

Πρακτική εκτίμησης ορυκτών πόρων και αποθεμάτων κοιτασμάτων βιομηχανικών ορυκτών



ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΠΑΓΕΡΙΔΗΣ, PhD CEng CSci MIMMM QMR

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ



Γενικά



- ▶ Οι μέθοδοι εκτίμησης, οι διαδικασίες, και οι αρχές που εφαρμόζονται για την προετοιμασία των εκτιμήσεων Ορυκτών Πόρων σε κοιτάσματα βιομηχανικών ορυκτών είναι παρόμοιες με αυτές που εφαρμόζονται στα μεταλλικά κοιτάσματα.
- ▶ Μια βασική διαφορά ως προς τα κοιτάσματα βιομηχανικών ορυκτών βρίσκεται στην κατανόηση ότι πέρα από το τονάζ και την περιεκτικότητα, θα υπάρχουν και άλλα κριτήρια που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την εκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας του κοιτάσματος.
- ▶ Τα κριτήρια αυτά σχετίζονται κυρίως με τις διάφορες φυσικές και χημικές ιδιότητες του κοιτάσματος που είναι βασικές για την οικονομική αξία των προϊόντων του.
- ▶ Συχνά, ο τύπος και η ποιότητα ενός προϊόντος βιομηχανικού ορυκτού μπορεί να επηρεάσει την επιλογή των μεθόδων διάτρησης και δειγματοληψίας, το είδος των αναλυτικών πληροφοριών που συλλέγονται, και την επιλογή των αναλυτικών μεθόδων.



Παράγοντες για την εκτίμηση ορυκτών πόρων

Οι ιδιότητες μιας εμφάνισης βιομηχανικού ορυκτού μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ κοιτασμάτων του ίδιου τύπου ή ακόμα και εντός του ίδιου κοιτάσματος. Σε αυτές περιλαμβάνονται:

- ▶ Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του ορυκτού και ο εμπλουτισμός του σε τελικό προϊόν,
- ▶ Η τιμή και η χωρική σχέση αυτών των ιδιοτήτων εντός του κοιτάσματος,
- ▶ Η σχέση των ιδιοτήτων του ορυκτού ως προς τις απαιτήσεις της αγοράς.

Μια ομαδική εργασία



- ▶ Η εκτίμηση ορυκτών πόρων και ακόμα περισσότερο η εκτίμηση αποθεμάτων είναι μια διαδικασία που πρέπει να συμπεριλαμβάνει ανθρώπους από διαφορετικές ειδικότητες και με διαφορετικές γνώσεις.
- ▶ Η εκτίμηση κοιτασμάτων βιομηχανικών ορυκτών δεν διαφέρει ως προς αυτή την ανάγκη σε σχέση με άλλους τύπους κοιτασμάτων.
- ▶ Συχνά, λόγω αντικειμενικών περιορισμών σε προσωπικό, και σε γνώσεις χειρισμού ειδικών λογισμικών, η εκτίμηση εκπονείται από ένα άτομο το οποίο καλείται να καλύψει το αντικείμενο αυτό από όλες τις πλευρές του.

- ✓ **Καλή επικοινωνία**
- ✓ **Κοινή λογική**
- ✓ **Διαφάνεια**



“A geologist, a mining engineer, and a metallurgist walk into a bar....”

