήτησης που αντιπροσωπεύουν μια ελλειπτική επιφάνεια όπως έχει ήδη αναφερθεί.

### **3.3. Διαδικασία ανάπτυξης μοντέλου του κοιτάσματος του Νότιου Πεδίου με τη μέθοδο IDS.**

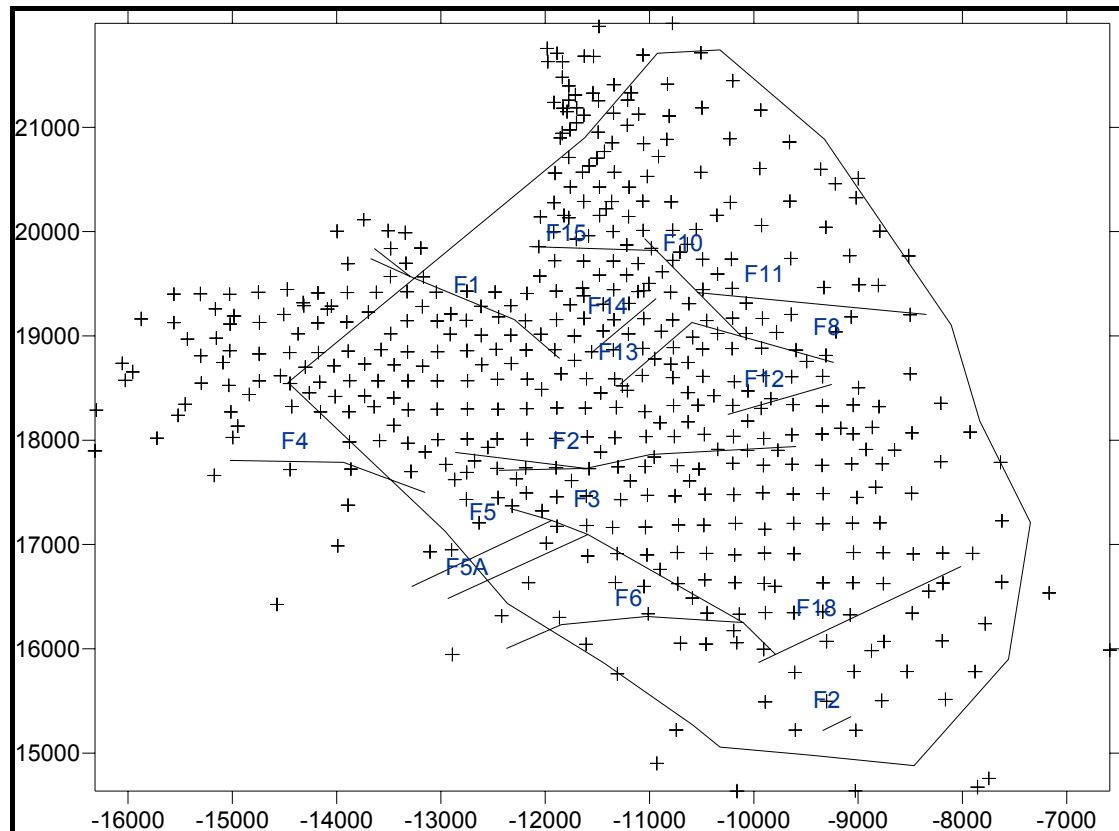
Από το αρχείο που περιλαμβάνει τα επεξεργασμένα στοιχεία των γεωτρήσεων (480 γεωτρήσεις που δίνονται στο Παράρτημα) δημιουργήθηκε αρχικά το σχεδιάγραμμα του Νοτίου Πεδίου που περιέχει τις θέσεις των γεωτρήσεων καθώς και τα εξωτερικά όρια του λιγνιτωρυχείου (Σχήμα 3.3).



*Σχήμα 3.3. Σχεδιάγραμμα Ν. Πεδίου με τις θέσεις των γεωτρήσεων και τα εξωτερικά όρια του λιγνιτωρυχείου.*

Η ανάγκη για την εκτίμηση της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας σε σχέση με την τεκτονική του κοιτάσματος οδήγησε στη δημιουργία ενός αρχείου που περιέχει τις θέσεις των ρηγμάτων. Το σχεδιαστικό πακέτο Surfer 8.0 παρέχει αυτή τη δυνατότητα και έτσι παρουσιάζεται παρακάτω

το προηγούμενο σχεδιάγραμμα του Ν. Πεδίου το οποίο περιλαμβάνει επιπλέον και τα ρήγματα ( F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> ... F<sub>18</sub>) (Σχήμα 3.4).



*Σχήμα 3.4. Σχεδιάγραμμα Ν. Πεδίου με τις θέσεις των γεωτρήσεων, τα εξωτερικά όρια του λιγνιτωρυχείου και τα ρήγματα.*

Αφού δημιουργήθηκαν οι παραπάνω χάρτες ακολούθησε η ανάπτυξη του μοντέλου του κοιτάσματος με τη μέθοδο των αντιστρόφων αποστάσεων με το σχεδιαστικό πακέτο Surfer 8.0.

Από την στατιστική ανάλυση του αρχείου των γεωτρήσεων προέκυψαν στοιχεία όπως (Πίνακας 3.1):

- Ελάχιστο: ελάχιστη απόσταση των γεωτρήσεων
- Μέγιστο: μέγιστη απόσταση των γεωτρήσεων



- Διάμεσος: παρουσιάζει το κέντρο των τιμών αν ταξινομηθούν σε αύξουσα σειρά. Οι μισές τιμές θα είναι μικρότερες του διαμέσου και οι μισές μεγαλύτερες.
- Ποσοστιαίες τιμές: με τον ίδιο τρόπο που ο διάμεσος χωρίζει τις τιμές στα δύο έτσι και τα τεταρτημόρια (quartiles) χωρίζουν τις τιμές στα τέσσερα. Εάν οι τιμές ταξινομηθούν σε αύξουσα σειρά τότε το 25% των τιμών θα βρίσκεται κάτω από το πρώτο τεταρτημόριο και το 25% πάνω από το τρίτο τεταρτημόριο.
- Εύρος: μέγιστη τιμή – ελάχιστη τιμή.
- Μέσο: (ελάχιστη + μέγιστη τιμή)/2
- Ενδοτεταρτημοριακό εύρος: (75% των τιμών - 25% των τιμών) εύρος μεταξύ ποσοστιαίων σημείων.
- Μέση τιμή
- Διασπορά: Υπολογίζει το μέσο όρο των τετραγώνων των διαφορών των τιμών από τη μέση τιμή.
- Τυπική απόκλιση: είναι η τετραγωνική ρίζα της διασποράς και υποδηλώνει το βαθμό απόκλισης των τιμών από τη μέση τιμή.
- Συντελεστής ασυμμετρίας: ο συντελεστής ασυμμετρίας ορίζεται από τη σχέση:

$$\text{Συντελεστής ασυμμετρίας} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^3}{\sigma^3}$$

Αν ο συντελεστής ασυμμετρίας λαμβάνει τιμές πλησίον του 0 και ο διάμεσος είναι περίπου ίσος με την μέση τιμή τότε το ιστόγραμμα θεωρείται σχεδόν συμμετρικό. Στην περίπτωση που εξετάζεται το ιστόγραμμα παρουσιάζει θετική ασυμμετρία αφού έχει θετικό συντελεστή ασυμμετρίας και διάμεσο μικρότερο της μέσης τιμής.

- Συντελεστής διακύμανσης: ο συντελεστής διακύμανσης ορίζεται ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή. Συντελεστής απόκλισης με τιμές μεγαλύτερες της μονάδας υποδηλώνει την παρουσία πολύ υψηλών τιμών, οι οποίες μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στη στατιστική ανάλυση. Στην περίπτωση που εξετάζεται ο συντελεστής απόκλισης είναι 0.47 πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν πολύ υψηλές τιμές.

*Πίνακας 3.1. Στατιστικά στοιχεία απόστασης γεωτρήσεων.*

Στατιστικά στοιχεία	Απόσταση γεωτρήσεων
Ελάχιστο:	27,66
25% των τιμών:	157,55
Διάμεσος:	193,83
75% των τιμών:	243,01
Μέγιστο:	809,77
Μέσο:	418,72
Εύρος:	782,11
Ενδοτεταρτημοριακό εύρος:	85,46
Μέση τιμή:	209,95
Τυπική απόκλιση:	99,60
Διασπορά:	9920,77
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,47
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	2,04

Με τη χρήση των στοιχείων του πίνακα 3.1 ορίστηκαν οι παράμετροι για τη λειτουργία της μεθόδου IDS. Στις περισσότερες περιπτώσεις επιλέγεται το μέγεθος του κανάβου να είναι περίπου 1/3 με 1/4 της μέσης απόστασης των γεωτρήσεων. Δηλαδή στη περίπτωση που μελετάται περίπου

70m, κρίθηκε όμως σκόπιμο για να μελετηθεί το κοίτασμα σε μεγαλύτερη κλίμακα να χρησιμοποιηθεί μοντέλο με κλίμακα 100m.

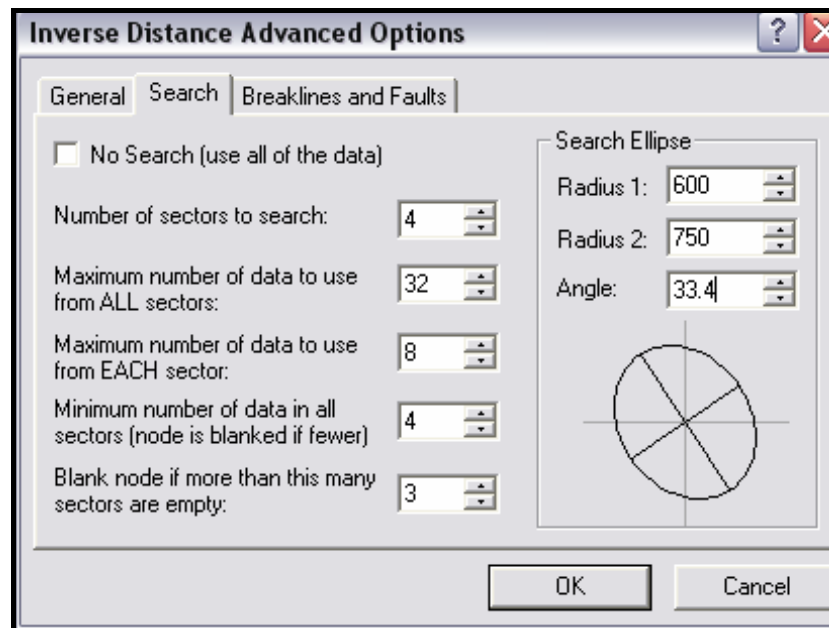
Επίσης για τη λειτουργία της μεθόδου έπρεπε να διευκρινιστεί αν το κοίτασμα παρουσιάζει ανισοτροπία ή όχι. Έχει βρεθεί ότι το κοίτασμα του Ν.Πεδίου παρουσιάζει ανισοτροπία με λόγο  $\lambda=0.76$  και γωνία  $\theta=33.4^\circ$  (Hristopulos, 2004). Επομένως για να λειτουργήσει σωστά η μέθοδος έπρεπε να δοθούν, αφού υπάρχει ανισοτροπία και η αναζήτηση γίνεται σε έλλειψη, και οι ακτίνες της έλλειψης.

Οι ακτίνες της έλλειψης ορίστηκαν ως  $R_{\min} = 600\text{m}$  και  $R_{\max} = 750\text{m}$ . Οι ακτίνες επιλέχθηκαν μετά από διαδοχικές δοκιμές έτσι ώστε να έχουν αυτό το μέγεθος για να εξασφαλισθεί ότι σε κάθε τομέα της έλλειψης της αναζήτησης θα υπάρχει έστω και ένα στοιχείο.

Τέλος, έπρεπε να οριστούν οι παράμετροι που αφορούν τους τομείς της έλλειψης αναζήτησης καθώς και ο αριθμός των δεδομένων που θα υπάρχουν σε κάθε τομέα της έλλειψης αναζήτησης έτσι ώστε να προκύψουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα (Σχήμα 3.5).

- ο αριθμός των τομέων της έλλειψης που στην περίπτωση μας είναι τέσσερις (4)
- ο μέγιστος αριθμός στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στην αναζήτηση για όλους τους τομείς της έλλειψης και είναι 32
- ο μέγιστος αριθμός στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στην αναζήτηση για έναν τομέα της έλλειψης και είναι οχτώ (8)

- ο ελάχιστος αριθμός στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στην αναζήτηση για όλους τους τομείς της έλλειψης και είναι τέσσερα (4)
- ο μέγιστος αριθμός τομέων που δεν περιέχουν στοιχεία και είναι τρία (3)

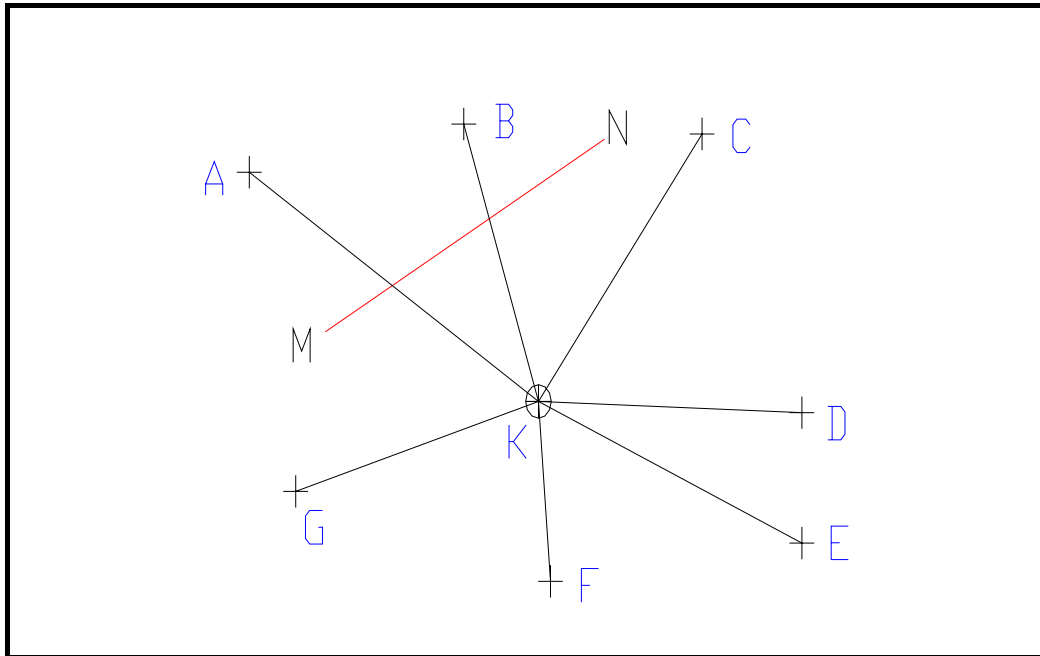


**Σχήμα 3.5. Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν με τη μέθοδο IDS.**

Χρησιμοποιώντας αυτές τις παραμέτρους αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα. Στο πρώτο δεν έχει ληφθεί υπόψη η επίδραση των ρηγμάτων ενώ στο δεύτερο έχει ληφθεί. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε για να μελετηθεί αν η ύπαρξη των ρηγμάτων ήταν εκείνη που καθόρισε την ποιοτική εξέλιξη του κοιτάσματος.

Η μέθοδος των αντιστρόφων αποστάσεων διαφοροποιείται όταν επεισέρχεται στον υπολογισμό του μπλοκ το αρχείο των ρηγμάτων. Σε αυτή την περίπτωση η λειτουργία της μεθόδου έχει ως εξής:

- όταν κατά τον υπολογισμό συναντηθεί το ρήγμα τότε η μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα (τιμές) που βρίσκονται από την άλλη πλευρά του ρήγματος (Σχήμα 3.6).



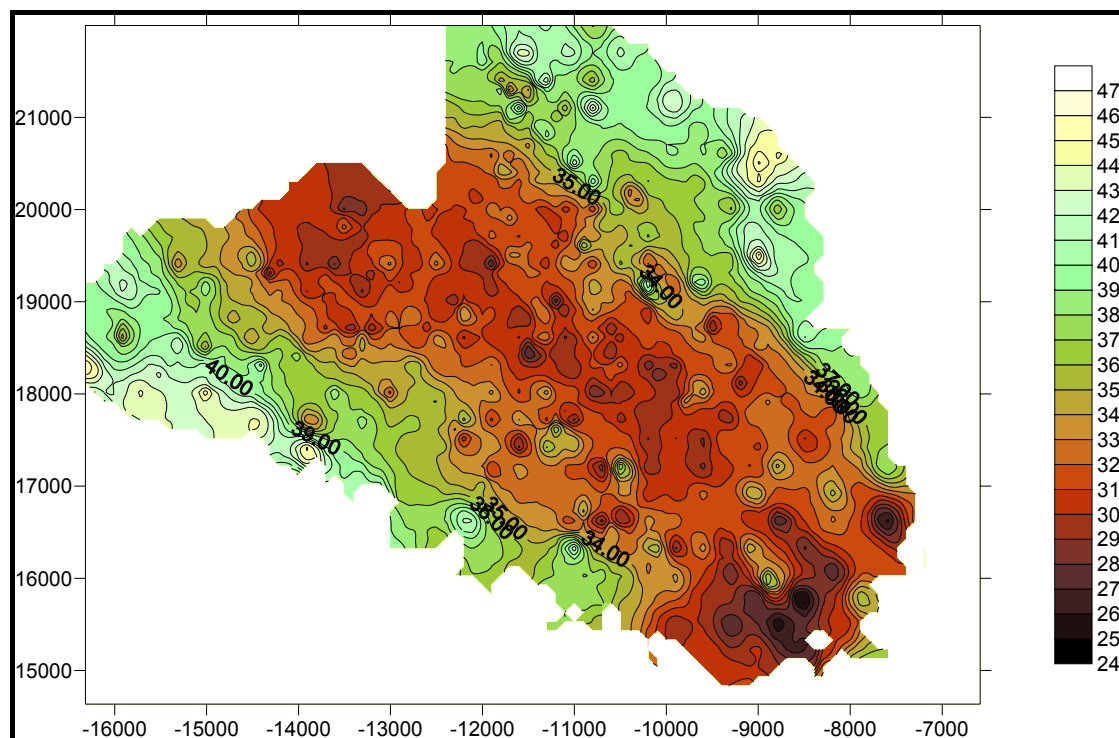
*Σχήμα 3.6. Η λειτουργία της IDS με τη χρήση ρηγμάτων.*

- *MN το ρήγμα*
- *K το κέντρο του μπλοκ που υπολογίζεται από τις τιμές των γεωτρήσεων(+) A,B,C,D,E,F,G*

Σύμφωνα με το σχήμα κατά τον υπολογισμό του κέντρου K του μπλοκ δεν λαμβάνονται υπόψη οι τιμές των γεωτρήσεων A,B γιατί βρίσκονται από την άλλη πλευρά του ρήγματος. Στην ουσία η μέθοδος θεωρεί πως αφού υπάρχει ρήγμα, τα σημεία A,B δεν θεωρούνται γειτονικά του K και κατ'επέκταση οι τιμές τους είναι ασυσχέτιστες με τις τιμές των σημείων που βρίσκονται από την άλλη πλευρά του ρήγματος δηλαδή από την πλευρά που βρίσκεται και το K.

Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>*Ανάπτυξη μοντέλων***4.1. Ανάπτυξη μοντέλου κοιτάσματος χωρίς την επίδραση των ρηγμάτων.**

Με βάση τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3 έγινε η ανάπτυξη του μοντέλου για την τέφρα επί ξηρού του εκμεταλλεύσιμου λιγνίτη του κοιτάσματος χωρίς την επίδραση των ρηγμάτων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο IDS (Σχήμα 4.1).



**Σχήμα 4.1. Χάρτης ισόθερμων καμπυλών (AWF%).**

Τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν την τέφρα επί ξηρού % (AWF) παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1).