Εξάρτηση από τα δεδομένα

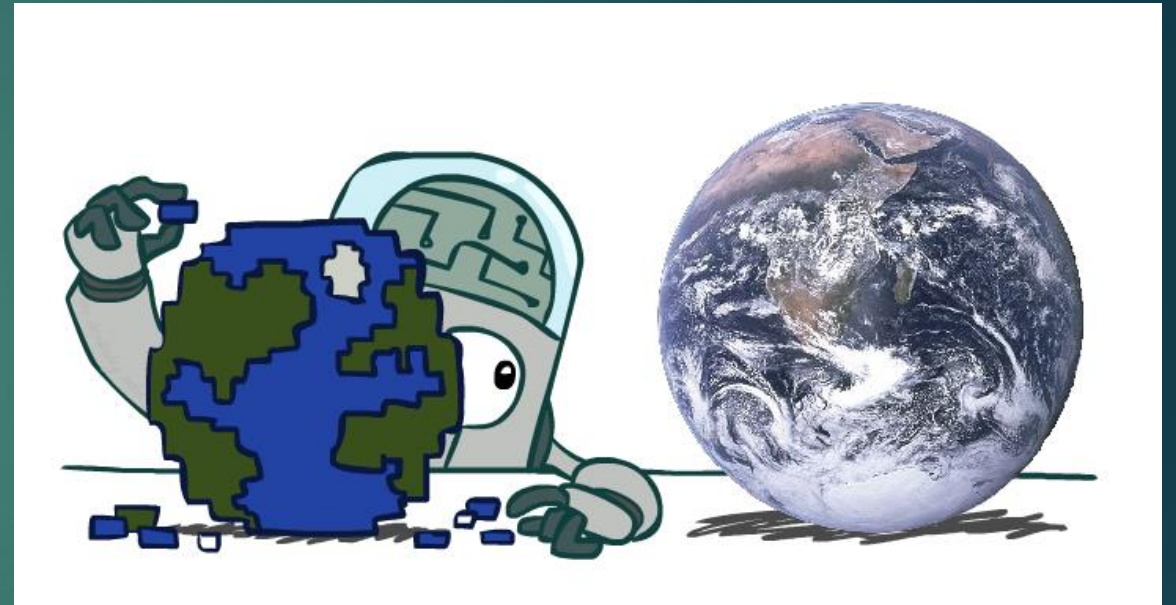


- ▶ Η επιλογή της μεθόδου εκτίμησης αλλά και των επιμέρους παραμέτρων που την διαμορφώνουν εξαρτάται από την ποσότητα, την ποιότητα και την τυποποίηση των διαθέσιμων δεδομένων.
- ▶ Ακόμα μεγαλύτερη εξάρτηση από τα παραπάνω εμφανίζουν τα αποτελέσματα της εκτίμησης ορυκτών πόρων – όσο προχωρημένη, πολύπλοκη ή αξιόπιστη μπορεί να θεωρείται μια μέθοδος εκτίμησης, τα αποτελέσματά της θα είναι πάντα απόλυτα εξαρτημένα από την ποσότητα και την ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων.
- ▶ Επομένως, το ζητούμενο είναι να γίνει η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των διαθέσιμων δεδομένων, ενώ παράλληλα να αναγνωριστούν και να καταγραφθούν οι περιορισμοί που επιβάλλουν στην ποιότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Εκτίμηση = μοντέλο \neq πραγματικότητα










- ▶ Κάθε διαδικασία εκτίμησης βασίζεται σε ένα μοντέλο ορυκτών πόρων του κοιτάσματος το οποίο ενσωματώνει τις διαθέσιμες γνώσεις, ερμηνείες, και εμπειρίες καθώς και τα διαθέσιμα δεδομένα.
- ▶ Το μοντέλο είναι μια **απλοποίηση** της πραγματικότητας που πρέπει να έχει τόση λεπτομέρεια όση είναι απαραίτητη για το **μεταλλευτικό σενάριο** που έχει υιοθετηθεί, και όση επιτρέπει η **πυκνότητα δειγματοληψίας** και η **συνέχεια των μεταβλητών εκτίμησης**.



Ο βαθμός λεπτομέρειας του μοντέλου εξαρτάται επίσης από το επίπεδο της μελέτης και τον απαιτούμενο βαθμό εμπιστοσύνης ως προς τα αναφερόμενα αποτελέσματα.



Criteria Technical & Economic Studies

 Study	Preliminary Economic Assessment (PEA)	Prefeasibility Study (PFS)	Feasibility Study (FS)
 Concept	“What it could be”	“What it should be”	“What it will be”
 Objective	Early stage conceptual assessment of the <i>potential economic viability</i> of mineral resources	Realistic economic and engineering studies sufficient to <i>demonstrate economic viability</i> and establish mineral reserves	Detailed study of how the mine will be built, used as the basis for a <i>production decision</i>
 Cost Accuracy	+/- 50%	+/- 25%	+/- 15%
 Engineering	<1%	1–5%	5–25%
 Mineral Estimate Inputs	Inferred/Indicated/Measured Resources	Indicated & measured resources	
 Mineral Estimate Outputs	Inferred/Indicated/Measured Resources	Probable & Proven Reserves	

Adapted from a March 2015 PDAC presentation by the Ontario Securities Commission and the TSX.

Στάδια εκτίμησης



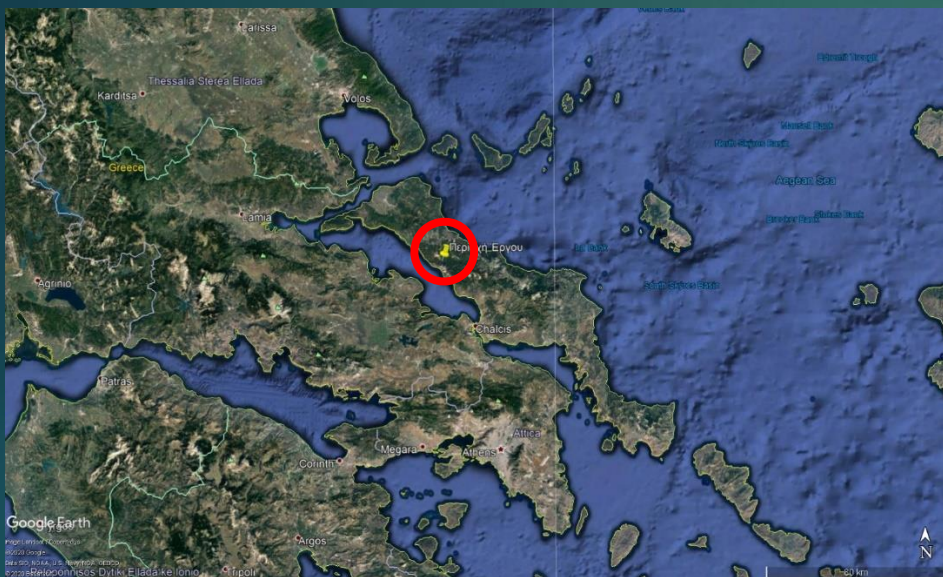
Λάθη και παραλείψεις στα αρχικά στάδια οδηγούν σχεδόν πάντα σε επανάληψη όλης της διαδικασίας!

Ένα (ίσως όχι και τόσο καλό) παράδειγμα



- ▶ Για την παρουσίαση των σταδίων εκτίμησης ορυκτών πόρων θα χρησιμοποιήσουμε ως παράδειγμα ένα κοιτάσμα μαγνησίτη.
- ▶ Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση του συγκεκριμένου κοιτάσματος δεν διαφέρει ιδιαίτερα από άλλες περιπτώσεις.
- ▶ Οι αδυναμίες του παραδείγματος αφορούν, μεταξύ άλλων:
 - ▶ Στην έλλειψη φυσικών δειγμάτων – τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν δεν μπορούν να επαληθευτούν
 - ▶ Στη διάταξη των γεωτρήσεων, η οποία δεν έχει σταθερή πυκνότητα και δεν καλύπτει ομοιόμορφα την περιοχή του κοιτάσματος
 - ▶ Στην έλλειψη ιστορικών πληροφοριών για την παραγωγή της παλαιότερης εκμετάλλευσης
 - ▶ Στο ανάγλυφο της περιοχής, το οποίο δόθηκε σε μορφή ισοϋψών ισοδιάστασης 5μ που δεν είναι επαρκής για τις ανάγκες τις εκτίμησης
 - ▶ Στην έλλειψη πληροφοριών για τα πιθανά προϊόντα της εκμετάλλευσης, τις προδιαγραφές τους, και την αξία τους

Θέση

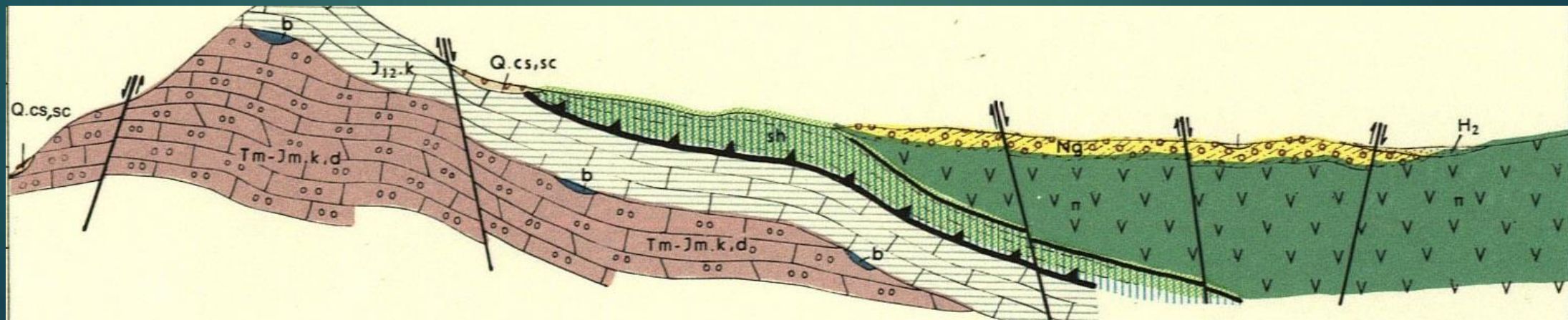
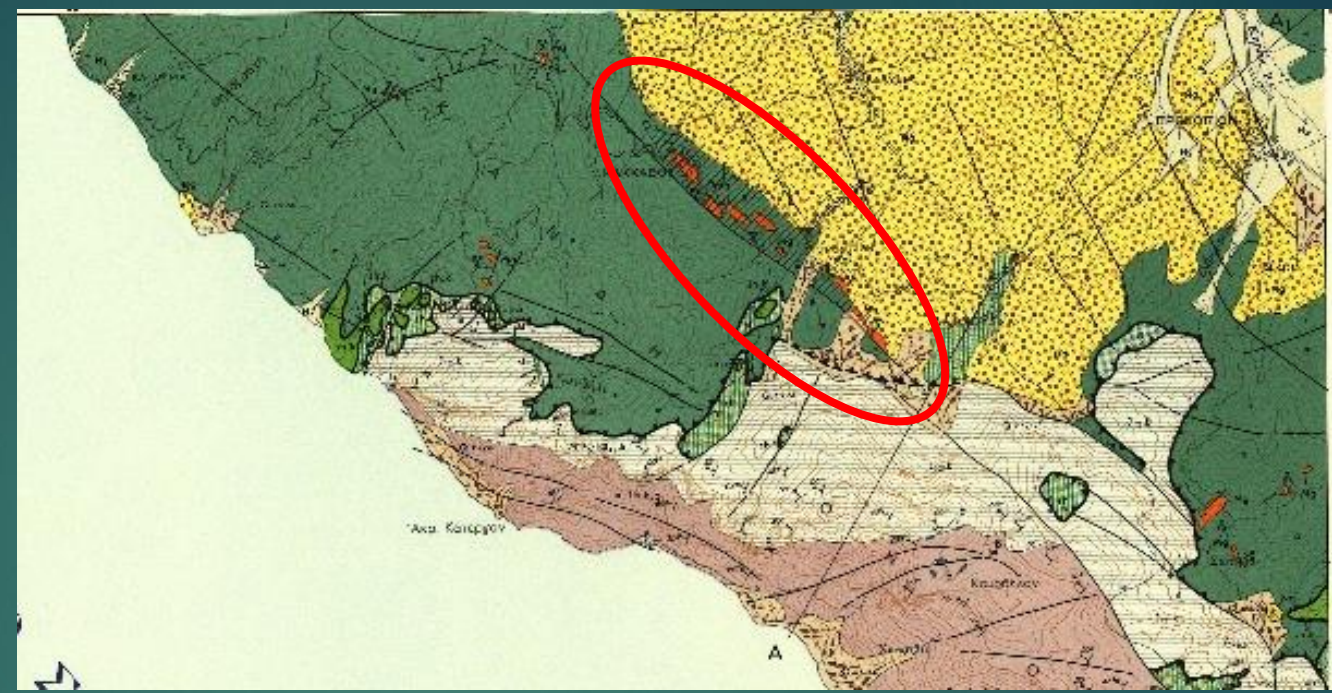
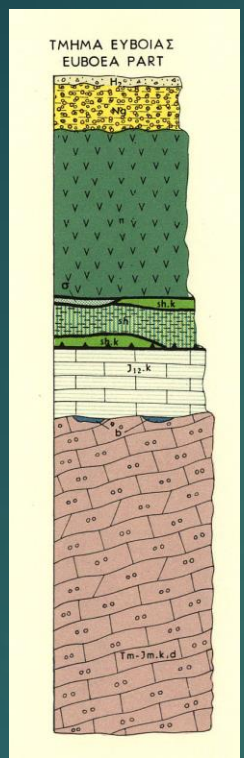