**Πίνακας 4.1. Στατιστικά στοιχεία AWF% του κοιτάσματος του Ν.Πεδίου.**

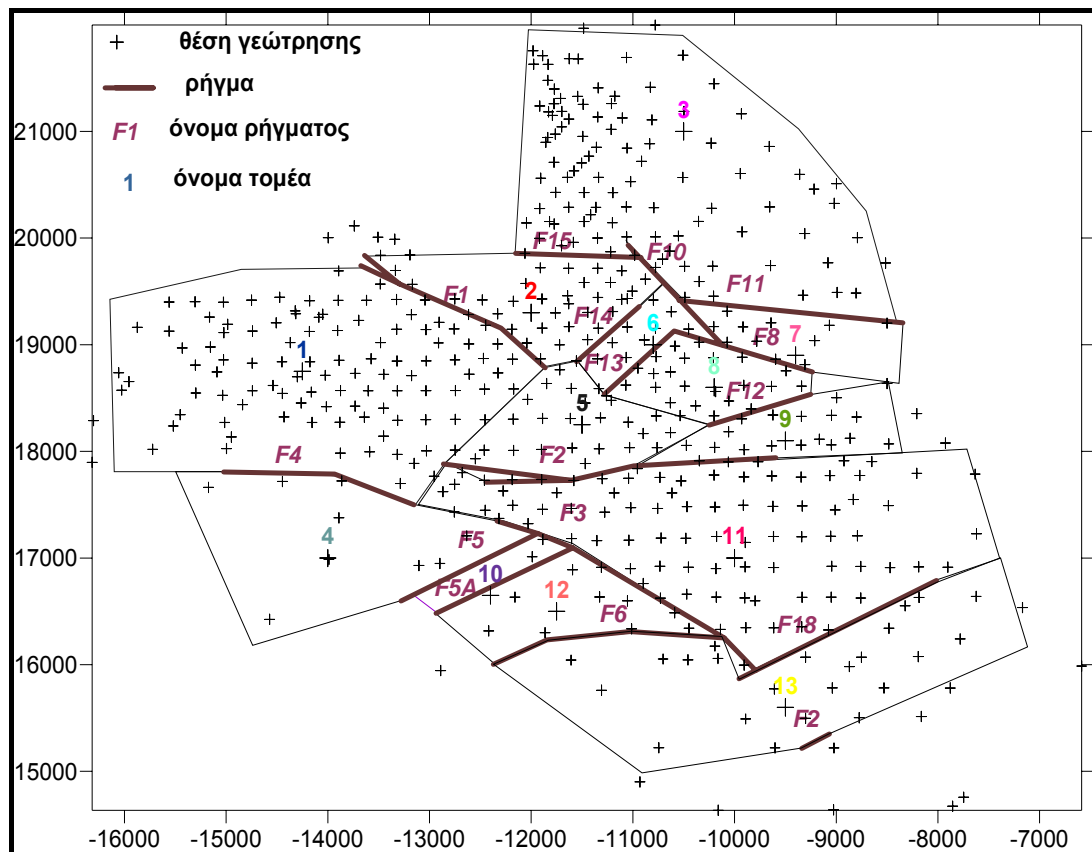
Ελάχιστο:	24,97
25% των τιμών:	31,29
Διάμεσος:	33,64
75% των τιμών:	37,54
Μέγιστο:	46,14
Μέσο:	35,56
Εύρος:	21,17
Ενδοτεταρτημοριακό εύρος:	6,25
Μέση τιμή:	34,51
Τυπική απόκλιση:	3,98
Διασπορά:	15,86
Συντελεστής Συσχέτισης:	0,749
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,12
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,47

Από το μοντέλο του κοιτάσματος προκύπτει το εξής συμπέρασμα:

- Η τέφρα επί ξηρού % (AWF) παρουσιάζει τάση ελάττωσης από τα περιθώρια του κοιτάσματος προς το κέντρο.

#### **4.2. Διαίρεση του μοντέλου του κοιτάσματος σε τομείς.**

Η περιοχή στην οποία εκτείνεται το κοίτασμα καλύπτει έκταση 24 km<sup>2</sup>. Για να μελετηθεί η εξέλιξη της AWF διαχρονικά το κοίτασμα χωρίστηκε σε τομείς και έγινε υπολογισμός της AWF και των στατιστικών παραμέτρων της σε κάθε τομέα. Οι τομείς στους οποίους χωρίστηκε το κοίτασμα καθορίστηκαν από τη θέση των ρηγμάτων. Το κοίτασμα χωρίστηκε έτσι στους 13 τομείς που φαίνονται στο Σχήμα 4.2.

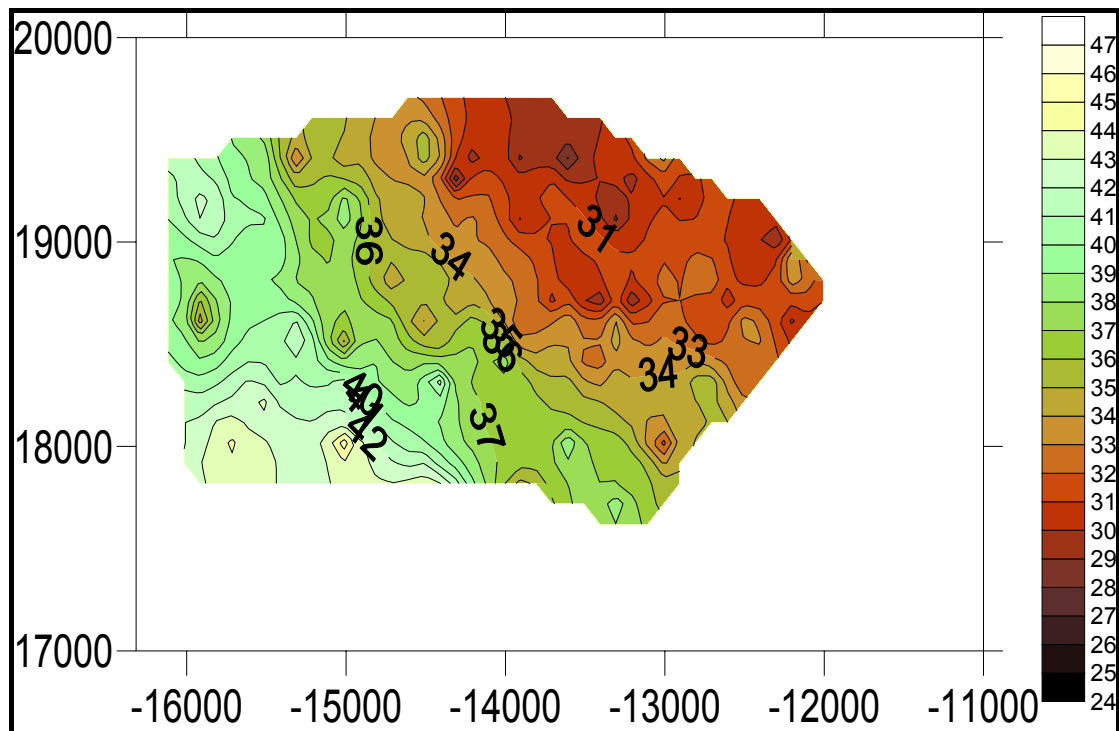


*Σχήμα 4.2. Σχεδιάγραμμα κοιτάσματος όπου φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων, οι θέσεις των ρηγμάτων και τα ονόματά τους καθώς και οι τομείς στους οποίους χωρίστηκε το κοίτασμα.*

### *Τομέας 1*

Ο τομέας 1 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_1$  και  $F_4$  όπως φαίνεται και στο σχήμα (4.2). Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο IDS προέκυψε το μοντέλο του τομέα που παριστά τις ισόθεφρες καμπύλες της AWF% (Σχήμα 4.3) καθώς και ο πίνακας με τις στατιστικές παραμέτρους που αφορούν την AWF (Πίνακας 4.2).





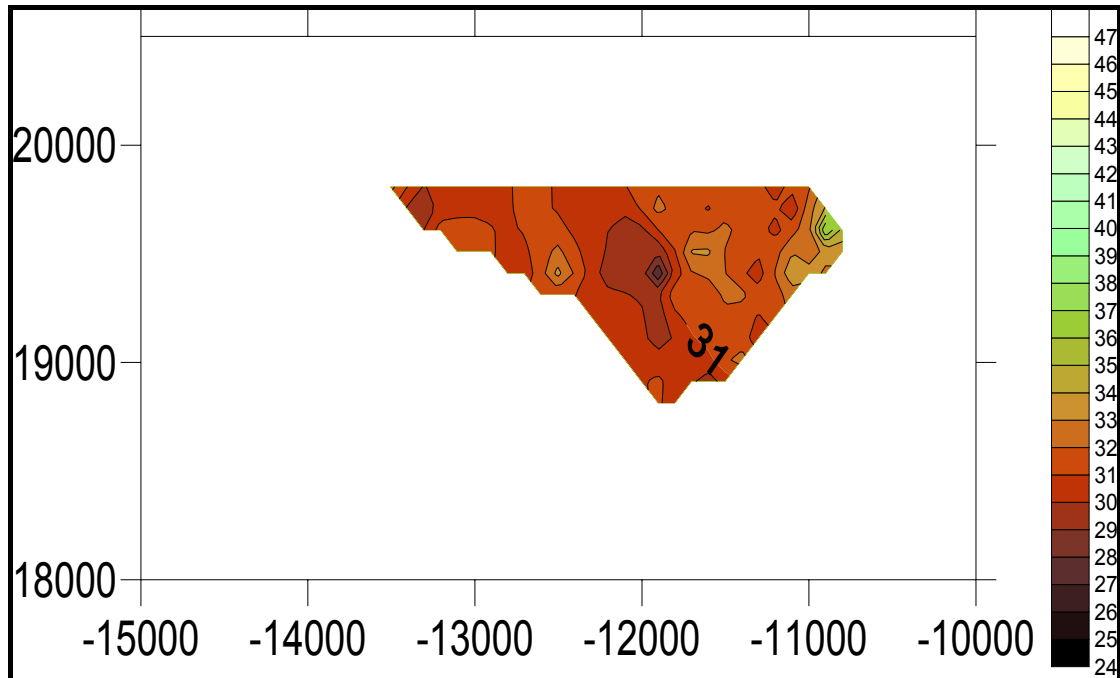
Σχήμα 4.3. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 1

Πίνακας 4.2. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 1.

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	701
Ελάχιστο:	27,95
Μέγιστο:	45,51
Εύρος:	17,56
Μέση τιμή:	35,71
Διάμεσος:	35,36
25% των τιμών:	32,13
75% των τιμών:	38,99
Διασπορά:	16,21
Τυπική απόκλιση:	4,03
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,11
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,26

**Τομέας 2**

Ο τομέας 2 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_1$ ,  $F_{14}$ ,  $F_{10}$  και  $F_{15}$ .



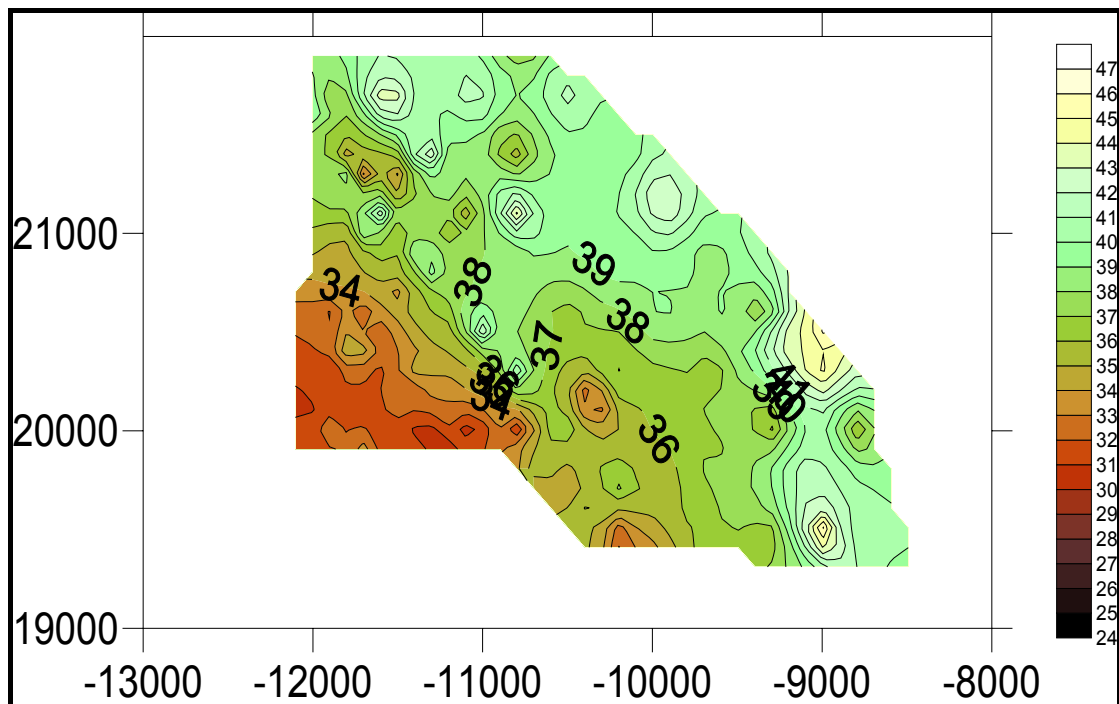
**Σχήμα 4.4. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 2**

**Πίνακας 4.3. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 2.**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	176
Ελάχιστο:	27,18
Μέγιστο:	36,95
Εύρος:	9,77
Μέση τιμή:	31,16
Διάμεσος:	31,10
25% των τιμών:	30,45
75% των τιμών:	31,66
Διασπορά:	1,22
Τυπική απόκλιση:	1,11
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,04
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,97

**Τομέας 3**

Ο τομέας 3 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_{15}$ ,  $F_{10}$  και  $F_{11}$ .



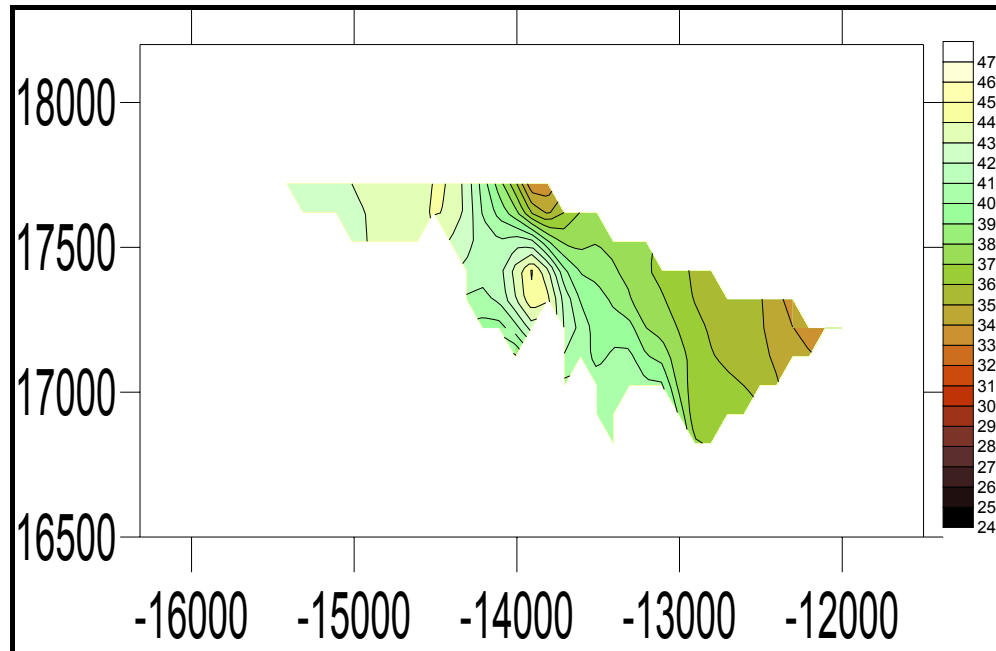
**Σχήμα 4.5. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 3**

**Πίνακας 4.4. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 3.**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	686
Ελάχιστο:	30,30
Μέγιστο:	46,14
Εύρος:	15,84
Μέση τιμή:	37,58
Διάμεσος:	37,88
25% των τιμών:	35,68
75% των τιμών:	39,64
Διασπορά:	3,00
Τυπική απόκλιση:	0,08
Συντελεστής Διακύμανσης:	-0,26
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,97

**Τομέας 4**

Ο τομέας 4 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_4$ ,  $F_3$  και  $F_5$ .



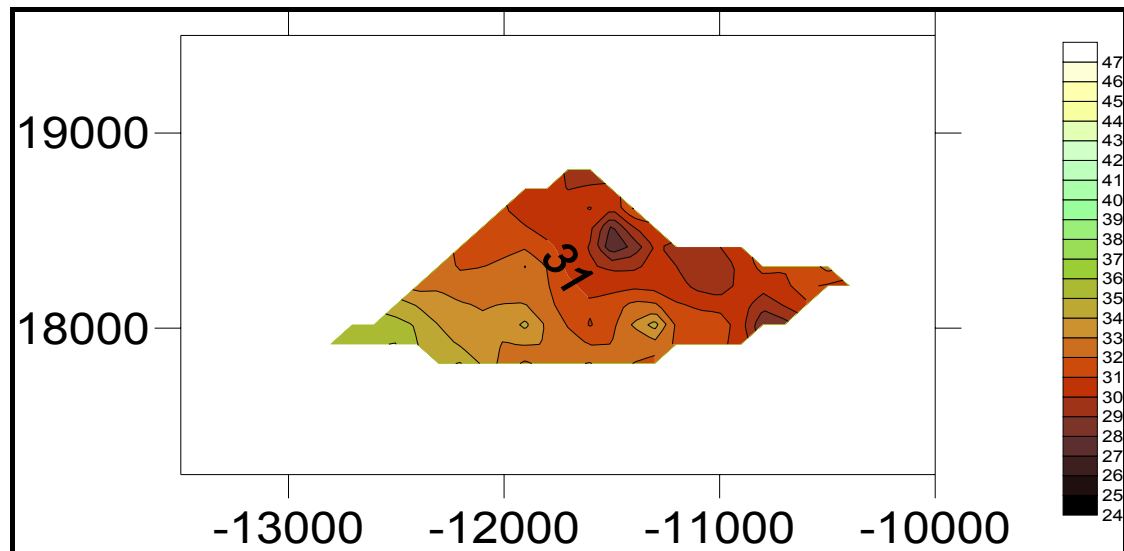
**Σχήμα 4.6. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 4**

**Πίνακας 4.5. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 4.**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	153
Ελάχιστο:	32,96
Μέγιστο:	45,09
Εύρος:	12,12
Μέση τιμή:	39,08
Διάμεσος:	39,12
25% των τιμών:	36,37
75% των τιμών:	41,78
Διασπορά:	9,93
Τυπική απόκλιση:	3,15
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,08
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	-0,01

**Τομέας 5**

Ο τομέας 5 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_{13}$  και  $F_{14}$ . Ακολουθούν το μοντέλο του τομέα (Σχήμα 4.7) και ο πίνακας με τις στατιστικές παραμέτρους (Πίνακας 4.6).



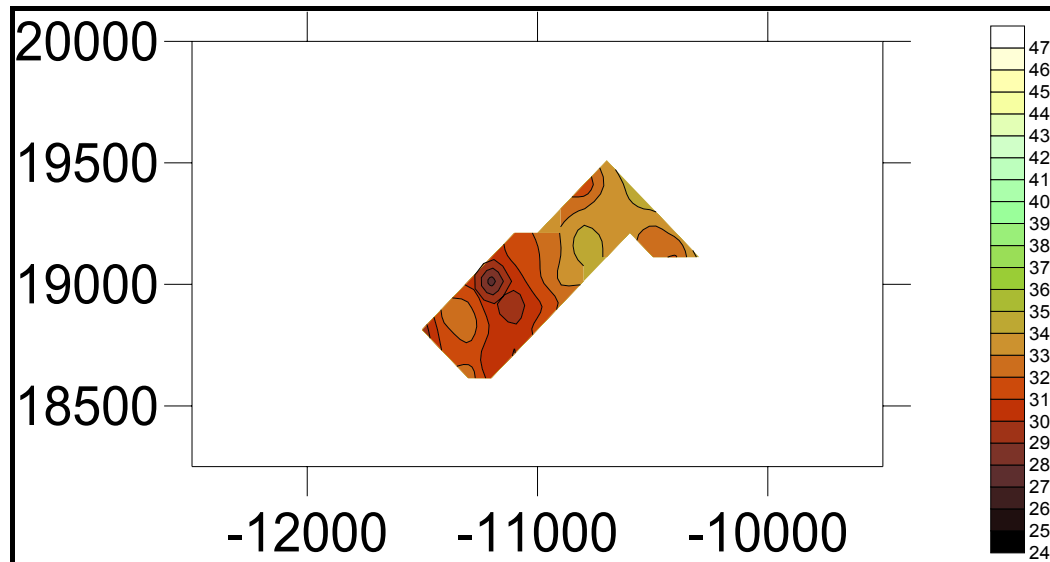
**Σχήμα 4.7. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 5**

**Πίνακας 4.6. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 5.**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	149
Ελάχιστο:	27,23
Μέγιστο:	36,05
Εύρος:	8,82
Μέση τιμή:	31,67
Διάμεσος:	31,54
25% των τιμών:	30,43
75% των τιμών:	32,69
Διασπορά:	2,94
Τυπική απόκλιση:	1,71
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,05
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,36

**Τομέας 6**

Ο τομέας 6 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_8$ ,  $F_{10}$ ,  $F_{14}$  και  $F_{13}$ .



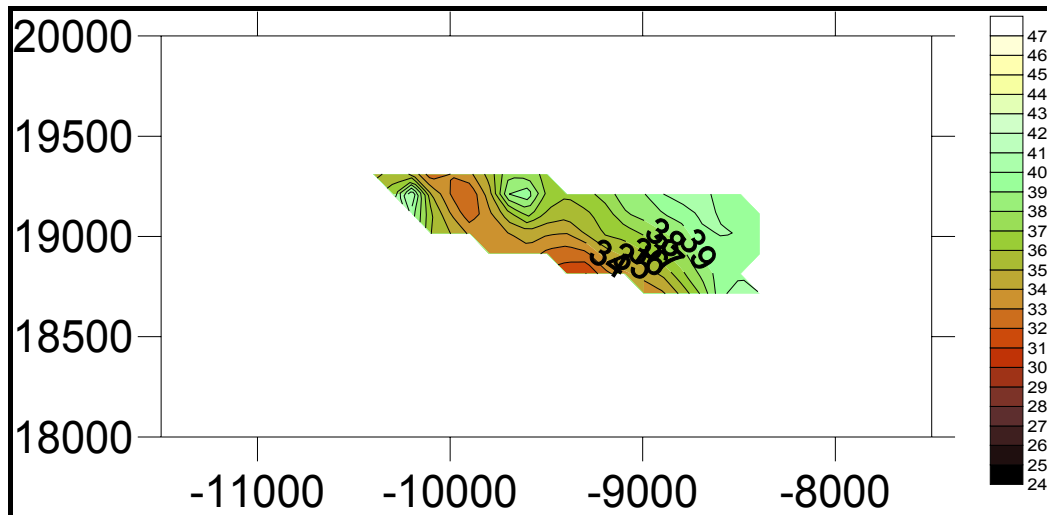
**Σχήμα 4.8. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 6**

**Πίνακας 4.7. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 6**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	50
Ελάχιστο:	27,48
Μέγιστο:	34,49
Εύρος:	7,01
Μέση τιμή:	32,06
Διάμεσος:	32,14
25% των τιμών:	30,84
75% των τιμών:	33,27
Διασπορά:	2,41
Τυπική απόκλιση:	1,55
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,05
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	-0,52

**Τομέας 7**

Ο τομέας 7 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_8$ ,  $F_{10}$  και  $F_{11}$ .



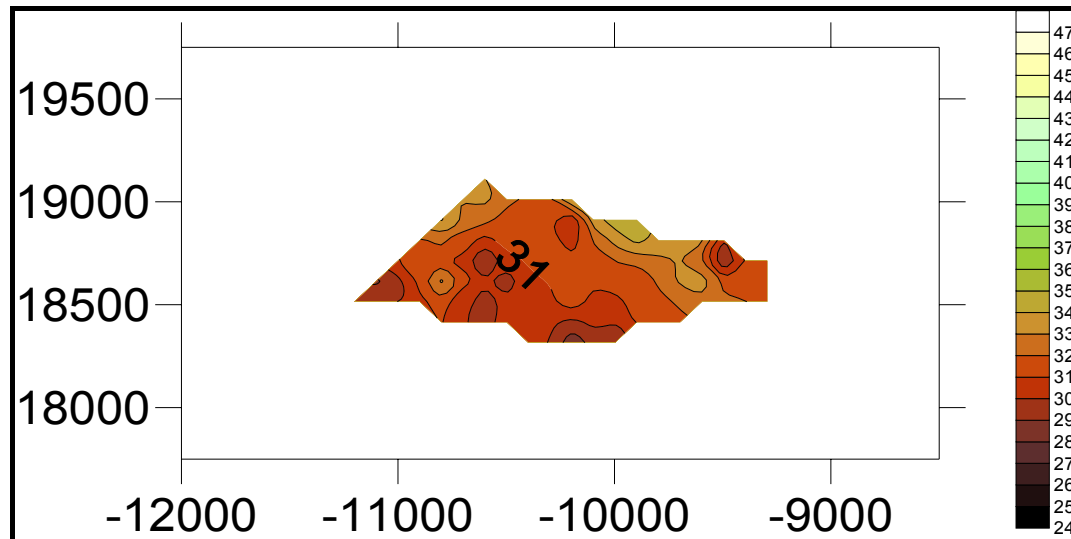
**Σχήμα 4.9. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 7**

**Πίνακας 4.8. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 7**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	98
Ελάχιστο:	31,00
Μέγιστο:	40,91
Εύρος:	9,91
Μέση τιμή:	36,51
Διάμεσος:	36,40
25% των τιμών:	34,08
75% των τιμών:	39,31
Διασπορά:	7,05
Τυπική απόκλιση:	2,66
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,07
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	-0,07

**Τομέας 8**

Ο τομέας 8 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_8$ ,  $F_{12}$  και  $F_{13}$ .



**Σχήμα 4.10. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 8**

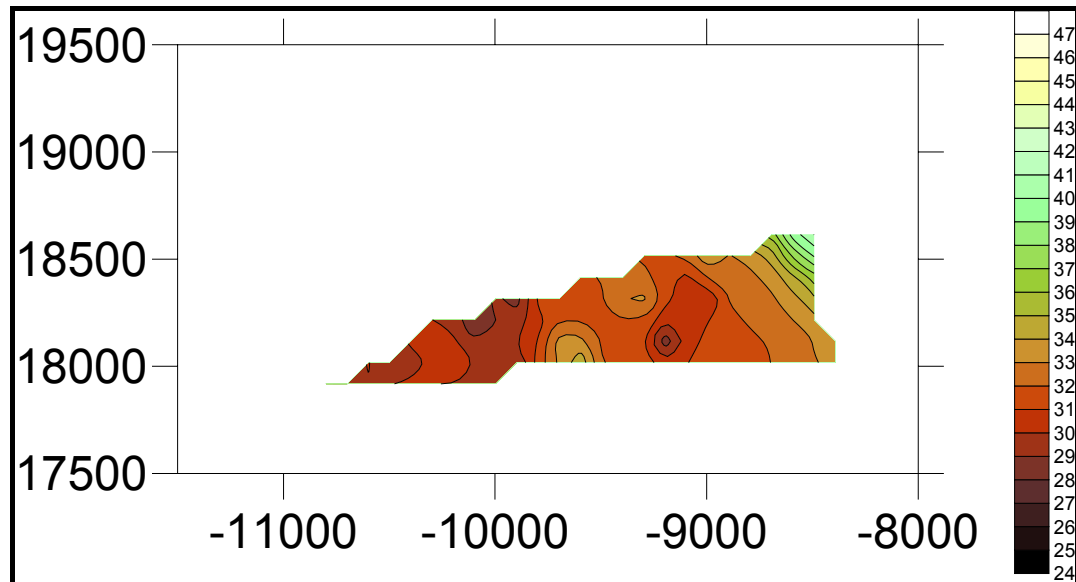
**Πίνακας 4.9. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 8**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	106
Ελάχιστο:	28,39
Μέγιστο:	34,86
Εύρος:	6,47
Μέση τιμή:	31,43
Διάμεσος:	31,39
25% των τιμών:	30,59
75% των τιμών:	32,18
Διασπορά:	1,69
Τυπική απόκλιση:	1,30
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,04
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,24



**Τομέας 9**

Ο τομέας 9 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_2$  και  $F_{12}$ .



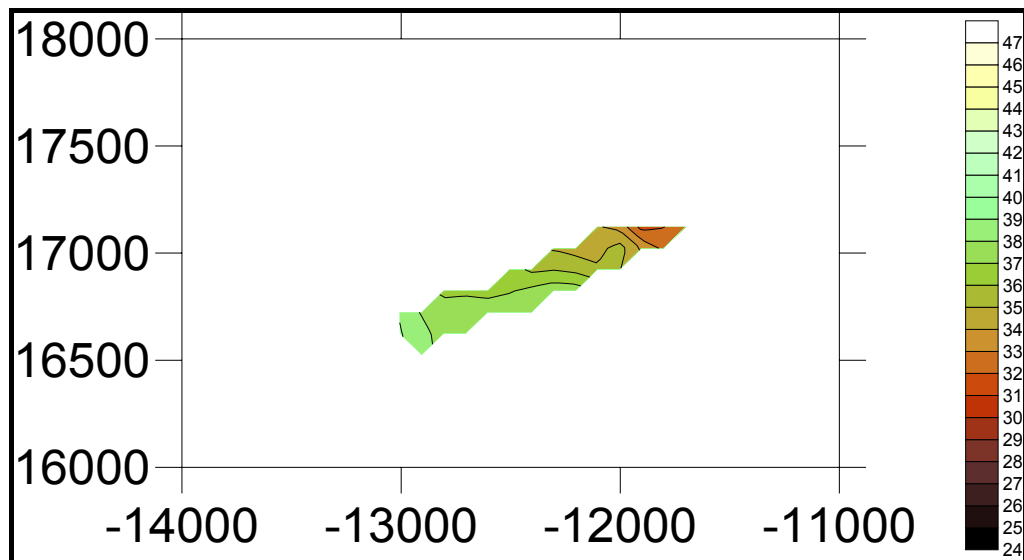
*Σχήμα 4.11. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 9*

*Πίνακας 4.10. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 9*

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	112
Ελάχιστο:	28,37
Μέγιστο:	41,02
Εύρος:	12,65
Μέση τιμή:	31,79
Διάμεσος:	31,64
25% των τιμών:	30,13
75% των τιμών:	32,77
Διασπορά:	4,66
Τυπική απόκλιση:	2,16
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,07
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	1,60

**Τομέας 10**

Ο τομέας 10 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_3$ ,  $F_5$  και  $F_{5A}$ .



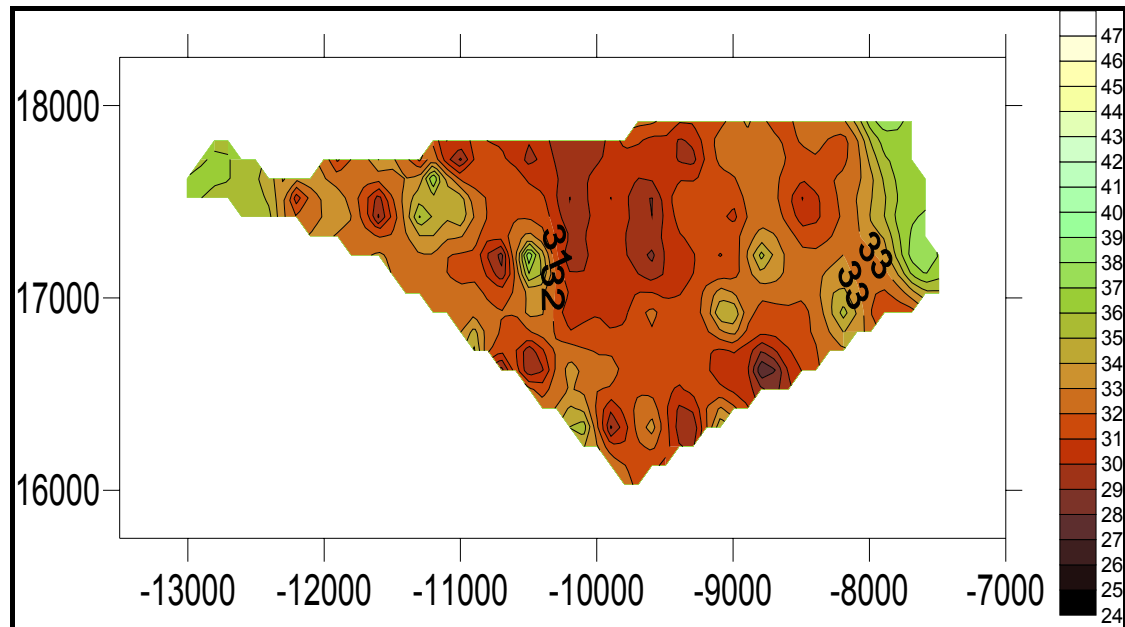
**Σχήμα 4.12. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 10**

**Πίνακας 4.11. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 10**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	36
Ελάχιστο:	31,64
Μέγιστο:	39,06
Εύρος:	7,42
Μέση τιμή:	36,11
Διάμεσος:	36,79
25% των τιμών:	34,78
75% των τιμών:	37,50
Διασπορά:	3,93
Τυπική απόκλιση:	1,98
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,05
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	-0,65

**Τομέας 11**

Ο τομέας 11 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_2$ ,  $F_3$  και  $F_{18}$ .



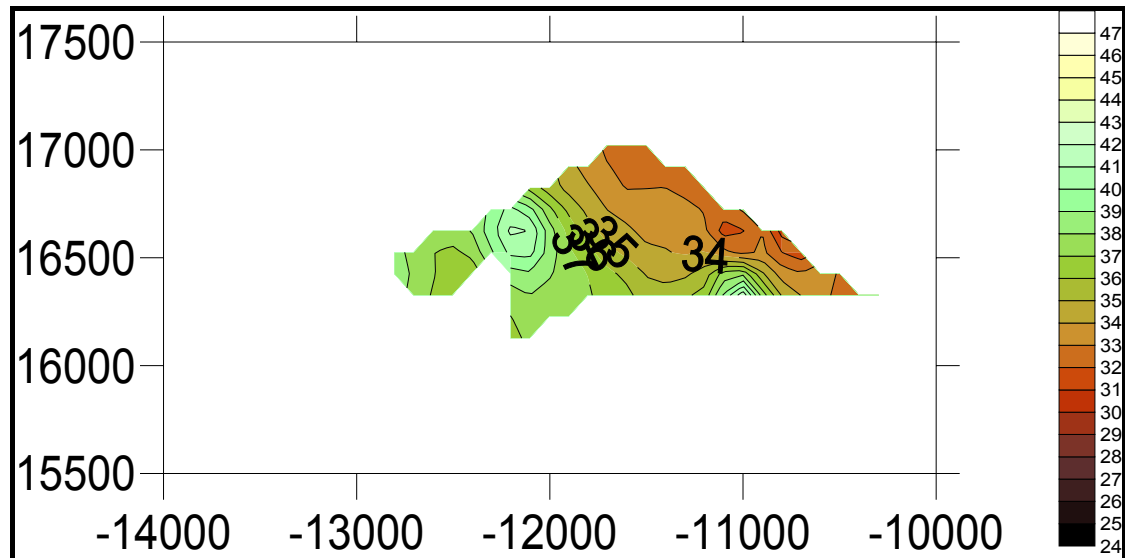
**Σχήμα 4.13. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 11**

**Πίνακας 4.12. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 11**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	623
Ελάχιστο:	27,15
Μέγιστο:	37,82
Εύρος:	10,67
Μέση τιμή:	32,18
Διάμεσος:	31,91
25% των τιμών:	31,07
75% των τιμών:	32,94
Διασπορά:	3,37
Τυπική απόκλιση:	1,84
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,06
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,75

**Τομέας 12**

Ο τομέας 12 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_{5A}$ ,  $F_3$  και  $F_6$ .



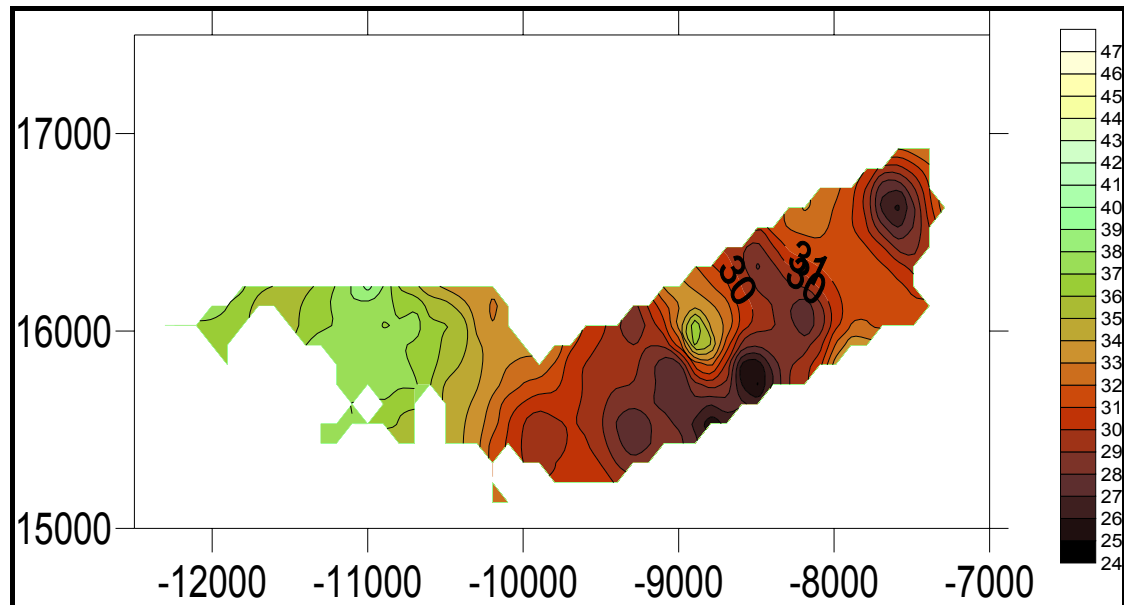
**Σχήμα 4.14. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 12**

**Πίνακας 4.13. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 12**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	129
Ελάχιστο:	30,59
Μέγιστο:	41,70
Εύρος:	11,11
Μέση τιμή:	35,55
Διάμεσος:	35,37
25% των τιμών:	33,36
75% των τιμών:	37,36
Διασπορά:	5,83
Τυπική απόκλιση:	2,41
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,07
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,31

**Τομέας 13**

Ο τομέας 13 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_2$ ,  $F_6$  και  $F_{18}$



**Σχήμα 4.15. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 13**

**Πίνακας 4.14. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 13**

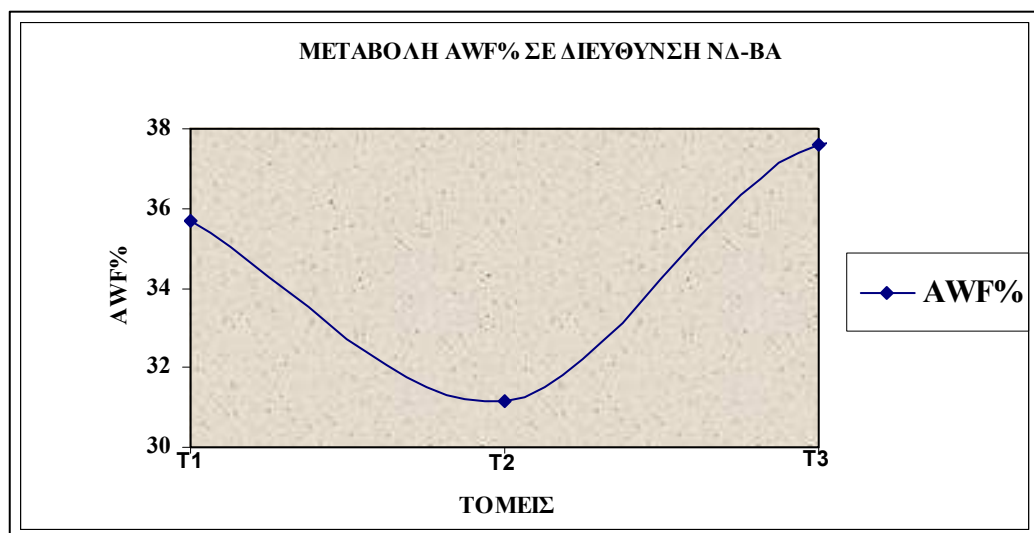
Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	380
Ελάχιστο:	24,97
Μέγιστο:	39,35
Εύρος:	14,38
Μέση τιμή:	32,02
Διάμεσος:	31,50
25% των τιμών:	29,50
75% των τιμών:	34,83
Διασπορά:	10,72
Τυπική απόκλιση:	3,27
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,10
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,27

#### 4.2.1 Σχόλια για τη χωρική κατανομή της AWF

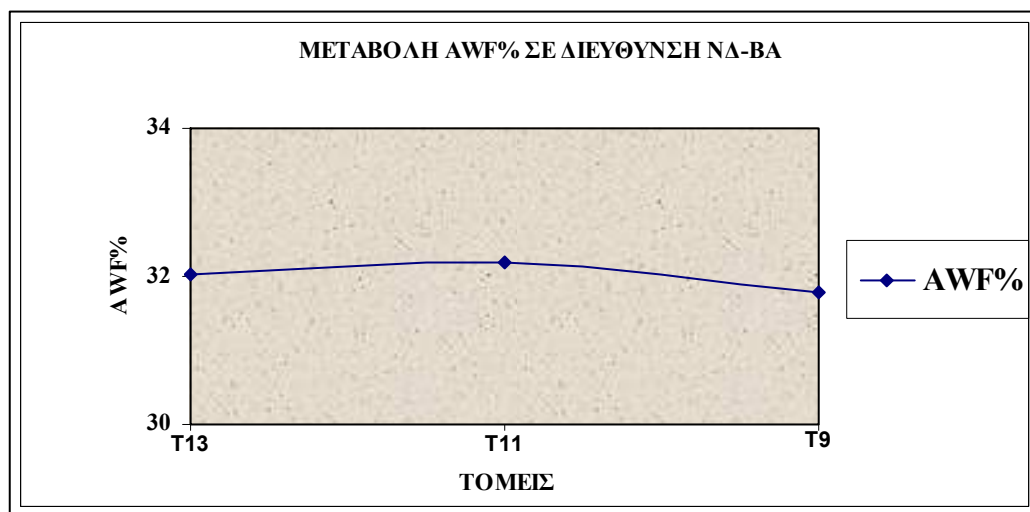
Από τους χάρτες των ισότεφων καμπυλών του συνολικού κοιτάσματος αλλά και των τομέων αυτού προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Σε κάθε τομέα διαμορφώνεται ένα επίπεδο τιμών της AWF το οποίο διαφοροποιείται από τομέα σε τομέα.
- Η τέφρα επί ξηρού παρουσιάζει τάση αύξησης από το κέντρο του κοιτάσματος προς τα περιθώρια αυτού.

Συγκεκριμένα η τέφρα στην κατεύθυνση ΝΔ-ΒΑ μεταβάλλεται κατά τον τρόπο που δείχνει το σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.16) και αναφέρεται στη μέση τιμή της AWF στους τομείς 1,2,3. Όμως το ίδιο συμβαίνει και στους υπόλοιπους τομείς που συναντώνται σε αυτή την κατεύθυνση. Τα αντίστοιχα σχήματα δίδονται στο Παράρτημα. Εξάιρεση αποτελούν οι τομείς 13,11,9 που συναντώνται κατά μήκος της συγκεκριμένης διεύθυνσης και δεν ακολουθούν τη μεταβολή που φαίνεται στο σχήμα 4.16 (Σχήμα 4.17).