Το κοιτάσμα μαγνησίτη του παραδείγματος, βρίσκεται στη θέση Άγιος Γεώργιος του Δήμου Μαντουδίου – Λίμνης Αγ. Άννας, στην Περιφερειακή Ενότητα Ευβοίας, ΝΑ του οικισμού Τρούπι.

Στο παρελθόν, έχει προηγηθεί μερική υπαίθρια εκμετάλλευση του κοιτάσματος, ενώ κοντά του στα ΒΑ βρίσκονται και άλλες υπαίθριες εκμεταλλεύσεις.

Η επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή του κοιτάσματος βρίσκεται σε υψόμετρο 200-350μ, σε περιοχή με πυκνή θαμνώδη και δασική κάλυψη, και έντονη παρουσία επιφανειακών υδάτων.



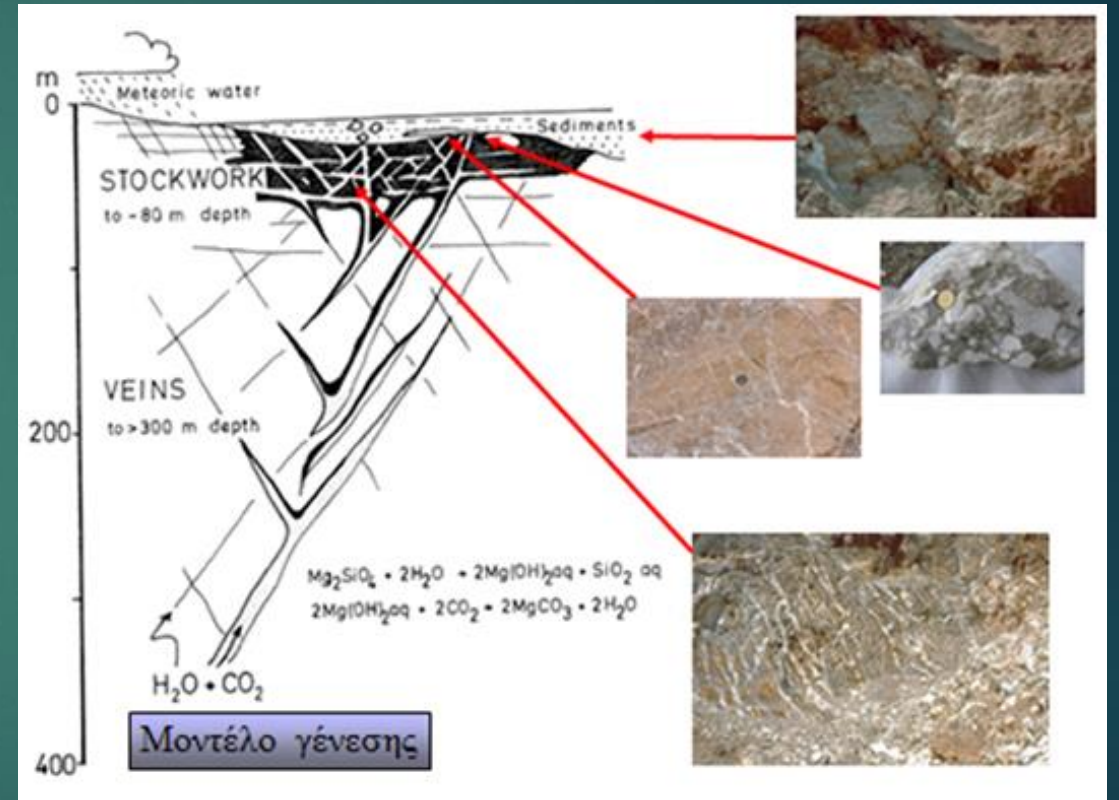


Χαρακτηριστικά



Στο κοίτασμα του παραδείγματος αναγνωρίζονται τρεις τύποι μεταλλοφορίας:

- ▶ η κύρια μεταλλοφορία,
- ▶ τα σύμμικτα,
- ▶ και μεταλλοφορία stockwork.



Pohl, W. (1990) Genesis of Magnesite Deposits – Models and Trends. Geol. Rundschau, 79, 2, 291-299.

Διαθέσιμα* δεδομένα



Γεωτρητικά

Για τους σκοπούς της μελέτης, έγιναν διαθέσιμα τα δεδομένα **487** γεωτρήσεων μέσω αρχείων συμβατών με Microsoft Excel. Τα δεδομένα αυτά περιλάμβαναν τις εξής παραμέτρους:

- ▶ **Στοιχεία Κολάρου Γεώτρησης:** Κωδικός γεώτρησης, συντεταγμένες Χ, Υ κολάρου γεώτρησης στο σύστημα ΕΓΣΑ87, υψόμετρο κολάρου γεώτρησης, μήκος γεώτρησης
- ▶ **Στοιχεία Προσανατολισμού Γεώτρησης:** Κωδικός γεώτρησης, μήκος γεώτρησης, κλίση γεώτρησης, διεύθυνση γεώτρησης (αζιμούθιο)
- ▶ **Γεωλογικά και Ποιοτικά Στοιχεία Γεώτρησης:** Κωδικός γεώτρησης, αρχικό βάθος διαστήματος, τελικό βάθος διαστήματος, λιθολογία 1, ποσοστό λιθολογίας 1, λιθολογία 2, ποσοστό λιθολογίας 2, ποσοστό Mg (οπτική ανάλυση)

Τοπογραφικά

- ▶ Για τους σκοπούς της μελέτης χρησιμοποιήθηκε τρισδιάστατος χάρτης ισοϋψών της περιοχής του κοιτάσματος, ο οποίος έγινε διαθέσιμος σε μορφή αρχείου AutoCAD με ισοδιάσταση 5μ.

Γεωλογικές τομές

- ▶ Μαζί με τα γεωτρητικά και τοπογραφικά δεδομένα, δόθηκαν και ορισμένες γεωλογικές τομές καθώς και παλιός τοπογραφικός χάρτης με τις θέσεις τους.



➔ **Up** = Περιδοτίτης , Σερπεντίνης Μαύρος, Πυροξενικός

USPd = Σερπεντινιομένος περιδοτίτης

USPo = Σερπεντινιομένος ολιβινικός δουνίτης

USPd = Σερπεντινιομένος δουνίτης

USPrx = Σερπεντινιομένος πυδοξενίτης

Ud = Δουνίτης

RL = Λατερίτης

UPx = Πυροξενίτης

Usp = στείρα, σερπεντίνης

➔ **Usm** = Σύμμικτα χαμηλής ποιότητας (σερπεντίνης+10% λευκόλιθος ή 20% ή 40% λευκόλιθος)

➔ **Usmh** = Σύμμικτα υψηλής ποιότητας (σερπεντίνης + 50% ή 60% ή 70% ή 80% ή 90% λευκόλιθος)

➔ **Um** = Μαγνησίτης ή Λευκόλιθος ή φελόνι (100% λευκόλιθος)

➔ **Umwh** = Stockwork υψηλής ποιότητας (50-99%)

➔ **Umw** = Stockwork χαμηλής ποιότητας (10-49%)

TA = Προσχώσεις, φερτά ποτάμια υλικά

➔ **Sc** = Τριτογενές ή Κροκαλοπαγές

Sc Usp_rebbles = Σερπεντίνης κροκαλοπαγές

Uspd = δουνίτης ελάχιστα σερπεντινιομένος

Usep = Σηπιόληθος

QZ = Πυριτικό

Sld = Δολομίτης

SMhf = Κερατόλιθος

SMsh = Σχιστόλιθος

NR = Δεν ελήφθη καρότο

HV = Κενόν (στοά)

CAV = Κενόν

HD = Μπάζα ή φυτική γη, Τσιμέντο

Rcz = Άργιλος ή πηλός

CAV = Πλύστρα fault

SI = Ασβεστίτης, Ασβεστόλιθος

CW (weathering)

Sx αλλιώς Hyb = Λατυποπαγές: Όταν είναι στα πρώτα μέτρα (πάνω, πάνω)