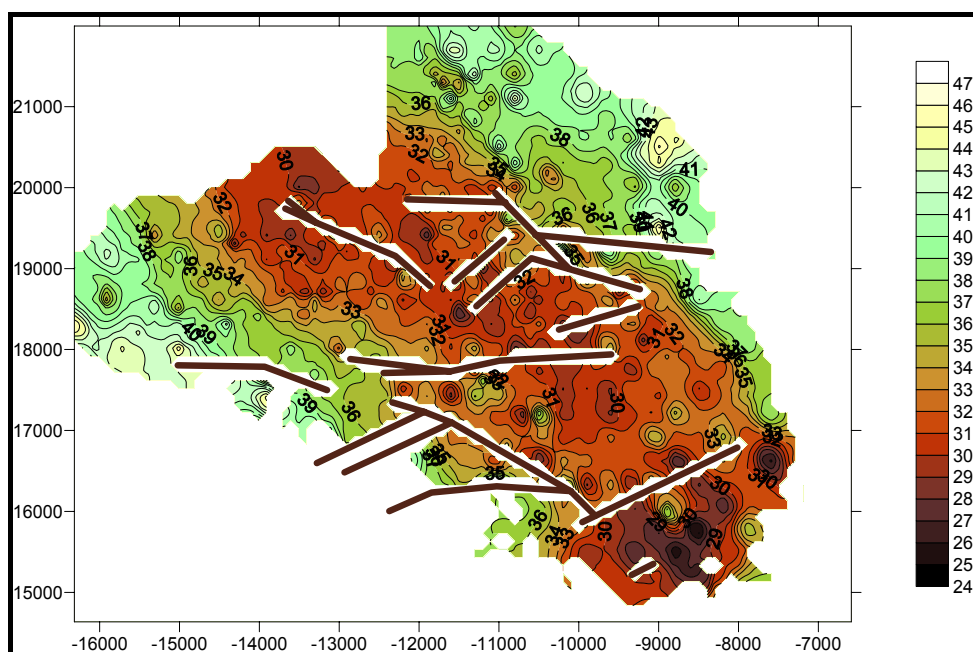
Σχήμα 4.16. Μεταβολή AWF% σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.



Σχήμα 4.17. Μεταβολή AWF% σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.

#### 4.3. Ανάπτυξη μοντέλου κοιτάσματος με την επίδραση των ρηγμάτων.

Με βάση τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3 έγινε η ανάπτυξη του μοντέλου του κοιτάσματος, στο οποίο έχει ληφθεί υπόψη η επίδραση των ρηγμάτων, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο IDS (Σχήμα 4.16.).



Σχήμα 4.18. Χάρτης ισόθερων καμπυλών.

Τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν την τέφρα επί ξηρού % (AWF) για το παραπάνω μοντέλο παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.15.).

**Πίνακας 4.15. Στατιστικά στοιχεία AWF% του κοιτάσματος του Ν.Πεδίου.**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Ελάχιστο:	24,97
25% των τιμών:	31,18
Διάμεσος:	33,38
75% των τιμών:	37,39
Μέγιστο:	46,14
Μέσο:	35,56
Εύρος:	21,17
Ενδοτεταρτημοριακό εύρος:	6,21
Μέση τιμή:	34,39
Τυπική απόκλιση:	4,01
Διασπορά:	16,08
Συντελεστής Συσχέτισης:	0,737
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,12
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,50

Για την καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων το μοντέλο του κοιτάσματος στο οποίο περιέχονται τα ρήγματα θα χωρισθεί σε τομείς ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να συγκριθούν με αυτά της παραπάνω παραγράφου που αναφέρονται στο μοντέλο του κοιτάσματος στο οποίο δεν έχουν ληφθεί υπόψη τα ρήγματα.



#### **4.4. Διαιρέση του μοντέλου του κοιτάσματος στο οποίο περιέχονται τα ρήγματα σε τομείς.**

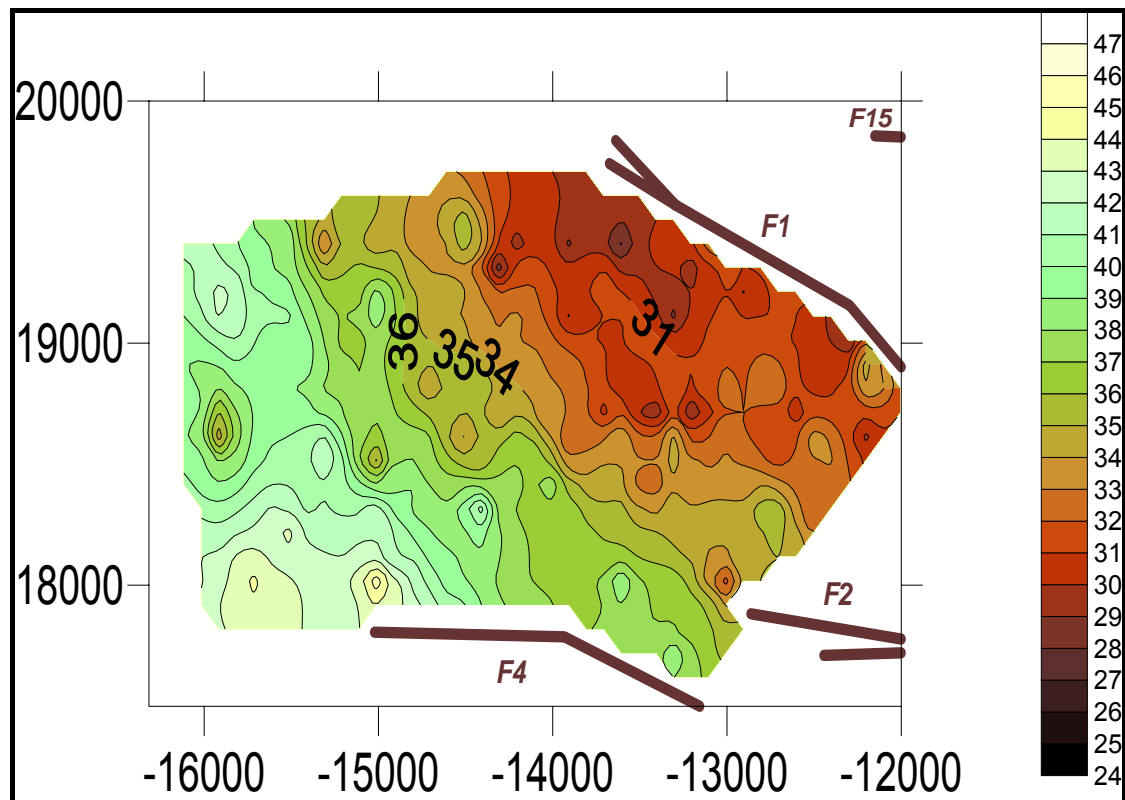
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι χάρτες των δεκατριών (13)\_τομέων που παριστάνουν ισότιμες καμπύλες τέφρας επί ξηρού (AWF) καθώς και οι πίνακες που περιέχουν τα στατιστικά στοιχεία της (AWF) για κάθε τομέα.

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι στον τομέα δέκα (10) η AWF δεν απεικονίζεται στο χάρτη. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει μόνο μια γεώτρηση στον τομέα δέκα κι ως εκ τούτου η μέθοδος IDS δεν μπορούσε να εφαρμοστεί.

Οι τομείς στους οποίους χωρίστηκε το κοιτάσμα είναι εκείνοι που απεικονίζονται στο σχήμα 4.1. Όπως στην περίπτωση που το μοντέλο του κοιτάσματος αναπτύχθηκε χωρίς την επίδραση των ρηγμάτων, έτσι και σε αυτή την περίπτωση όπου στο μοντέλο παρεμβάλλονται τα ρήγματα, χρησιμοποιούνται οι ίδιοι τομείς καθώς και οι ίδιοι παράμετροι αναζήτησης για να υπάρχει η δυνατότητα συσχέτισης των αποτελεσμάτων.

##### ***Τομέας 1***

Ο τομέας 1 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_1$  και  $F_4$ . Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο IDS προέκυψε το μοντέλο του τομέα που παριστά τις ισότεφρες καμπύλες (Σχήμα 4.17) καθώς και ο πίνακας με τις στατιστικές παραμέτρους που αφορούν την AWF% (Πίνακας 4.16).



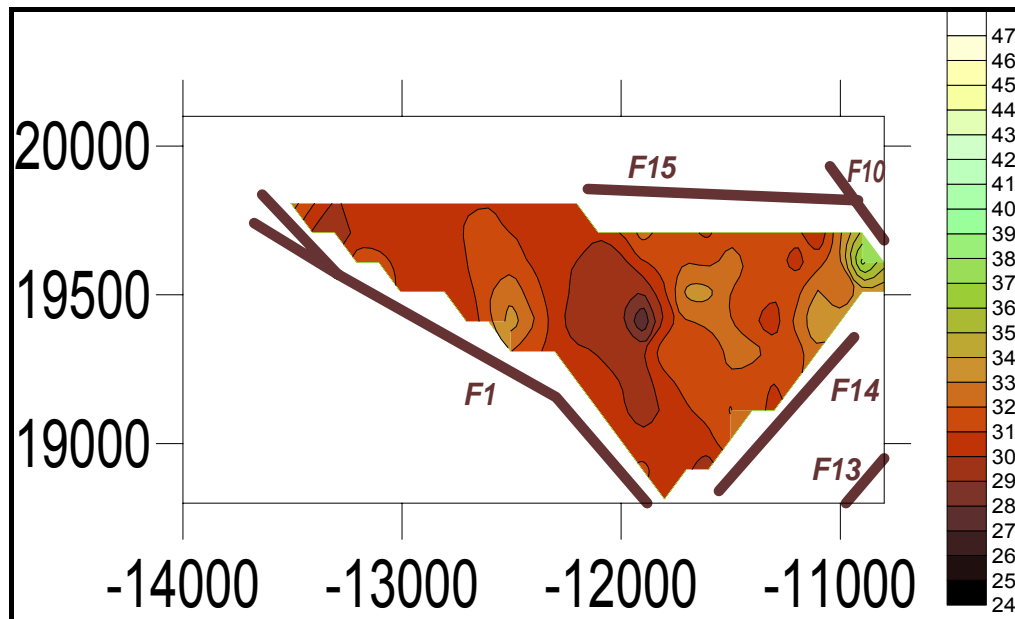
Σχήμα 4.19. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 1

Πίνακας 4.16. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 1

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	701
Ελάχιστο:	27,94
Μέγιστο:	45,51
Εύρος:	17,57
Μέση τιμή:	35,69
Διάμεσος:	35,39
25% των τιμών:	32,11
75% των τιμών:	38,85
Διασπορά:	15,89
Τυπική απόκλιση:	3,99
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,11
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,23

**Τομέας 2**

Ο τομέας 2 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_1$ ,  $F_{14}$ ,  $F_{10}$  και  $F_{15}$ .



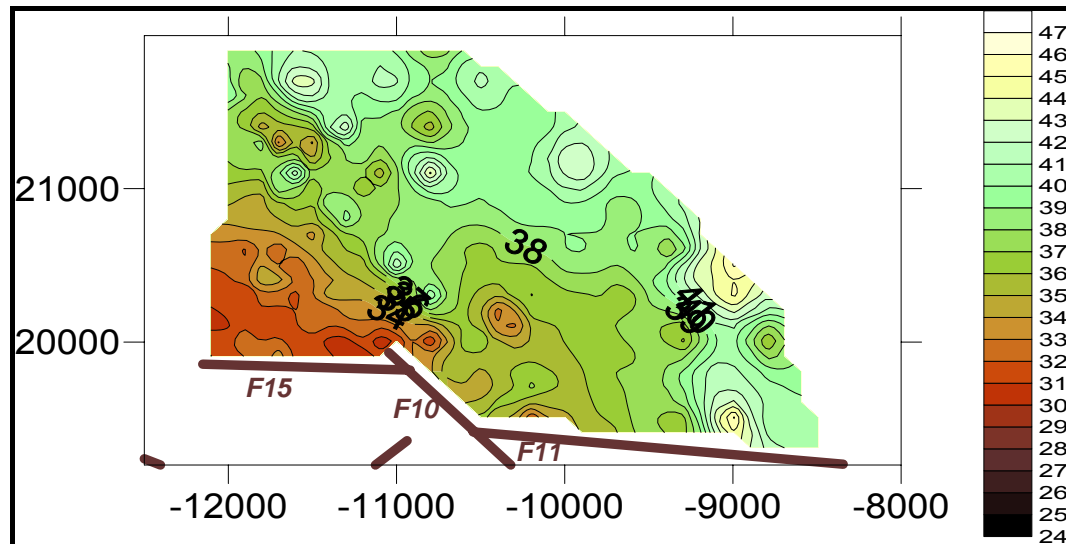
Σχήμα 4.20. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 2

Πίνακας 4.17. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 2

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	176
Ελάχιστο:	27,15
Μέγιστο:	37,22
Εύρος:	10,07
Μέση τιμή:	31,15
Διάμεσος:	30,99
25% των τιμών:	30,35
75% των τιμών:	31,73
Διασπορά:	1,46
Τυπική απόκλιση:	1,21
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,04
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	1,12

**Τομέας 3**

Ο τομέας 3 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_{15}$ ,  $F_{10}$  και  $F_{11}$ .



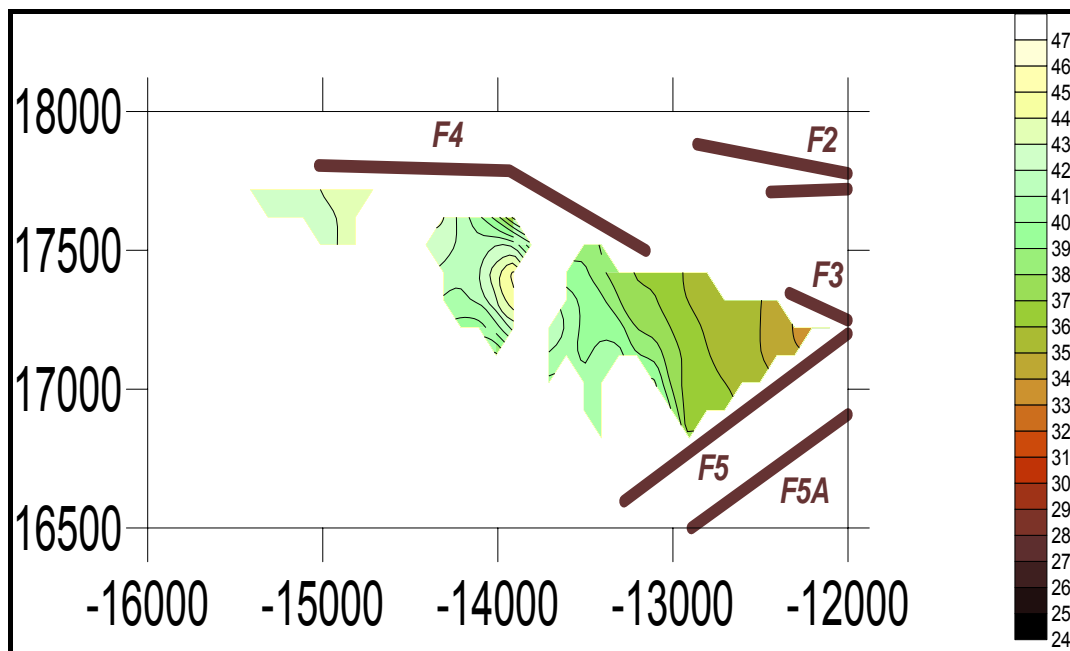
**Σχήμα 4.21. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 3**

**Πίνακας 4.18. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 3**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	686
Ελάχιστο:	30,12
Μέγιστο:	46,14
Εύρος:	16,02
Μέση τιμή:	37,61
Διάμεσος:	37,88
25% των τιμών:	35,76
75% των τιμών:	39,66
Διασπορά:	9,15
Τυπική απόκλιση:	3,03
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,08
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	-0,25

**Τομέας 4**

Ο τομέας 4 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_4$ ,  $F_3$  και  $F_5$ .



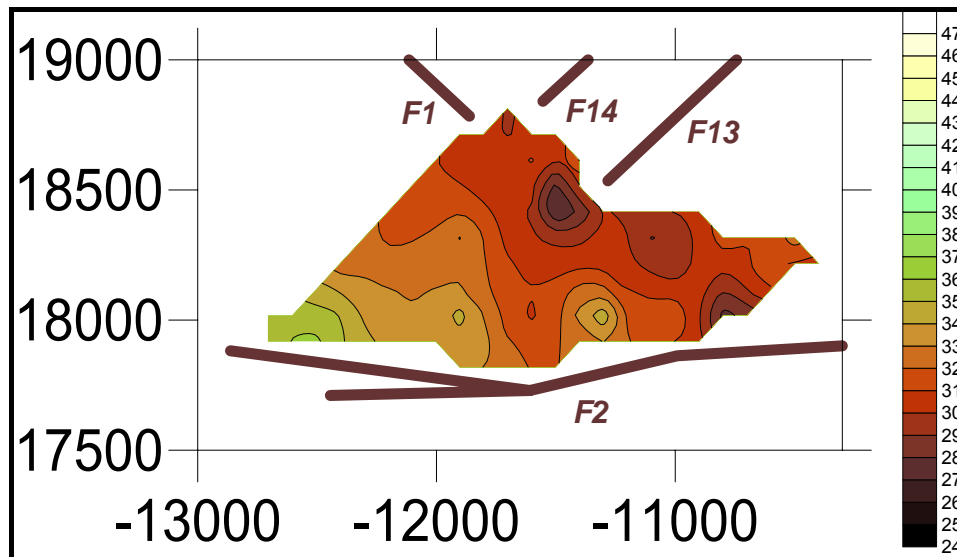
**Σχήμα 4.22. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 4**

**Πίνακας 4.19. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 4**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	126
Ελάχιστο:	33,44
Μέγιστο:	45,14
Εύρος:	11,69
Μέση τιμή:	38,85
Διάμεσος:	39,18
25% των τιμών:	36,16
75% των τιμών:	41,63
Διασπορά:	9,32
Τυπική απόκλιση:	3,05
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,08
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,04

**Τομέας 5**

Ο τομέας 5 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_{13}$  και  $F_{14}$ .



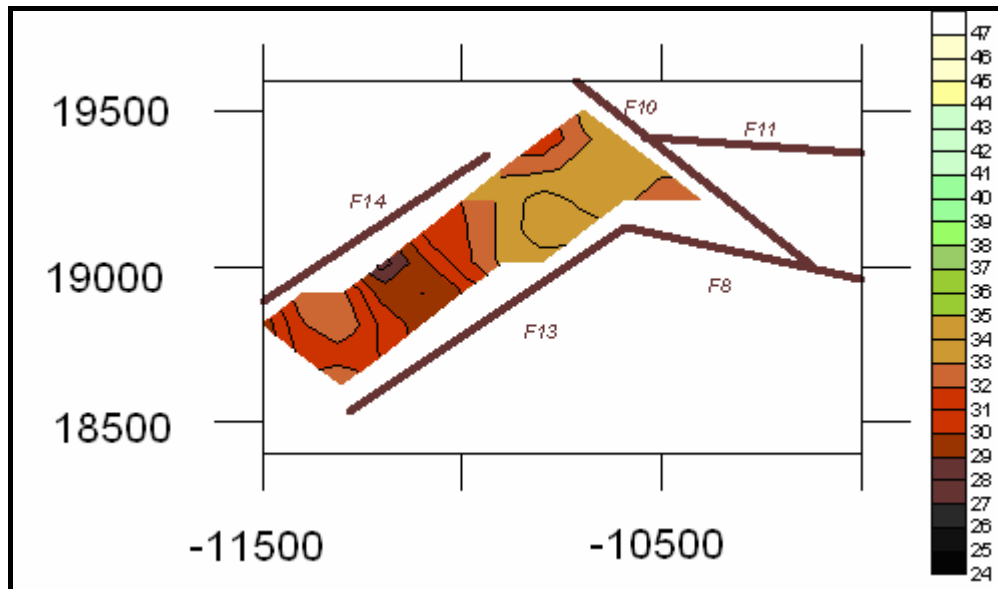
**Σχήμα 4.23. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 5**

**Πίνακας 4.20. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 5**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	149
Ελάχιστο:	27,21
Μέγιστο:	36,21
Εύρος:	9,00
Μέση τιμή:	31,65
Διάμεσος:	31,43
25% των τιμών:	30,42
75% των τιμών:	32,88
Διασπορά:	3,01
Τυπική απόκλιση:	1,73
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,05
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,32

**Τομέας 6**

Ο τομέας 6 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_8$ ,  $F_{10}$ ,  $F_{14}$  και  $F_{13}$ .



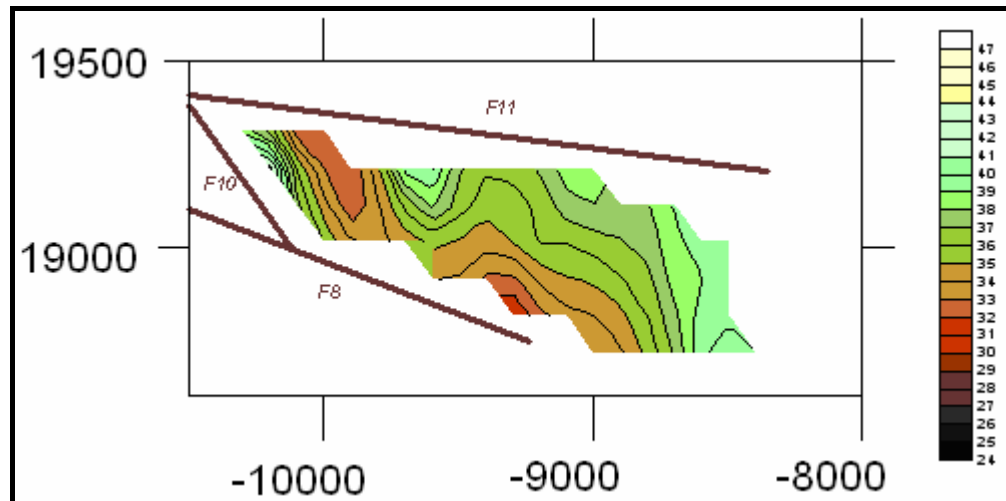
**Σχήμα 4.24. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 6**

**Πίνακας 4.21. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 6**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	50
Ελάχιστο:	27,46
Μέγιστο:	34,84
Εύρος:	7,38
Μέση τιμή:	31,89
Διάμεσος:	32,02
25% των τιμών:	30,92
75% των τιμών:	33,24
Διασπορά:	2,75
Τυπική απόκλιση:	1,66
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,05
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	-0,47

**Τομέας 7**

Ο τομέας 7 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_8$ ,  $F_{10}$  και  $F_{11}$ .



**Σχήμα 4.25. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 7**

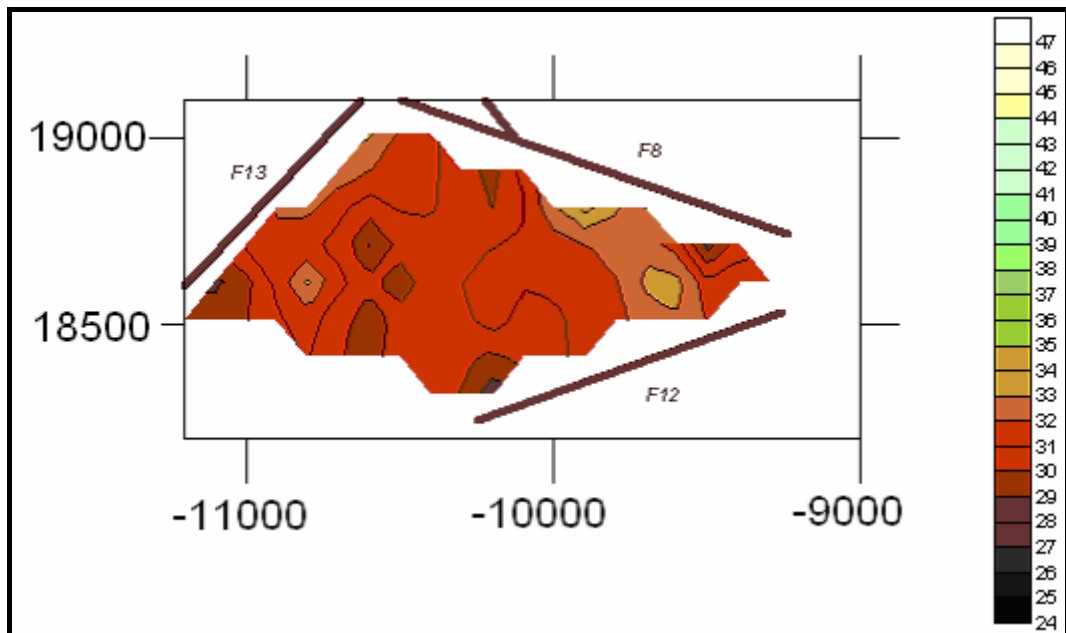
**Πίνακας 4.22. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 7**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	93
Ελάχιστο:	31,00
Μέγιστο:	42,22
Εύρος:	11,23
Μέση τιμή:	36,43
Διάμεσος:	36,32
25% των τιμών:	34,34
75% των τιμών:	38,41
Διασπορά:	6,23
Τυπική απόκλιση:	2,50
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,07
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,02



**Τομέας 8**

Ο τομέας 8 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_8$ ,  $F_{12}$  και  $F_{13}$ .



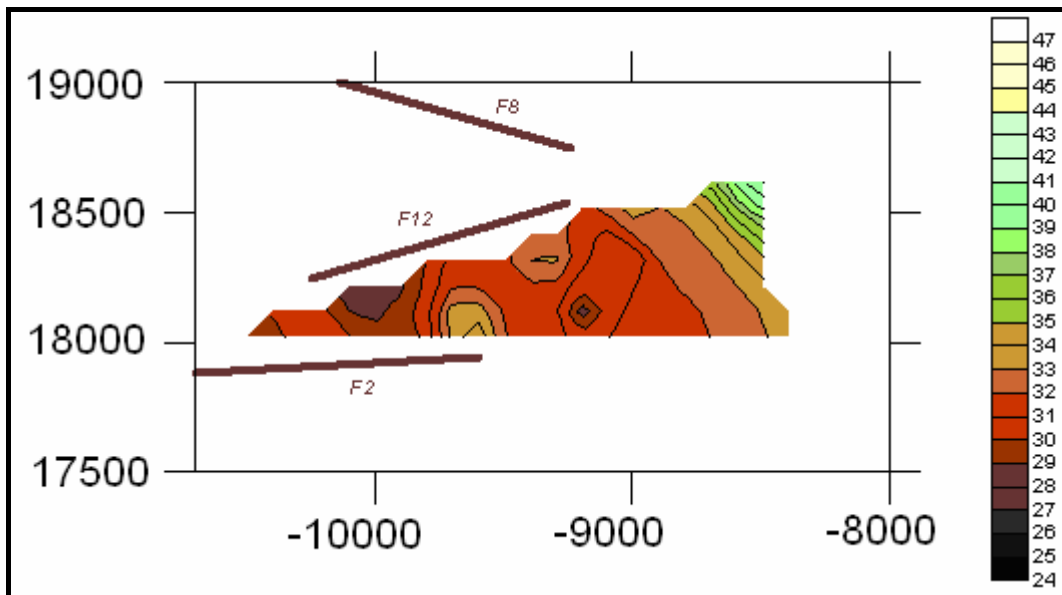
**Σχήμα 4.26. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 8**

**Πίνακας 4.23. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 8**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	106
Ελάχιστο:	28,38
Μέγιστο:	34,97
Εύρος:	6,59
Μέση τιμή:	31,17
Διάμεσος:	31,10
25% των τιμών:	30,36
75% των τιμών:	31,86
Διασπορά:	1,56
Τυπική απόκλιση:	1,25
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,04
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,34

**Τομέας 9**

Ο τομέας 9 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_2$  και  $F_{12}$ .



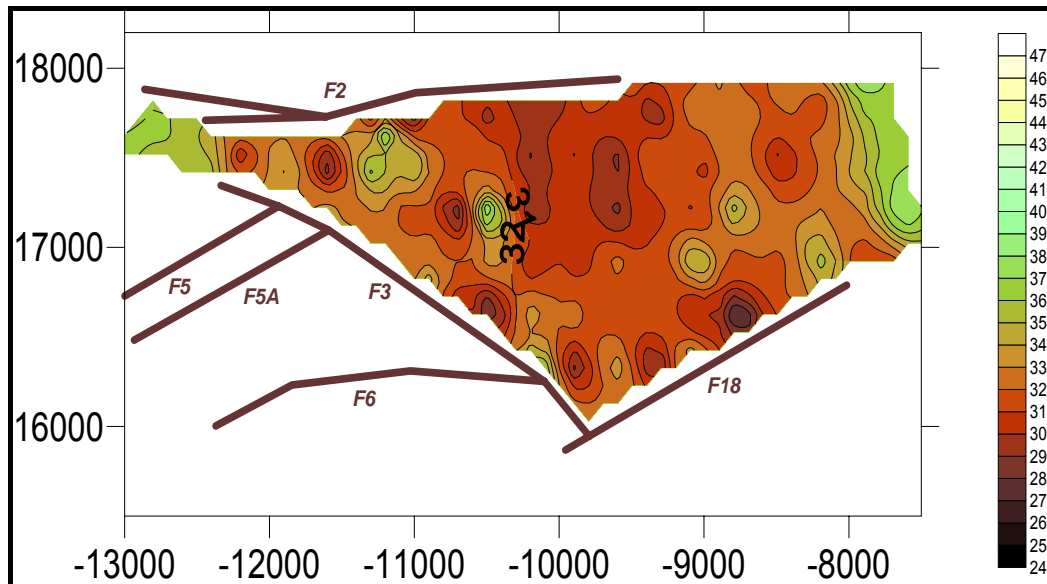
**Σχήμα 4.27. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 9**

**Πίνακας 4.24. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 9**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	112
Ελάχιστο:	28,11
Μέγιστο:	41,02
Εύρος:	12,91
Μέση τιμή:	31,73
Διάμεσος:	31,60
25% των τιμών:	30,18
75% των τιμών:	32,77
Διασπορά:	4,96
Τυπική απόκλιση:	2,23
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,07
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	1,45

**Τομέας 11**

Ο τομέας 11 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_2$ ,  $F_3$  και  $F_{18}$ .



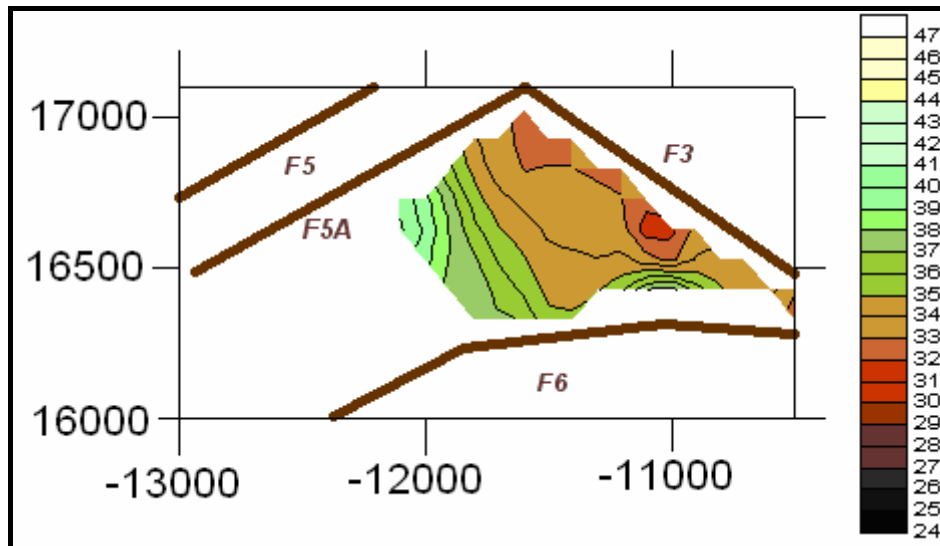
**Σχήμα 4.28. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 11**

**Πίνακας 4.25. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 11**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	623
Ελάχιστο:	27,03
Μέγιστο:	37,82
Εύρος:	10,79
Μέση τιμή:	32,19
Διάμεσος:	31,93
25% των τιμών:	31,01
75% των τιμών:	33,00
Διασπορά:	3,47
Τυπική απόκλιση:	1,86
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,06
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,68

**Τομέας 12**

Ο τομέας 12 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_{5A}$ ,  $F_3$  και  $F_6$ .



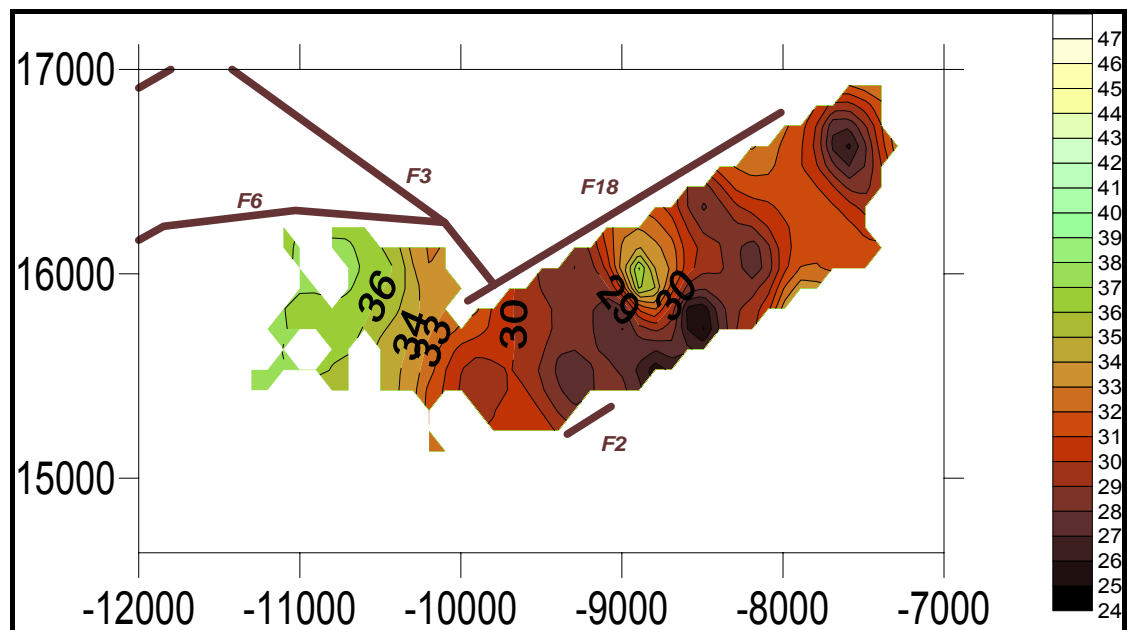
**Σχήμα 4.29. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 12**

**Πίνακας 4.26. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 12**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	90
Ελάχιστο:	31,46
Μέγιστο:	41,73
Εύρος:	10,27
Μέση τιμή:	35,15
Διάμεσος:	34,43
25% των τιμών:	33,34
75% των τιμών:	36,73
Διασπορά:	5,41
Τυπική απόκλιση:	2,33
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,07
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,88

**Τομέας 13**

Ο τομέας 13 περικλείεται από τα ρήγματα  $F_2$ ,  $F_6$  και  $F_{18}$



**Σχήμα 4.30. Μεταβολή της τέφρας στον Τομέα 13**

**Πίνακας 4.27. Στατιστικά στοιχεία AWF% του τομέα 13**

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	337
Ελάχιστο:	24,97
Μέγιστο:	37,61
Εύρος:	12,64
Μέση τιμή:	31,35
Διάμεσος:	30,95
25% των τιμών:	28,94
75% των τιμών:	33,20
Διασπορά:	9,06
Τυπική απόκλιση:	3,01
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,10
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	0,43

#### 4.4.1 Σχόλια για τη χωρική κατανομή της τέφρας.

Από τους χάρτες των ισότεφρων καμπυλών του συνολικού κοιτάσματος αλλά και των τομέων αυτού που αναπτύχθηκαν περιέχοντας τα ρήγματα προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Η μέση τιμή της τέφρας στο σύνολο του κοιτάσματος όπως και στους τομείς δε φαίνεται να διαφοροποιείται αισθητά μετά την εισαγωγή των ρηγμάτων. Εξαίρεση αποτελεί ο τομέας δεκατρία (13).
- Μετά την παραμόρφωση του ρήγματος  $F_2$  η τέφρα αυξάνεται σε διεύθυνση BA-ΝΔ.

#### 4.5. Ανάπτυξη μοντέλου κοιτάσματος με χρήση πολυωνυμικής συνάρτησης 3<sup>ου</sup> βαθμού.

Με τη μέθοδο IDS βρέθηκε πως η τέφρα παρουσιάζει τάση αύξησης από το κέντρο προς τα περιθώρια του κοιτάσματος. Αυτή η τάση μπορεί να απεικονιστεί με μια πολυωνυμική συνάρτηση 2<sup>ου</sup> ή 3<sup>ου</sup> βαθμού. Μετά από δοκιμές βρέθηκε πως ένα πολυώνυμο 3<sup>ου</sup> βαθμού προσομοιάζει καλύτερα τη μεταβολή της AWF% αφού δίνει συντελεστή συσχέτισης 0,730 έναντι του πολυωνύμου 2<sup>ου</sup> βαθμού που δίνει 0,725.

Το πολυώνυμο έχει την εξής μορφή:

$$AWF(X,Y) = \alpha_{00} + \alpha_{01} Y + \alpha_{02} Y^2 + \alpha_{03} Y^3 + \alpha_{10} X + \alpha_{11} XY + \alpha_{12} XY^2 + \alpha_{20} X^2 + \alpha_{21} X^2Y + \alpha_{30} X^3$$

Οι συντελεστές του πολυωνύμου δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

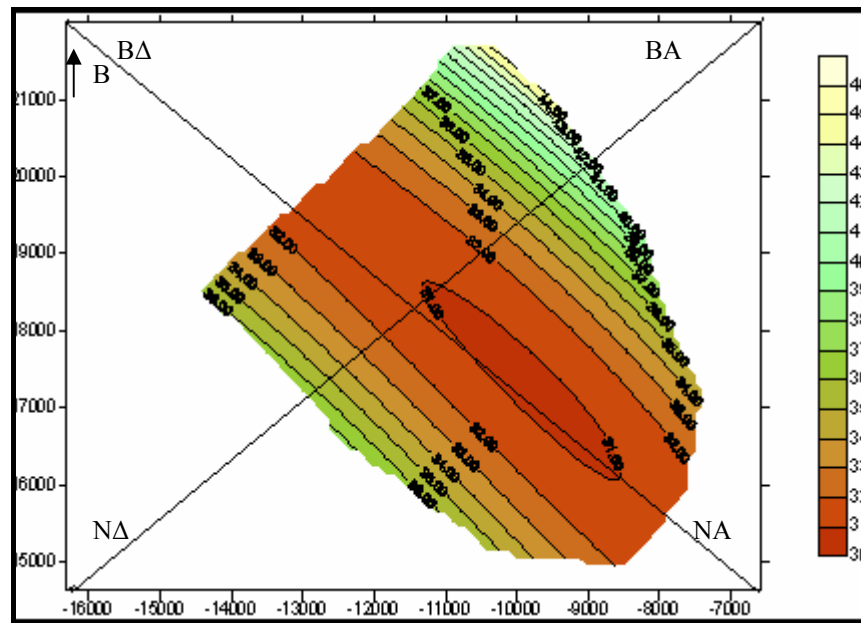
*Πίνακας 4.28. Συντελεστές πολυωνύμου 3<sup>ου</sup> βαθμού.*

$\alpha_{00}$	12,10255
$\alpha_{01}$	0,00853
$\alpha_{02}$	-8,88E-07
$\alpha_{03}$	4,34E-11
$\alpha_{10}$	0,002865
$\alpha_{11}$	-8,41E-08
$\alpha_{12}$	6,48E-11
$\alpha_{20}$	7,15E-07
$\alpha_{21}$	4,51E-11
$\alpha_{30}$	2,95E-11

Από τους συντελεστές του πολυωνύμου προκύπτει ότι η συμμετοχή των όρων  $X^3$ ,  $Y^3$ ,  $X^2Y$ ,  $XY^2$  στον υπολογισμό της τέφρας είναι σχεδόν αμελητέα, δηλαδή η τέφρα μπορεί να απεικονιστεί με ικανοποιητικό βαθμό και με πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού. Άλλωστε οι συντελεστές συσχέτισης των πολυωνύμων, 2<sup>ου</sup> βαθμού και 3<sup>ου</sup> βαθμού, διαφέρουν μόνο κατά 0,05 και η απόκλιση αυτή δε θεωρείται στατιστικά σημαντική. Η επιλογή πολυωνύμου 3<sup>ου</sup> βαθμού έγινε γιατί με τη χρήση αυτού προσεγγίζονται καλύτερα οι τιμές τις τέφρας στα περιθώρια του κοιτάσματος.

Με βάση την παραπάνω συνάρτηση υπολογίστηκε η AWF% σε κάθε σημείο του κοιτάσματος (σχήμα 4.31). Τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν την τέφρα επί ξηρού % (AWF) για το πολυωνυμικό μοντέλο παρουσιάζονται σε πίνακα (Πίνακας 4.29).

Η πολυωνυμική συνάρτηση, σε μεγάλη κλίμακα, απεικονίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την κατανομή της AWF% στο κοίτασμα. Άλλωστε ο συντελεστής συσχέτισης που δίνει η μέθοδος αυτή (0,730) δεν διαφέρει αισθητά από εκείνον που δίνεται από την IDS (0,749 με τη μέθοδο χωρίς τα ρήγματα και 0,737 για τη μέθοδο με τα ρήγματα).