SM = Αμφιβολίτης

SMrh = Φυλλήτης

SM = Μεταμορφωμένο πέτρωμα

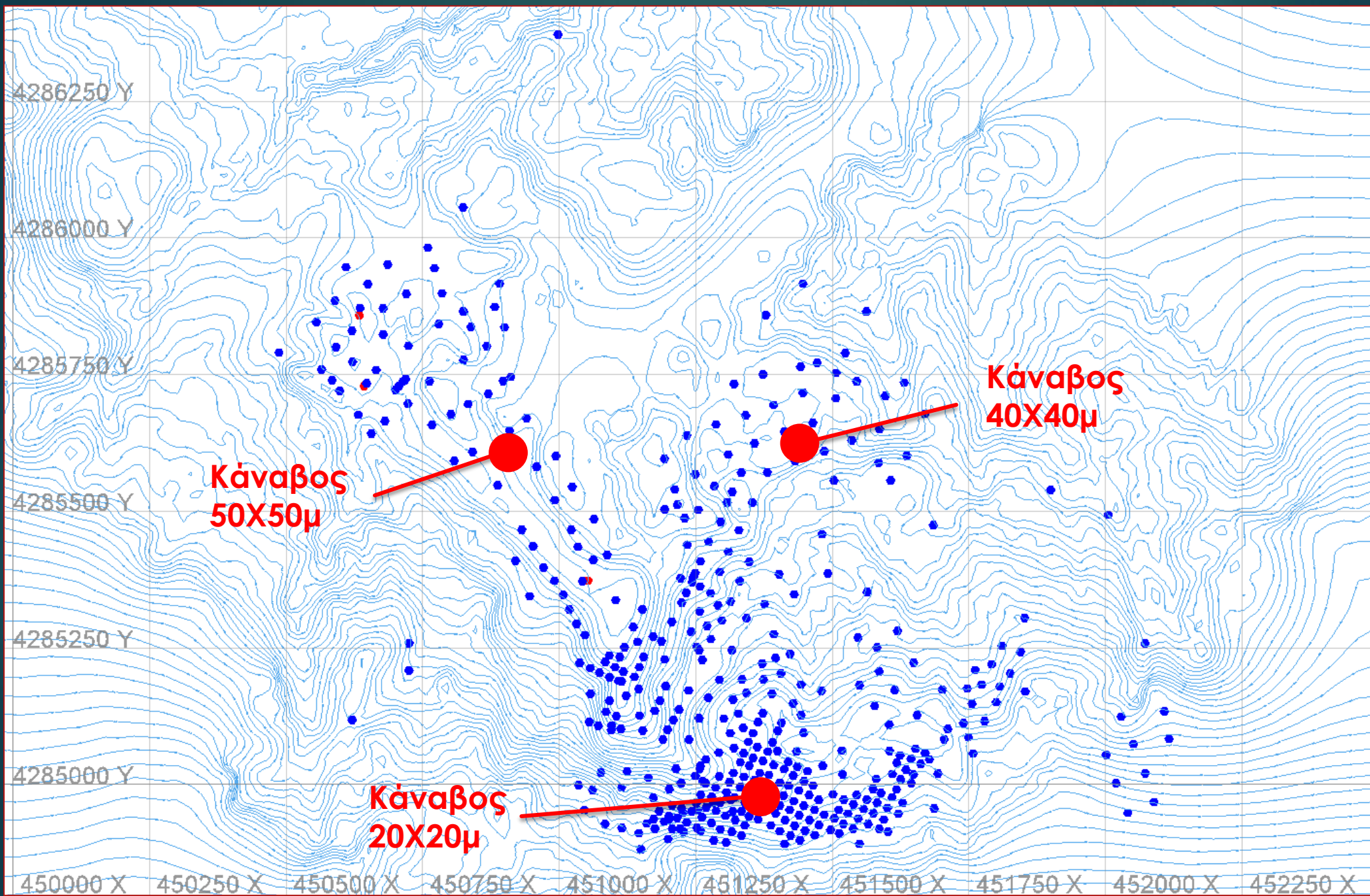
Άργιλος ρήγμα: Usp (lith1), FZ clayish infill (notes) *FZ=fracture zone*

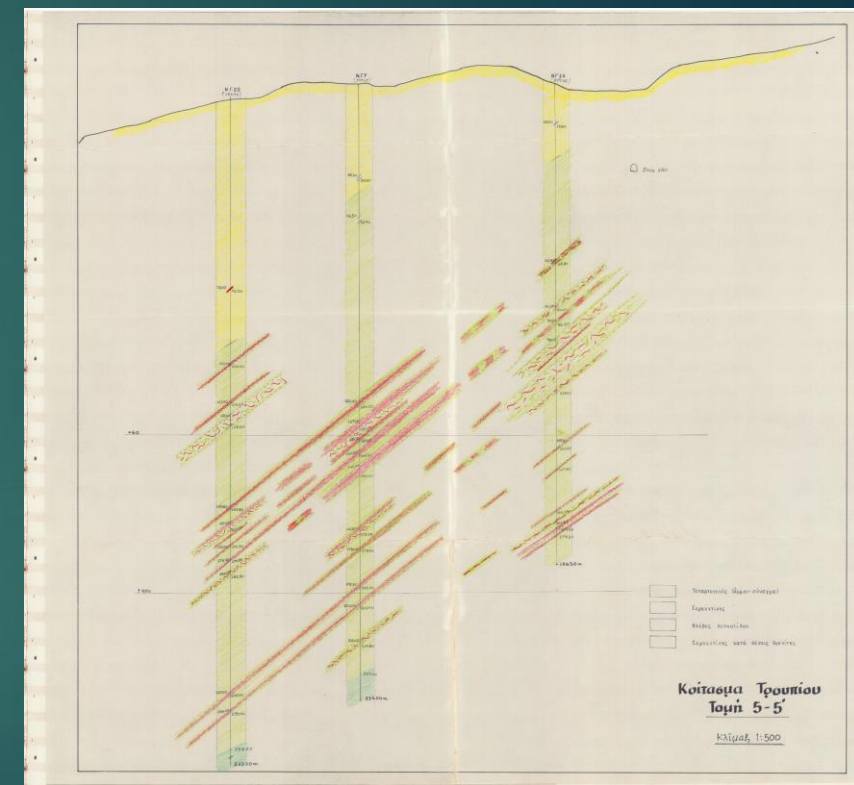
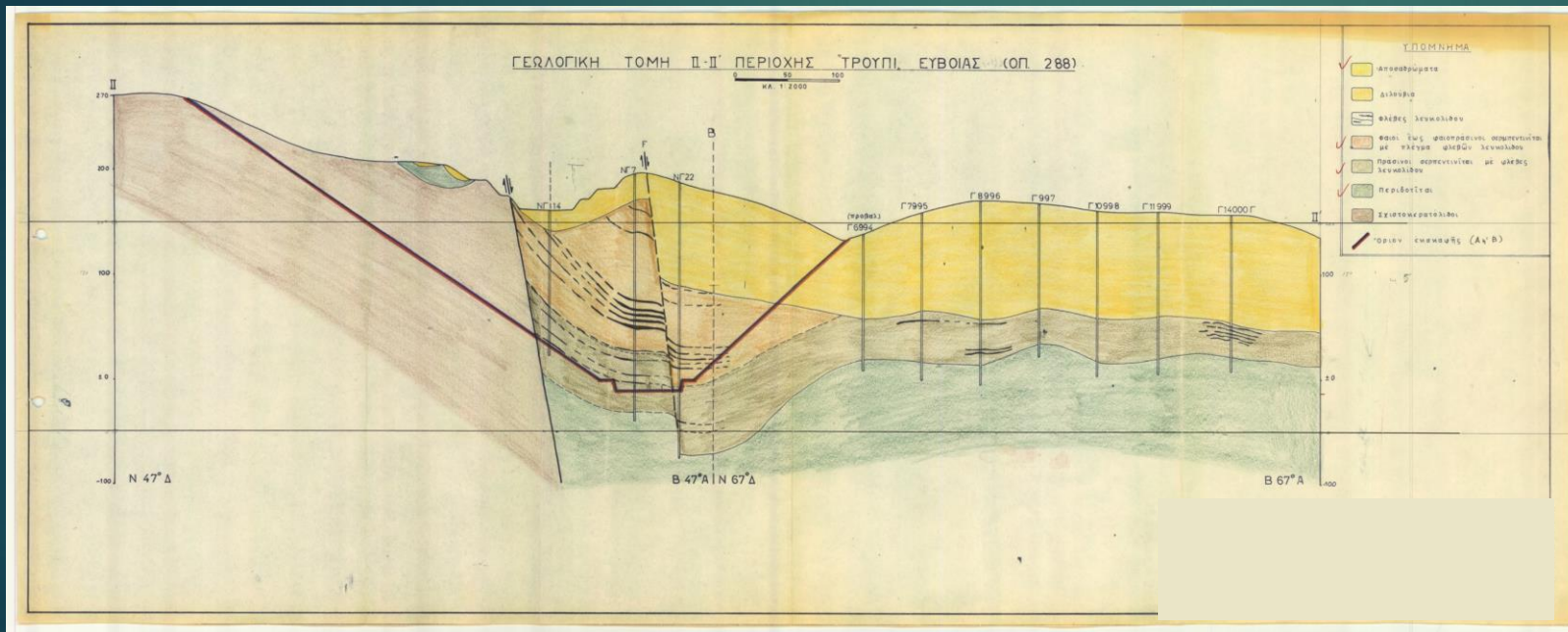
HD = Μπάζα, παλιές εργασίες

SiO2= QZ (lith1)

CaMg (CO3) 2 = Sld , δολομίτης (lith1)

Gap = Απλίτης





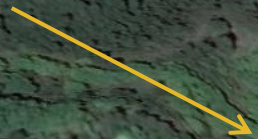
Έλεγχος – επικύρωση γεωτρητικών δεδομένων