Σχήμα 4.31. Ισόθερες καμπύλες (AWF%) που προέκυψαν με χρήση πολυώνυμου 3<sup>ου</sup> βαθμού

Πίνακας 4.29. Στατιστικά στοιχεία AWF% με χρήση πολυώνυμου 3<sup>ου</sup> βαθμού

Στατιστικά στοιχεία AWF	
Αριθμός μετρήσεων:	2909
Ελάχιστο:	30,86
Μέγιστο:	45,52
Εύρος:	14,66
Μέση τιμή:	33,63
Διάμεσος	32,62
25% των τιμών:	31,40
75% των τιμών:	34,89
Διασπορά:	8,64
Τυπική απόκλιση:	2,94
Συντελεστής Διακύμανσης:	0,09
Συντελεστής Ασυμμετρίας:	1,59
Συντελεστής Συσχέτισης:	0,73



Οπότε λοιπόν προκύπτει ότι η πολυωνυμική συνάρτηση αποδίδει ικανοποιητικά την γενική τάση που επικρατεί στο κοίτασμα του Ν. Πεδίου (αύξηση της τέφρας από το κέντρο προς την περιφέρεια), όμως εξομαλύνει αρκετά τις τιμές αφού με τη μέθοδο αυτή δεν μπορούν να προβλεφθούν αυξομειώσεις των τιμών της τέφρας σε γειτονικά σημεία και συγκεκριμένα κατά τη διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Σχήμα 4.31).

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### *Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων*

#### 5.1. Έλεγχος στατιστικών υποθέσεων.

Για να απαντηθεί το ερώτημα που τέθηκε στην αρχή αυτής της εργασίας, σχετικά με την επίδραση της τεκτονικής στη διαμόρφωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος του Ν.Πεδίου θα χρησιμοποιηθούν δυο "εργαλεία" του στατιστικού ελέγχου το F-test και το t-test. Με το F-test θα ελεγχθεί η ομοιογένεια της διασποράς και με το t-test οι μέσες τιμές.

Και στα δυο test η στατιστική διαδικασία του ελέγχου της υπόθεσης μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια:

Στάδιο 1<sup>ο</sup> : Η διατύπωση της απόθεσης που θα ελεγχθεί. Υπάρχουν δύο ενδιαφέρουσες υποθέσεις:

Η μηδενική απόθεση ( $Y_0$ ): Η υπόθεση αυτή δηλώνει "μη-διαφορά" μεταξύ των υπό εξέταση πληθυσμών.

- Για το F-test:  $Y_0 : s_1^2 = s_2^2$  όπου  $s_1^2, s_2^2$  οι διασπορές των πληθυσμών.
- Για το t-test:  $Y_0 : \mu_1 = \mu_2$  όπου  $\mu_1, \mu_2$  οι μέσες τιμές των πληθυσμών.

Η εναλλακτική υπόθεση  $Y_1$  που προσδιορίζει ότι υπάρχει διαφορά στους πληθυσμούς, για παράδειγμα

$Y_1: \mu_1 > \mu_2$  ή  $\mu_1 < \mu_2$  (μονόπλευρο τεστ) ή

$Y_1: \mu_1 \neq \mu_2$  ή  $s_1^2 \neq s_2^2$  (αμφίπλευρο τεστ).

Στάδιο 2<sup>ο</sup> : Υπολογισμός του "στατιστικού τεστ" (ΣΤ)

Το ΣΤ είναι ένα μέτρο που υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά των πληθυσμών (όπως μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγεθος πληθυσμών) υπό την προϋπόθεση ότι η  $Y_0$  είναι αληθής.

$$\text{Για το t-test} \quad \Sigma T = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{S_p} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot m}{n + m}} \quad \text{όπου } S_p$$

συνδυασμένη τυπική απόκλιση και  $n, m$  τα μεγέθη των πληθυσμών .

$$S_p = \sqrt{\frac{(n-1)s_1^2 + (m-1)s_2^2}{(n+m-2)}}$$

Για το F- test το ΣΤ είναι ίσο με το λόγο των διασπορών των πληθυσμών, με αριθμητή τη μεγαλύτερη διασπορά .

$$\Sigma T = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

Στάδιο 3<sup>ο</sup> : Λήψη απόφασης

Η υπολογιζόμενη τιμή του ΣΤ συγκρίνεται με την «κρίσιμη τιμή» (κτ) που λαμβάνεται από κατάλληλους στατιστικούς πίνακες. Η επιλογή του στατιστικού πίνακα εξαρτάται από την εξεταζόμενη υπόθεση. Για παράδειγμα, αν η υπόθεση σχετίζεται με τους μέσους όρους, συνήθως συμβουλευόμαστε τον t-πίνακα. Αν επεξεργάζονται διασπορές, χρησιμοποιούνται F-πίνακες.

Όποιος κι αν είναι ο στατιστικός πίνακας, οι κτ εξαρτώνται από τους βαθμούς ελευθερίας (βε) που σχετίζονται με το δείγμα και από ένα προκαθορισμένο επίπεδο σημαντικότητας ( $\alpha$ ).

Η τιμή του ΣΤ θεωρείται σημαντική, αν είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή  $\kappa\tau = \kappa\tau(\text{βε}, \alpha)$ . Σε μια τέτοια περίπτωση, λέμε ότι δε μπορούμε να δεχτούμε τη μηδενική υπόθεση στο  $\alpha$ -επίπεδο σημαντικότητας, με  $\alpha\%$  πιθανότητα να κάνουμε λάθος με αυτήν την απόφαση. Αντιστρόφως, αν το ΣΤ είναι μικρότερο από  $\kappa\tau(\text{βε}, \alpha)$ , λέμε ότι δεν μπορούμε να απορρίψουμε τη μηδενική υπόθεση στο επίπεδο του  $\alpha\%$ .

## **5.2. Εφαρμογή F-test.**

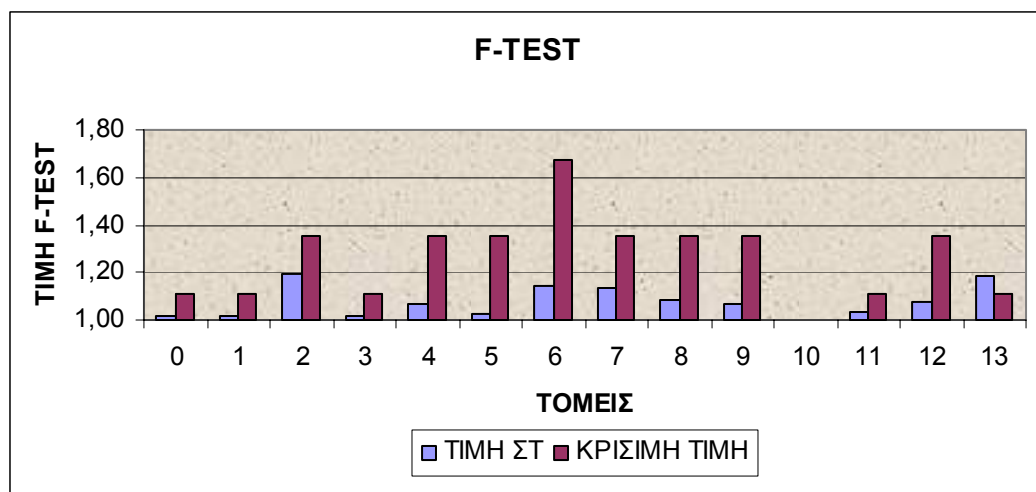
Με βάση τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο έγινε ο υπολογισμός του ΣΤ για τις δύο μεθόδους που εφαρμόστηκαν για τον υπολογισμό της AWF και που διαφοροποιούνται στην ύπαρξη ή μη των ρηγμάτων.

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι τιμές της διασποράς και των δύο μεθόδων για την AWF στο σύνολο του κοιτάσματος και στους τομείς ξεχωριστά, η υπολογισθείσα τιμή του F-test (ΣΤ) καθώς και η κρίσιμη τιμή.

Επιπλέον στο σχήμα 5.1 παριστάνονται η υπολογισθείσα τιμή (ΣΤ) καθώς και η κρίσιμη έτσι ώστε να γίνει πιο εύκολα ο συσχετισμός τους. Από το σχήμα λοιπόν προκύπτει ότι για το σύνολο του κοιτάσματος (στο σχήμα δηλώνεται με το 0) και για τους τομείς 1-12,  $\Sigma T < \text{κρίσιμης τιμής}$  οπότε δεν μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση των ίσων διασπορών σε επίπεδο 5%. Αντίθετα στον τομέα 13,  $\Sigma T > \text{κρίσιμης τιμής}$ , οπότε δεν μπορεί να γίνει δεκτή η μηδενική υπόθεση των ίσων διασπορών σε επίπεδο 5%.

Πίνακας 5.1. *F-test*

Εφαρμογή F-test σε επίπεδο σημαντικότητας 5%					
Τομείς	Μέθοδος	Αριθμός μετρήσεων	Διασπορά	Τιμή ΣΤ	κρίσιμη τιμή
Συνολικό	Χωρίς ρήγματα	3957	15,86	1,01	1,11
	Με ρήγματα	3799	16,08		
Τομέας 1	Χωρίς ρήγματα	701	16,21	1,02	1,11
	Με ρήγματα	701	15,89		
Τομέας 2	Χωρίς ρήγματα	176	1,22	1,20	1,35
	Με ρήγματα	176	1,46		
Τομέας 3	Χωρίς ρήγματα	686	8,99	1,02	1,11
	Με ρήγματα	686	9,15		
Τομέας 4	Χωρίς ρήγματα	153	9,93	1,07	1,35
	Με ρήγματα	126	9,32		
Τομέας 5	Χωρίς ρήγματα	149	2,94	1,02	1,35
	Με ρήγματα	149	3,01		
Τομέας 6	Χωρίς ρήγματα	50	2,41	1,14	1,67
	Με ρήγματα	50	2,75		
Τομέας 7	Χωρίς ρήγματα	98	7,05	1,13	1,35
	Με ρήγματα	93	6,23		
Τομέας 8	Χωρίς ρήγματα	106	1,69	1,08	1,35
	Με ρήγματα	106	1,56		
Τομέας 9	Χωρίς ρήγματα	112	4,66	1,06	1,35
	Με ρήγματα	112	4,96		
Τομέας 10	Χωρίς ρήγματα	36	3,93		
	Με ρήγματα				
Τομέας 11	Χωρίς ρήγματα	623	3,37	1,03	1,11
	Με ρήγματα	623	3,47		
Τομέας 12	Χωρίς ρήγματα	129	5,83	1,08	1,35
	Με ρήγματα	90	5,41		
Τομέας 13	Χωρίς ρήγματα	380	10,72	1,18	1,11
	Με ρήγματα	337	9,06		

Σχήμα 5.1. Συσχέτιση υπολογισθείσας τιμής και κρίσιμης *F-test*

### 5.3. Εφαρμογή t-test.

Για να δοθεί απάντηση στο ερώτημα που τέθηκε στην αρχή της εργασίας σχετικά με την επίδραση των ρηγμάτων στην εξέλιξη της ποιότητας του κοιτάσματος έγινε έλεγχος της μέσης τιμής και των δύο μεθόδων με το t-test.

Αρχικά υπολογίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής AWF (άνω όριο, κάτω όριο) και για τις δύο μεθόδους για το σύνολο του κοιτάσματος και για τους τομείς στους οποίους αυτό χωρίστηκε (πίνακες 5.2 και 5.3). Το διάστημα εμπιστοσύνης ( $\Delta E$ ) δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta E = \mu \pm t(\beta\epsilon, \alpha) * s_m$$

Όπου  $\mu$  είναι η μέση τιμή,  $t(\beta\epsilon, \alpha)$  είναι μια τιμή-t που παίρνουμε από ειδικούς στατιστικούς πίνακες και εξαρτάται από τους βαθμούς ελευθερίας ( $\beta\epsilon$ ) που σχετίζονται με το μέγεθος του δείγματος και από το επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  που στην περίπτωση μας είναι 5%,  $s_m$  το τυπικό λάθος που δίνεται από τη σχέση:

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{n}}, \text{ όπου } s \text{ η τυπική απόκλιση και } n \text{ το μέγεθος του δείγματος.}$$

Τα όρια διακύμανσης της μέσης τιμής της τέφρας καθώς και η μέση τιμή της για το σύνολο του κοιτάσματος και για τους τομείς παρουσιάζονται στα σχήματα 5.2 και 5.3. Το σχήμα 5.2 αναφέρεται στη μέθοδο όπου τα ρήγματα δεν λαμβάνονται υπόψη ενώ το σχήμα 5.3 στη μέθοδο των ρηγμάτων.

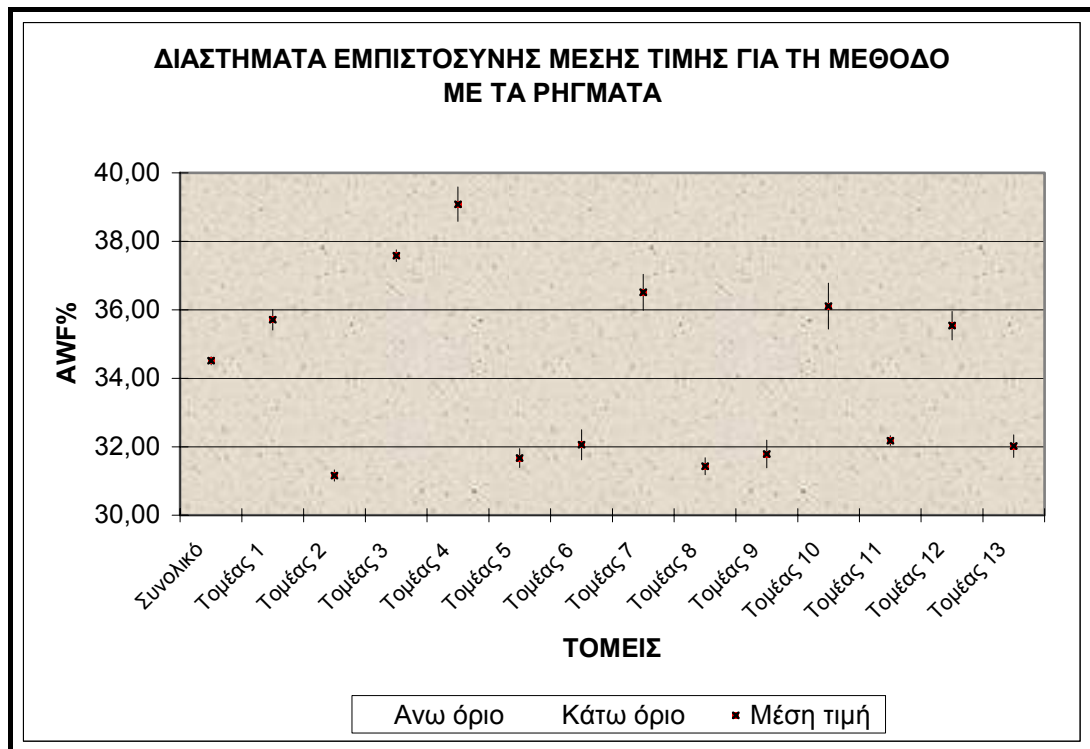
Στη μέθοδο όπου χρησιμοποιήθηκαν τα ρήγματα, για τον τομέα 10, λόγω έλλειψης γεωτρήσεων δεν προέκυψαν στατιστικά στοιχεία για την τέφρα οπότε ο τομέας αυτός δεν λαμβάνει μέρος στους υπολογισμούς.

**Πίνακας 5.2. Όρια διακύμανσης μέσης τιμής AWF για το σύνολο του κοιτάσματος και τους τομείς με τη μέθοδο χωρίς τα ρήγματα.**

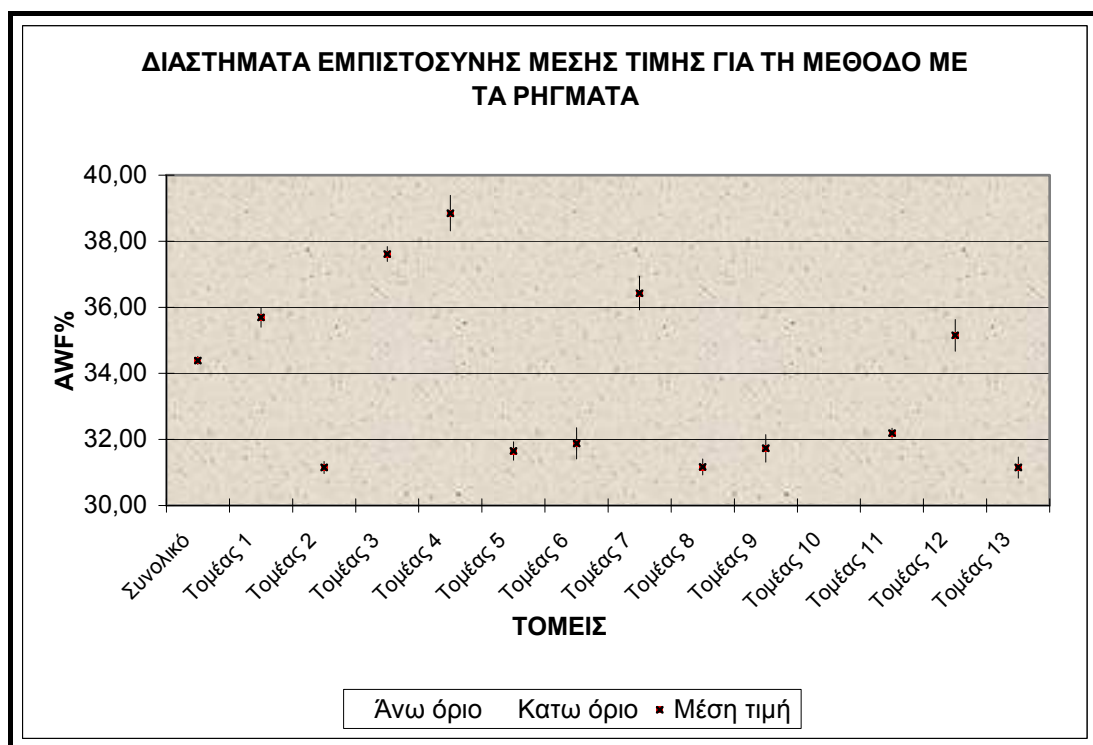
Διαστήματα εμπιστοσύνης μέσης τιμής για τη μέθοδο χωρίς τα ρήγματα							
Τομείς	Αριθμός μετρήσεων (n)	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση (s)	t (n-1,5%)	s/√n	Κάτω όριο	Άνω όριο
Συνολικό	3957	34,51	3,98	1,96	0,06	34,39	34,63
Τομέας 1	701	35,71	4,02	1,96	0,15	35,41	36,01
Τομέας 2	176	31,16	1,11	1,96	0,08	31,00	31,32
Τομέας 3	686	37,58	2,30	1,96	0,09	37,41	37,75
Τομέας 4	153	39,08	3,15	1,96	0,25	38,58	39,58
Τομέας 5	149	31,67	1,71	1,96	0,14	31,40	31,94
Τομέας 6	50	32,06	1,55	2,01	0,22	31,62	32,50
Τομέας 7	98	36,51	2,66	1,97	0,27	35,98	37,04
Τομέας 8	106	31,43	1,30	1,98	0,13	31,18	31,68
Τομέας 9	112	31,79	2,16	1,98	0,20	31,39	32,19
Τομέας 10	36	36,11	1,98	2,04	0,33	35,44	36,78
Τομέας 11	623	32,18	1,84	1,96	0,07	32,04	32,32
Τομέας 12	129	35,54	2,41	1,98	0,21	35,12	35,96
Τομέας 13	380	32,02	3,27	1,96	0,17	31,69	32,35

**Πίνακας 5.3. Όρια διακύμανσης μέσης τιμής AWF για το σύνολο του κοιτάσματος και τους τομείς με τη μέθοδο με τα ρήγματα**

Διαστήματα εμπιστοσύνης μέσης τιμής για τη μέθοδο με τα ρήγματα							
Τομείς	Αριθμός μετρήσεων (n)	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση (s)	t (n-1, 5%)	s/√n	Κάτω όριο	Άνω όριο
Συνολικό	3799	34,39	4,01	1,96	0,07	34,26	34,52
Τομέας 1	701	35,69	3,99	1,96	0,15	35,39	35,99
Τομέας 2	176	31,15	1,21	1,96	0,09	30,97	31,33
Τομέας 3	686	37,61	3,02	1,96	0,12	37,38	37,84
Τομέας 4	126	38,85	3,05	1,98	0,27	38,31	39,39
Τομέας 5	149	31,65	1,73	1,96	0,14	31,37	31,93
Τομέας 6	50	31,88	1,66	2,01	0,23	31,41	32,35
Τομέας 7	93	36,43	2,5	1,97	0,26	35,92	36,94
Τομέας 8	106	31,17	1,25	1,98	0,12	30,93	31,41
Τομέας 9	112	31,73	2,23	1,98	0,21	31,31	32,15
Τομέας 10							
Τομέας 11	623	32,19	1,86	1,96	0,07	32,04	32,34
Τομέας 12	90	35,15	2,32	1,97	0,24	34,67	35,63
Τομέας 13	337	31,15	3,01	1,96	0,16	30,83	31,47



*Σχήμα 5.2. Όρια διακύμανσης της μέσης τιμής της AWF για το σύνολο του κοιτάσματος και τους τομείς με τη μέθοδο χωρίς τα ρήγματα.*



*Σχήμα 5.3. Όρια διακύμανσης της μέσης τιμής της AWF για το σύνολο του κοιτάσματος και τους τομείς με τη μέθοδο με τα ρήγματα.*



Παρατηρώντας τα σχήματα 5.2 και 5.3 μπορούμε να πούμε με 95% βεβαιότητα ότι η μέση τιμή της τέφρας του κοιτάσματος είναι διαφορετική από αυτή των επιμέρους τομέων.

Αναλυτικότερα από τα σχήματα 5.2 και 5.3 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Η μέση τιμή της τέφρας στους τομείς στους οποίους χωρίζεται το κοίτασμα από την επίδραση της τεκτονικής παρουσιάζει δύο τάσεις. Οι τομείς που βρίσκονται στα περιθώρια του κοιτάσματος παρουσιάζουν υψηλές τιμές τέφρας σε σχέση με τη μέση τιμή του κοιτάσματος ενώ οι τομείς που βρίσκονται στο κέντρο παρουσιάζουν χαμηλές τιμές τέφρας.

Στους τομείς που βρίσκονται στα περιθώρια του κοιτάσματος η μέση τιμή της τέφρας διαφοροποιείται αισθητά από τομέα σε τομέα με αποτέλεσμα στον κάθε τομέα να διαμορφώνεται ένα διαφορετικό επίπεδο τιμών τέφρας.

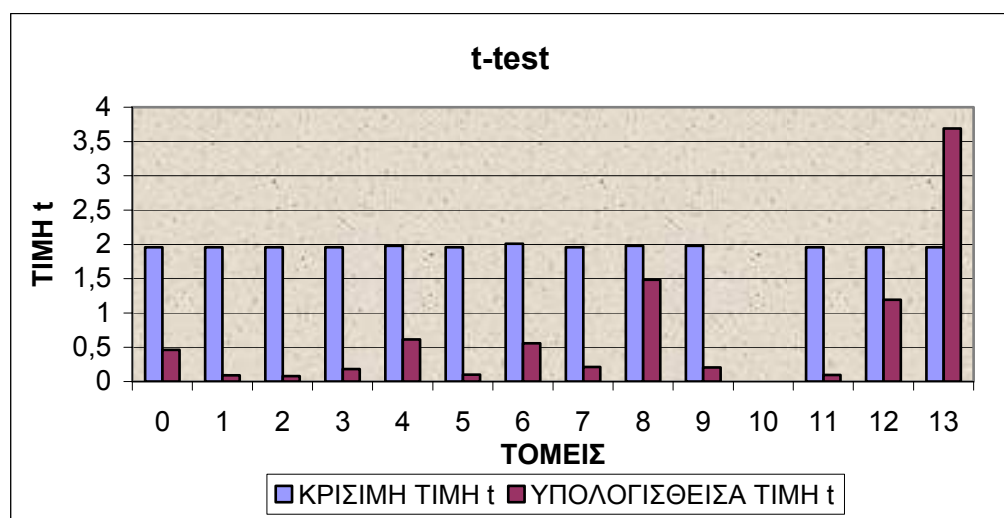
Η μέση τιμή της τέφρας των τομέων που βρίσκονται στο κέντρο του κοιτάσματος δεν διαφοροποιείται αισθητά από τομέα σε τομέα. Έτσι οι τομείς 2,5,6,8,9,11,13 παρουσιάζουν μια μέση τιμή τέφρας που κυμαίνεται από 31% έως 32% .

Επιπλέον από τα σχήματα 5.2 και 5.3 φαίνεται πως είτε χρησιμοποιηθούν τα ρήγματα στην ανάπτυξη του μοντέλου είτε όχι, η μέση τιμή της τέφρας τόσο στο σύνολο του κοιτάσματος όσο και στους τομείς δεν διαφοροποιείται αισθητά με εξαίρεση τον τομέα 13. Για τον έλεγχο αυτής της πρότασης χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο  $t$ .

Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των δύο μεθόδων για την AWF στο σύνολο του κοιτάσματος και στους τομείς ξεχωριστά , η υπολογισθείσα τιμή του  $t$ -test ( $t$ ) καθώς και η κρίσιμη τιμή .

Πίνακας 5.4. *t*-test

Εφαρμογή <i>t</i> -test για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$						
Τομείς	Μέθοδος	Αριθμός μετρήσεων	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	τιμή <i>t</i>	κρίσιμη τιμή <i>t</i>
Συνολικό	Χωρίς ρήγματα	3957	34,51	3,98	0,46	1,96
	Με ρήγματα	3799	34,39	4,01		
Τομέας 1	Χωρίς ρήγματα	701	35,71	4,02	0,09	1,96
	Με ρήγματα	701	35,69	3,99		
Τομέας 2	Χωρίς ρήγματα	176	31,16	1,11	0,08	1,96
	Με ρήγματα	176	31,15	1,21		
Τομέας 3	Χωρίς ρήγματα	686	37,58	2,3	0,18	1,96
	Με ρήγματα	686	37,61	3,02		
Τομέας 4	Χωρίς ρήγματα	153	39,08	3,15	0,62	1,98
	Με ρήγματα	126	38,85	3,05		
Τομέας 5	Χωρίς ρήγματα	149	31,67	1,71	0,10	1,96
	Με ρήγματα	149	31,65	1,73		
Τομέας 6	Χωρίς ρήγματα	50	32,06	1,55	0,56	2,01
	Με ρήγματα	50	31,88	1,66		
Τομέας 7	Χωρίς ρήγματα	98	36,51	2,66	0,21	1,96
	Με ρήγματα	93	36,43	2,5		
Τομέας 8	Χωρίς ρήγματα	106	31,43	1,3	1,48	1,98
	Με ρήγματα	106	31,17	1,25		
Τομέας 9	Χωρίς ρήγματα	112	31,79	2,16	0,20	1,98
	Με ρήγματα	112	31,73	2,23		
Τομέας 10	Χωρίς ρήγματα	36	36,11	1,98		
	Με ρήγματα					
Τομέας 11	Χωρίς ρήγματα	623	32,18	1,84	0,10	1,96
	Με ρήγματα	623	32,19	1,86		
Τομέας 12	Χωρίς ρήγματα	129	35,54	2,41	1,19	1,96
	Με ρήγματα	90	35,15	2,32		
Τομέας 13	Χωρίς ρήγματα	380	32,02	3,27	3,69	1,96
	Με ρήγματα	337	31,35	3,01		

Σχήμα 5.4. Συσχέτιση υπολογισθείσας τιμής *t* και κρίσιμης

Από το σχήμα 5.4 φαίνεται πως για το σύνολο του κοιτάσματος και για τους τομείς 1-12 η υπολογισθείσα τιμή του  $t$  είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή οπότε δε μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση των ίσων μέσων τιμών σε επίπεδο 5%. Αυτό σημαίνει πως η μέθοδος υπολογισμού της τέφρας με τη χρήση των ρηγμάτων δε διαφοροποιείται από τη μέθοδο όπου τα ρήγματα δεν συμπεριλήφθηκαν στον υπολογισμό της τέφρας για την ανάπτυξη του μοντέλου του κοιτάσματος. Οπότε η επίδραση της τεκτονικής δεν αποδεικνύεται σημαντική στη διαμόρφωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος με βάση πάντα την ανάλυση που έγινε, χρησιμοποιώντας δηλαδή τα στοιχεία του υπάρχοντος δικτύου γεωτρήσεων.

Αντίθετα στον τομέα 13 που βρίσκεται στα ΝΑ του κοιτάσματος η κρίσιμη τιμή  $t$  είναι μικρότερη από την υπολογισθείσα τιμή. Αυτό σημαίνει πως για τον τομέα αυτό, η επεξεργασία των στοιχείων των γεωτρήσεων με τη μέθοδο όπου γίνεται χρήση των ρηγμάτων διαφοροποιείται από τη μέθοδο όπου τα ρήγματα δεν λαμβάνονται υπόψη. Με άλλα λόγια στον τομέα 13 η επίδραση της τεκτονικής συνέβαλλε όχι μόνο στη διαμόρφωση της περιοχής αλλά και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος στα ΝΑ της λεκάνης.

### Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

#### ***Συμπεράσματα-Προτάσεις***

Από την ανάπτυξη των μοντέλων με τις δύο μεθόδους που εφαρμόστηκαν, χωρίς τον υπολογισμό των ρηγμάτων και με τον υπολογισμό αυτών, και από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα για την ποιότητα του λιγνίτη του κοιτάσματος του Ν. Πεδίου και την εξάρτηση αυτής από την τεκτονική.

- Με βάση τον κάναβο (100x100) και τις άλλες παραμέτρους που επιλέχθηκαν για τη λειτουργία της μεθόδου IDS, η επεξεργασία των στοιχείων των γεωτρήσεων με τις δύο μεθόδους που εφαρμόστηκαν, χωρίς τον υπολογισμό των ρηγμάτων και με τον υπολογισμό αυτών, δεν έδωσε διαφορετικά αποτελέσματα για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος παρά μόνο για το ΝΑ τμήμα αυτού και συγκεκριμένα για τον τομέα δεκατρία (13).
- Η λειτουργία της τεκτονικής χωρίζει το κοίτασμα σε τομείς που στον καθένα από αυτούς διαμορφώνονται διαφορετικά επίπεδα της τέφρας. Συγκεκριμένα οι τομείς που βρίσκονται στο κέντρο του κοιτάσματος παρουσιάζουν χαμηλές τιμές τέφρας που δεν διαφέρουν αισθητά από τομέα σε τομέα, αντίθετα οι τομείς που βρίσκονται στα περιθώρια του κοιτάσματος έχουν υψηλές τιμές τέφρας.
- Στα περιθώρια του κοιτάσματος, ΝΔ και ΒΑ, παρουσιάζεται τάση αύξησης της τέφρας που συνηγορεί στην επικράτηση της ιζηματογένεσης (στείρα) έναντι της λιγνιτογένεσης. Η παραπάνω πρόταση επιβεβαιώνεται και από το λιμνοτελματικό τύπο του κοιτάσματος του Ν.Πεδίου.

- Η μεταβολή της τέφρας στο κοίτασμα του Ν. Πεδίου μπορεί να απεικονισθεί με ικανοποιητικό βαθμό με μια πολυωνυμική συνάρτηση 2<sup>ου</sup> ή 3<sup>ου</sup> βαθμού η οποία δείχνει τη γενική τάση που επικρατεί, δηλαδή την επικράτηση της ιζηματογένεσης στα περιθώρια του κοιτάσματος.
- Η αναφερθείσα αύξηση της τέφρας προς τα ΝΔ παρουσιάζεται μετά τα ρήγματα F<sub>1</sub> και F<sub>3</sub>. Τα ρήγματα αυτά έχουν την ίδια διεύθυνση και έχουν σχηματιστεί κατά τη γένεση του κοιτάσματος, γι' αυτό το λόγο προτείνεται να μελετηθεί το φαινόμενο περαιτέρω.
- Η τέφρα από ΝΔ-ΒΑ για όλους τους τομείς που συναντώνται κατά τη συγκεκριμένη διεύθυνση παρουσιάζει την εξής διακύμανση: από τα ΝΔ περιθώρια ως το κέντρο του κοιτάσματος ελαττώνεται και στη συνέχεια ως τα ΒΑ περιθώρια αυξάνεται. Εξαίρεση αποτελούν οι τομείς 13,11,9 που βρίσκονται στο ΝΑ τμήμα της λεκάνης, γεγονός που αποδεικνύει πως η λειτουργία της τεκτονικής επηρέασε τη γενική τάση που επικρατεί στο τμήμα αυτό.
- Οι υπάρχουσες γεωτρήσεις, που χρησιμοποιήθηκαν για να μελετηθεί η επίδρασή της τεκτονικής έχουν σχετικά μεγάλη μέση απόσταση (210 m) με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών σε μεγάλη κλίμακα. Για να μελετηθεί το κοίτασμα σε μικρότερη κλίμακα ώστε να προκύψουν αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια απαιτείται πυκνότερο δίκτυο. Η δειγματοληψία από τα μέτωπα εκσκαφής σε συνδυασμό με τα στοιχεία των γεωτρήσεων μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα για τη μεταβολή της ποιότητας σε μικρότερη κλίμακα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική βιβλιογραφία

1. Δικτυακός τόπος Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού.  
<http://www.dei.gr>
2. Γαλετάκης, Μ. (1996). Διδακτορική Διατριβή "Προσδιορισμός της ποιότητας λιγνίτη που εξορύσσεται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά κοιτάσματα".
3. Γαλετάκης, Μ. (2002). Σημειώσεις του μαθήματος "Έλεγχος ποιότητας πρώτων υλών" Πολυτεχνείο Κρήτης.
4. Γαλετάκης, Μ. (2002). Σημειώσεις του μαθήματος "Σχεδίαση εκμεταλλεύσεων ορυκτών πόρων με ηλεκτρονικό υπολογιστή" Πολυτεχνείο Κρήτης.
5. Καβουρίδης, Κ. Β. (1993). Σημειώσεις του μαθήματος "Εκμετάλλευση Ι" Πολυτεχνείο Κρήτης.
6. Κομνίτσας, Κ. Σημειώσεις του μαθήματος "Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη Γεωστατιστική" Πολυτεχνείο Κρήτης.
7. Κουρίδου, Ο., Σταμούλης, Κ. (2001). Έρευνα Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας με θέμα " Η σχέση της τεκτονικής με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος ορυχείου Νότιου Πεδίου.
8. Κουρίδου, Ο., Σταμούλης, Κ (2002). Έρευνα Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας με θέμα "Τάσεις διαφοροποίησης της σύστασης της τέφρας σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ στο κοιτάσμα λιγνίτη Ο.Ν.Π".

9. Λογοθέτης, Ν. (1992). Μανατζμεντ ολικής ποιότητας, Ελληνική Έκδοση TQM HELLAS, INTERBOOKS, Αθήνα.
10. Παπανικολάου, Κ. (2003), Σημειώσεις του μαθήματος "Κοιτασματολογία ενεργειακών πόρων" Πολυτεχνείο Κρήτης.
11. Χριστόπουλος, Δ. (2003). Σημειώσεις του μαθήματος "Έρευνα κοιτασμάτων" Πολυτεχνείο Κρήτης.

### **Ξένη βιβλιογραφία**

1. Hristopulos, D.T. (2004). Anisotropic Spartan random field models for geostatistical analysis, Proceedings of Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology, Chania, Greece.
2. Hristopulos, D.T. (2003). Spartan Gibbs random field models for geostatistical applications.
3. Kavouridis, C. Foscolos, A. (2003). Land reclamation of lignite mines in the Ptolemais-Amynteon area, Macedonia, Greece. Sustainable Development Indicators In the Mineral Industries, Milos ,Greece

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το αρχείο των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή.

X	Y	AWF	X	Y	AWF	X	Y	AWF	X	Y	AWF
-8487	17491	27,08	-9011	17451	28,43	-11479	20155	27,95	-9345	18059	27,84
-9345	17759	25,54	-7623	16640	24,17	-11631	20289	26,71	-8752	16070	31,3
-9342	18328	31,64	-8791	17208	33,13	-11759	20428	32,16	-9617	17202	25,31
-10059	18184	26,12	-10186	18561	29,57	-11906	20561	27,76	-9914	17495	28,43
-10383	18427	30,11	-12461	18012	30,23	-11354	17163	30,14	-10202	18333	26,22
-10630	18745	26,38	-11643	20570	26,23	-11445	19047	30,63	-10489	18612	26,27
-11110	19425	30,89	-9641	19205	33,74	-15154	18978	30,56	-11064	20292	30,45
-11177	21330	32,06	-11346	19717	28,79	-10452	19147	28,39	-11347	18867	30,73
-11504	20704	30,75	-11363	20288	31,52	-10982	19839	28,42	-11834	21628	32,37
-11702	19928	30	-11700	21043	38,46	-11053	16598	29,21	-12175	19407	26,46
-11698	21187	33,64	-11763	20975	30,99	-11310	16913	28,81	-15560	19127	30,36
-11711	21309	30,44	-15723	18019	38,43	-11603	17182	28,56	-8471	16910	31,3
-11775	20711	29,11	-11332	18024	28,95	-13044	19419	29,36	-9929	18305	26,39
-11775	21260	37,04	-12276	17629	28,59	-13603	18568	29,86	-10729	16624	26,14
-11829	21183	35,55	-14181	19124	28,63	-13875	18570	25,49	-10778	20011	27,18
-11886	17174	25,94	-10073	19023	27,87	-15173	17662	36,36	-10812	21108	39,14
-11915	20277	26,43	-10930	14901	38,54	-16304	18288	35,05	-11055	19433	31,84
-11916	21238	34,31	-11899	18018	30,62	-9076	16326	32,4	-11585	19960	26,96
-12678	17801	32,32	-14262	18454	32,47	-9895	17146	27,5	-11761	19298	29,77
-12750	18858	29,72	-14741	18568	32,17	-9062	17773	28,78	-13451	18143	30,9
-10176	17202	26,64	-14948	18135	35,33	-9308	18813	28,21	-10497	21187	35,92
-10468	17482	27,41	-15022	19113	31,53	-9336	16632	29,45	-11021	20529	36,61
-10491	19735	26,97	-15163	19259	29,08	-9769	17903	31,45	-11212	18478	28,07
-11480	19583	30,15	-15303	18809	28,29	-9906	18016	26,95	-11894	19429	23,51
-11489	21254	27,4	-15452	18344	33,4	-10061	17901	27,31	-12745	18570	24,45
-11542	21328	30,09	-15520	18238	37,4	-10192	17478	27,26	-8323	16552	29,61
-11579	20630	33,07	-12035	18487	28,95	-10202	17778	26,2	-8768	17774	29,88
-11632	19717	28,04	-13323	19145	23,49	-10507	21714	31,04	-8799	18322	30,17
-8832	17549	29,79	-14155	18271	31,17	-13877	17983	30,12	-9166	18114	26,07
-8924	17911	32,09	-14447	18543	27,13	-9038	15782	25,28	-9637	18609	30,37
-13287	17699	32,99	-14743	18827	26,25	-9933	21165	38,47	-9925	18882	32,88
-13588	17996	34,45	-10208	18878	27,03	-7878	15781	33,48	-10348	19593	32,87
-13324	19424	26,93	-12613	19007	26,55	-8650	17904	28,97	-10488	19444	28,01
-9339	16355	28,47	-13032	18848	26,83	-9026	14639	28,52	-11012	16336	37,31
-9837	18398	29,72	-13313	18291	30,52	-9595	18864	29,04	-11196	20426	31
-9897	16917	28,48	-13619	19417	22,13	-9602	15220	27,93	-11433	20768	30,38
-10703	16053	30,8	-15306	19403	26,77	-9615	16911	30,04	-11480	20427	29,47
-10778	19153	31,07	-15431	18969	32,91	-10526	17723	25,93	-11593	16890	28,28
-10798	19419	27,64	-15560	19400	30,48	-10887	19044	31,26	-9047	18338	28,12
-11327	16635	29,59	-16027	18574	31,32	-10899	18167	28,82	-9340	18612	28,75
-11748	17612	29,6	-10458	16045	32,99	-11045	18274	25,59	-9623	18341	29,04
-10204	19170	34,3	-10622	19309	29,84	-11348	20000	25,67	-9909	18619	27,89
-10777	19724	29,94	-10877	19615	34,75	-11492	20953	30,33	-10056	18472	28,46
-11848	18636	27,7	-11415	20219	28,64	-9345	18059	27,84	-11006	19503	30,64