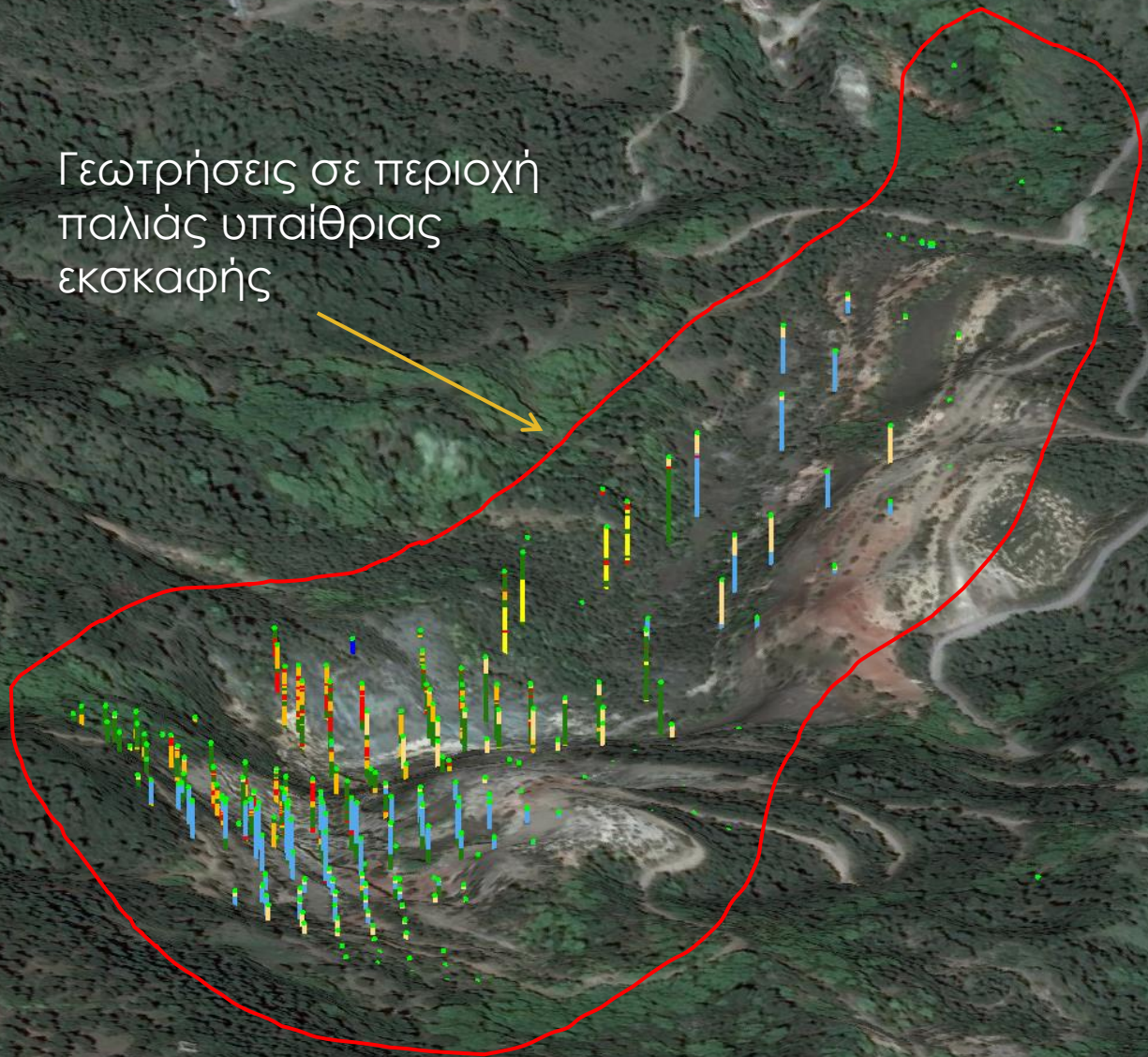
- ▶ Γεωτρήσεις με ίδιες συντεταγμένες κολάρου (διπλές)
- ▶ Γεωτρήσεις με κολάρο μακριά από την επιφάνεια
- ▶ Γεωτρήσεις χωρίς γεωλογικά και ποιοτικά στοιχεία
- ▶ Γεωτρήσεις με αναφερόμενο μήκος μικρότερο του μήκους που προκύπτει από τα γεωλογικά διαστήματα
- ▶ Διαστήματα με επικάλυψη
- ▶ Ελάχιστες και μέγιστες τιμές - όρια

Validation Specifications	
<input type="checkbox"/>	Select Database
<input type="checkbox"/>	Collar Checks
<input checked="" type="checkbox"/>	Unique Collar Location
<input checked="" type="checkbox"/>	Collar on Surface
<input type="checkbox"/>	Downhole Checks
<input checked="" type="checkbox"/>	Empty Table
<input checked="" type="checkbox"/>	Total Depth
<input checked="" type="checkbox"/>	Overlapping Intervals
	Increasing and Decreasing
	Maximum variation
	Unique Values
	Sequence
	Derived Value
<input type="checkbox"/>	Along Record Checks
	Field Sum
<input type="checkbox"/>	Individual Field Checks
<input checked="" type="checkbox"/>	Minimum and Maximum Values
	Translations
	Case Of
	Mandatory
	Expression
	Report
	Save and Run

Γεωτρήσεις σε περιοχή
παλιάς υπαίθριας
εκσκαφής