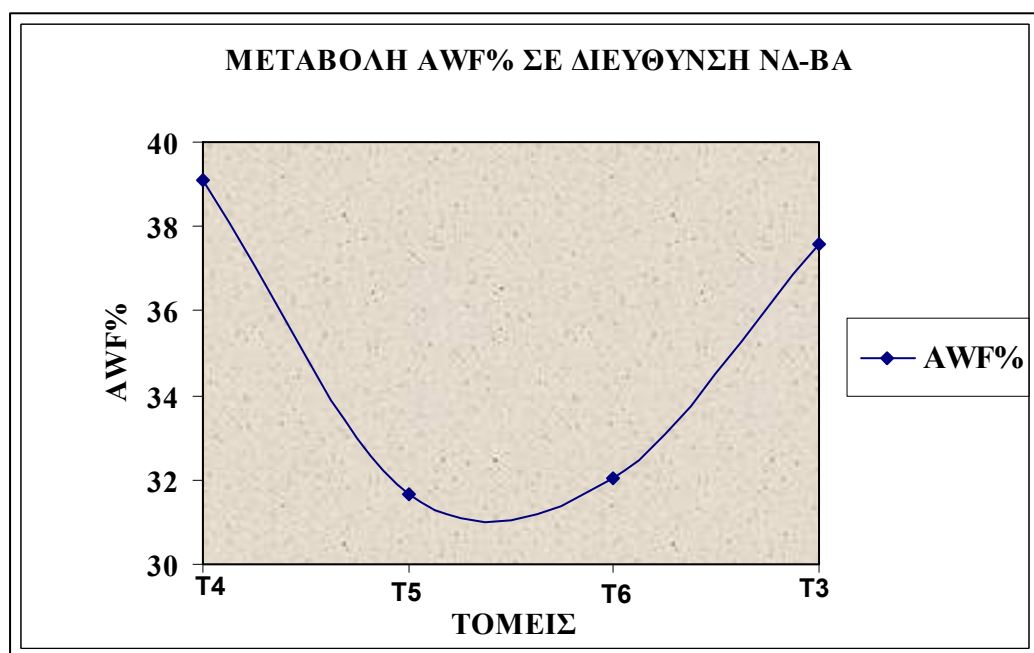
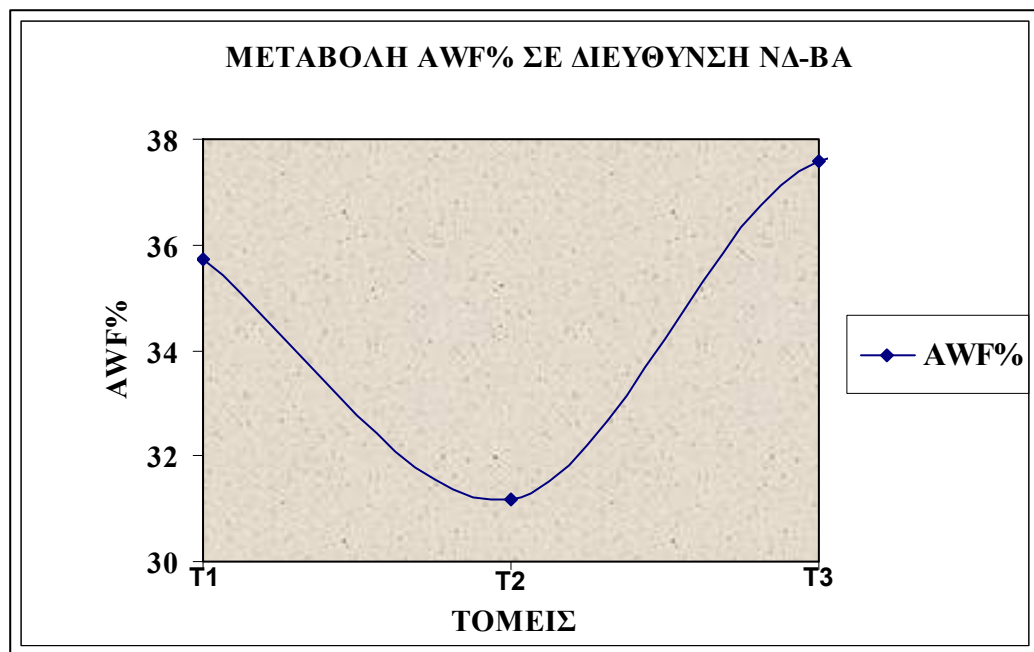
X	Y	AWF	X	Y	AWF	X	Y	AWF	X	Y	AWF
-11020	17472	32,81	-11184	17610	34,34	-10491	18874	29,63	-10708	19803	32,07
-11039	17167	28,14	-11469	17886	28,24	-11302	17744	27,59	-13641	18321	31,61
-11344	19443	27,3	-12757	19148	28,05	-11719	18765	27,87	-7173	18813	0
-11605	18590	28,83	-14175	18840	28,48	-11910	19721	29,37	-7621	17227	36,6
-11774	20132	25,22	-12753	17691	31,27	-12905	19210	25,82	-8483	18070	30,68
-11864	16300	30	-12868	17622	32,55	-8996	18503	30,73	-10454	16914	29,44
-11908	18868	28,44	-13151	17887	29,84	-10193	16174	30,28	-10589	16486	31,38
-12172	18585	25,94	-9048	18061	29,71	-10616	17610	29,2	-10733	17756	28,03
-12190	19145	27,52	-9900	16626	27,33	-10632	18456	25,04	-10817	23603	
-12330	19290	27,23	-10139	16331	33,52	-10733	16923	29,88	-11057	20843	33,4
-12481	19420	30,05	-11277	17430	32,22	-10898	16761	30,08	-11104	21126	30,81
-12609	18724	25,67	-11919	19998	29,42	-10955	17838	27,99	-11337	20569	30,88
-13482	19020	27,11	-12549	17931	32,44	-11318	18314	28,73	-11345	21135	35,07
-9917	19167	29,08	-13036	18297	29,6	-11468	18453	21,77	-8759	16921	30,25
-9870	19426		-13881	18273	31,72	-11888	18309	29,9	-9050	16633	27,6
-10073	19314	26,09	-11580	17727	31,69	-12030	17322	30,09	-9335	17488	30,2
-10215	19737	32,38	-14014	18419	33,08	-8864	18123	27,41	-9633	17769	26,31
-10637	19877	30,72	-8992	19490	42,03	-9212	19038	31,62	-9798	16599	28,32
-11022	15476		-10796	18729	29,23	-9891	15491	24,88	-10770	18332	27,88
-11201	20144	30,36	-12911	19017	26,98	-9908	17760	28,07	-11032	18035	29,44
-11210	21261	37,51	-13035	19142	27,79	-11213	21019	30,92	-11202	19019	25,03
-11341	21408	40,62	-13178	19282	23,67	-12453	18297	29,2	-11597	18032	26,92
-9054	17204	27,49	-13574	18868	24,62	-12756	17432	30,05	-12173	18009	27,77
-10207	19455	26,5	-13903	19133	21,64	-12954	17767	31,16	-12460	17729	30,89
-10230	20890	35,56	-12326	18735	27,47	-13317	17971	31,14	-12748	18012	30,01
-10771	18888	32,39	-12470	18871	26,72	-8530	15782	23,75	-10354	20156	29,52
-10914	20720	34,54	-13316	18568	25,6	-8774	15503	23,09	-10474	18056	26,18
-10950	18779	29,85	-8193	16076	25,98	-9635	18051	33,51	-10509	20568	34,24
-11055	19166	28,53	-8481	16342	23,74	-9782	19033	29,41	-11069	18621	26,04
-11629	21116	38,77	-8758	16625	21,3	-10163	16058	30,32	-11197	19311	29,37
-11975	21630	35,88	-9339	17199	28,23	-10448	16342	28,47	-11628	19169	27,55
-11981	21756	34,76	-9622	17484	27,44	-11024	16900	28,23	-7168	16535	30,47
-12330	19007	25,69	-10346	17912	27,44	-11606	17465	24,31	-10793	20285	37,78
-15034	18526	29,95	-10630	18176	29,6	-11896	17736	26,32	-11061	20011	24,19
-15090	18745	29,94	-11642	19459	28,28	-12317	17371	31,46	-12160	16633	36,99
-10776	18600	31,05	-14507	19205	28,44	-8208	17794	27,29	-12447	19182	27,69
-11791	21150	31,39	-14838	18438	32,48	-9302	15497	25,85	-14740	19128	29,27
-13732	18424	30,38	-14996	18026	38,77	-9302	16071	25,22	-12177	18302	29,48
-14451	18840	31,96	-15026	19399	29,58	-9493	18755	24,88	-12751	19429	26,48
-9905	15996	30,76	-10755	17465	26,98	-9608	15773	24,66	-14162	18556	33,38
-10535	18335	29,97	-14750	19418	25,08	-9615	16346	29,23	-15298	18547	35,14
-11856	20898	31,32	-12181	17494	26,13	-10183	16901	27,04	-11042	17748	26,1
-13889	18854	28,31	-8871	15982	29,07	-10479	17185	35,18	-11615	18308	24,84
-14473	19445	32,42	-10470	16661	26,57	-10586	18987	30,17	-11892	19156	25,81

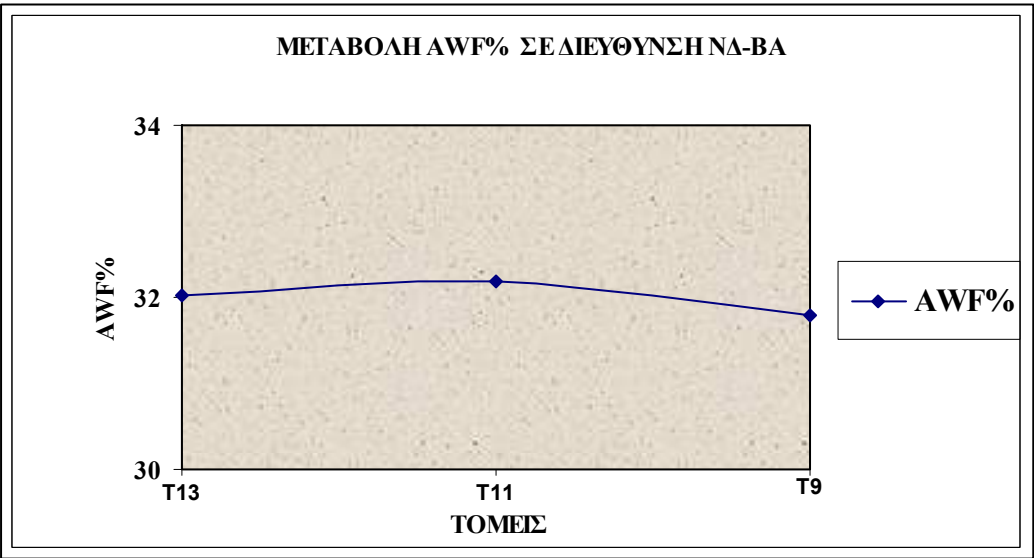
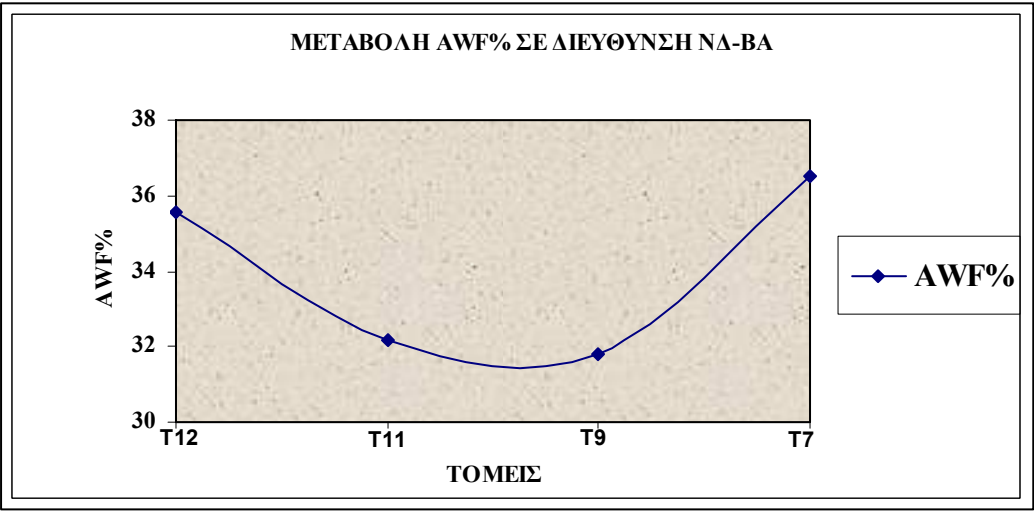
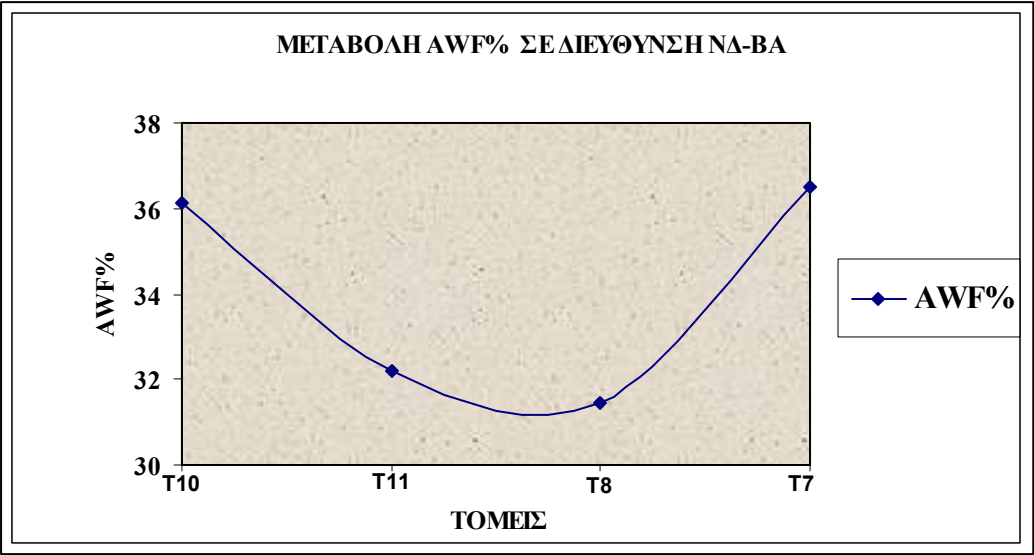
X	Y	AWF	X	Y	AWF	X	Y	AWF
-10348	19023	29,83	-8515	19766	36,79	-13863	17723	27,13
-11358	20851	39,67	-8998	20510	41,23	-13989	16987	31,41
-11608	16043	30	-9067	19182	34,3	-13449	18722	25,46
-11773	21397	28,94	-9943	20605	39,07	-14539	18618	30,53
-11836	21479	30,66	-10225	20279	33,13	-14088	19257	27,79
-11887	21710	34,06	-12890	15945	36,34	-9019	20325	41,49
-11626	21682	39,84	-14572	16425	29,72	-9359	20597	32,39
-12183	18865	32,44	-7596	20470	0	-10202	21447	35,49
-12458	18584	30,37	-7998	20510	0	-10780	21997	31,12
-7747	14757	37,04	-8003	19505	0	-11109	19693	27,07
-10195	18037	28,61	-8163	15514	29,32	-11218	19871	27,18
-11065	18880	25,14	-9658	20859	35,68	-14300	18700	30,52
-13104	16930	34,6	-7781	16241	28,32	-11820	20155	29,78
-9889	16347	25,44	-7855	14673	29,79	-14315	19290	28,25
-10180	16634	30,81	-8186	16630	29,11	-14321	19317	23,07
-10722	17187	23,55	-9044	16923	30,23	-12042	19016	28,47
-11555	18848	24,81	-10552	20020	34,55	-14369	19020	29,1
-11837	20943	28,27	-11260	18521	26,93	-9022	15219	27,43
-11630	19384	26,71	-12616	19283	29,16	-11444	19303	32,25
-13891	17377	39,02	-6586	15987	28,83	-11720	18999	27,8
-13897	19416	23,4	-7634	17787	33,13	-12634	17208	28,12
-14984	19191	27,76	-7902	16914	28,16	-13731	18731	27,52
-15874	19163	36,14	-7926	18078	36,39	-14025	18713	31,05
-15955	18654	27,57	-8189	16917	33,29	-13176	18710	26,38
-11537	21680	39,42	-8207	18354	31,38	-14050	19285	27,07
-11989	17012	30,63	-8500	18636	32,76	-14179	19412	23,83
-13320	18847	27,34	-8805	19484	37,01	-16056	18737	35,45
-13452	18405	26,05	-9327	19464	28,49	-16317	17897	34,07
-14446	17718	38,08	-9646	19742	35,07	-12046	20142	26,39
-13696	19228	26,4	-9926	20059	32,22	-12052	19574	26,05
-14430	18323	32	-10834	20884	33,7	-12061	19856	25,92
-15014	18271	33,37	-11484	21967	32,59	-13168	19566	27,91
-15025	18858	31,91	-8792	20004	29,54	-13192	19842	26,42
-11340	19155	27,61	-9081	19768	30,68	-13335	19696	23,38
-11889	17457	30,47	-9218	20459	40,16	-13342	19989	24,62
-12187	17735	34,3	-9309	20042	35,43	-13484	19569	23,86
-12452	17448	30,54	-9654	20292	34,36	-13482	19838	28,48
-12746	18300	31,81	-10161	14635	30,71	-13506	20008	21,9
-13030	18005	26,92	-10744	15221	30,03	-13740	20114	26,07
-13034	18569	26,6	-10828	21414	32,96	-13893	19692	21,92
-10762	18035	23,95	-11062	21693	38,67	-13996	20003	25,32
-11334	18588	32,37	-11308	15760	32,6			
-11220	19584	27,2	-12418	16317	33,38			
-8501	19202	37,11	-12898	16949	29,18			

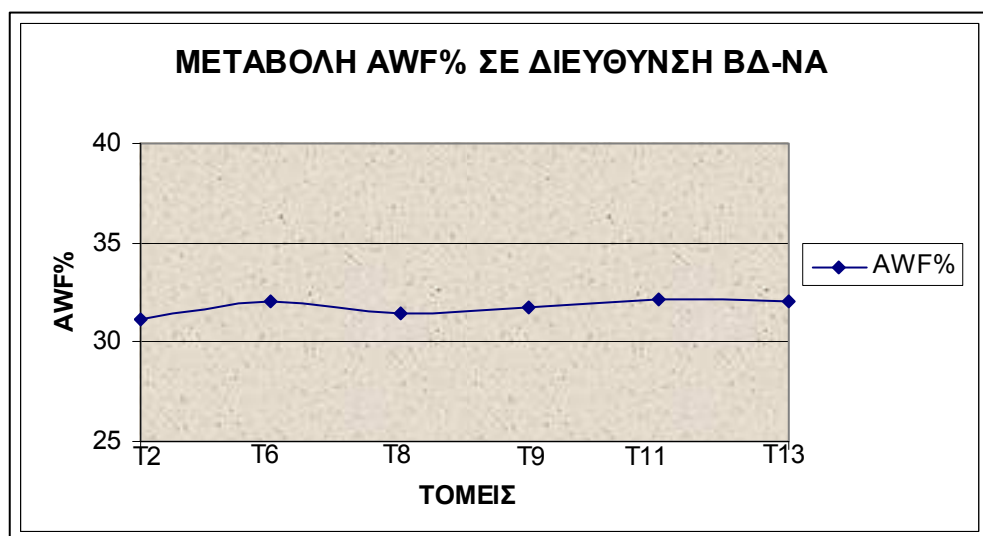
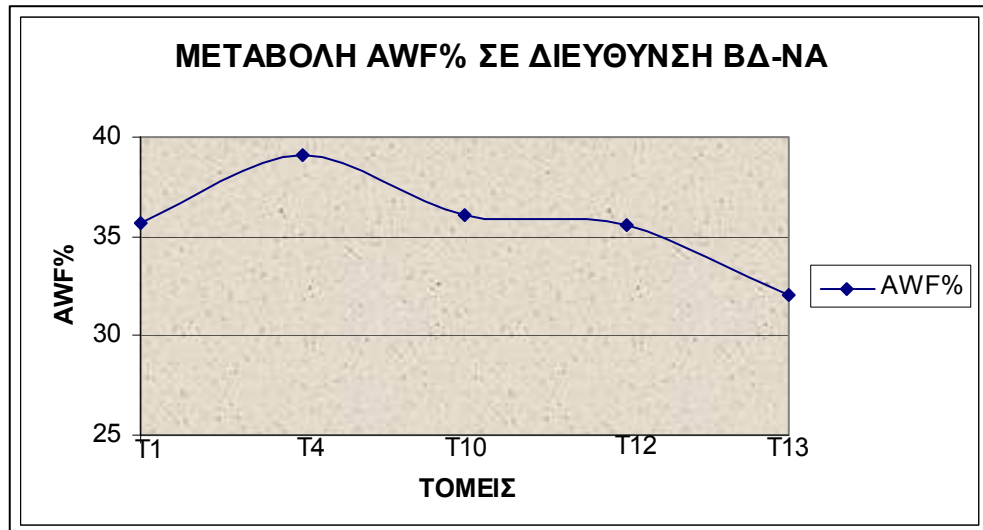
Ο συνολικός αριθμός των γεωτρήσεων είναι 480 από τις οποίες θετικές είναι οι 473.

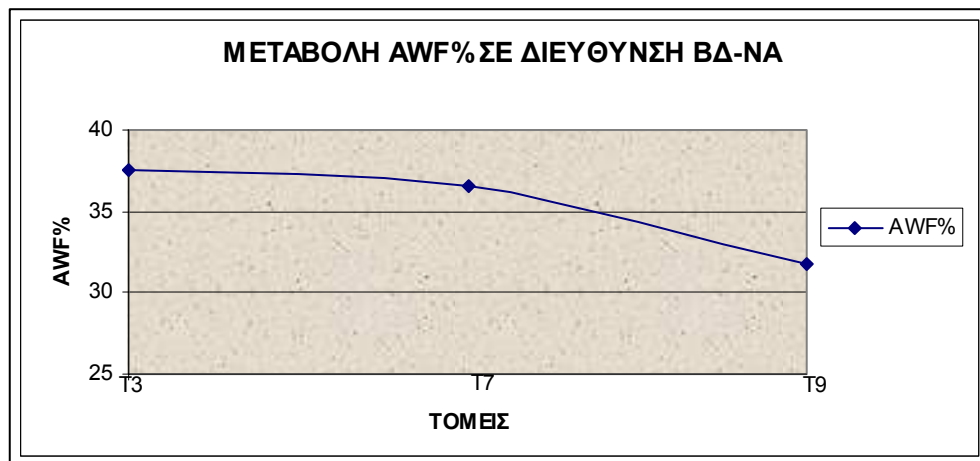
Παρακάτω παρατίθενται τα σχήματα που δείχνουν τη μεταβολή της μέσης τιμής της τέφρας από τομέα σε τομέα στις δύο κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων ΝΔ-ΒΑ και ΒΔ-ΝΑ και για τις δύο μεθόδους.

- Χωρίς την επίδραση των ρηγμάτων:









- Με την επίδραση των ρηγμάτων:

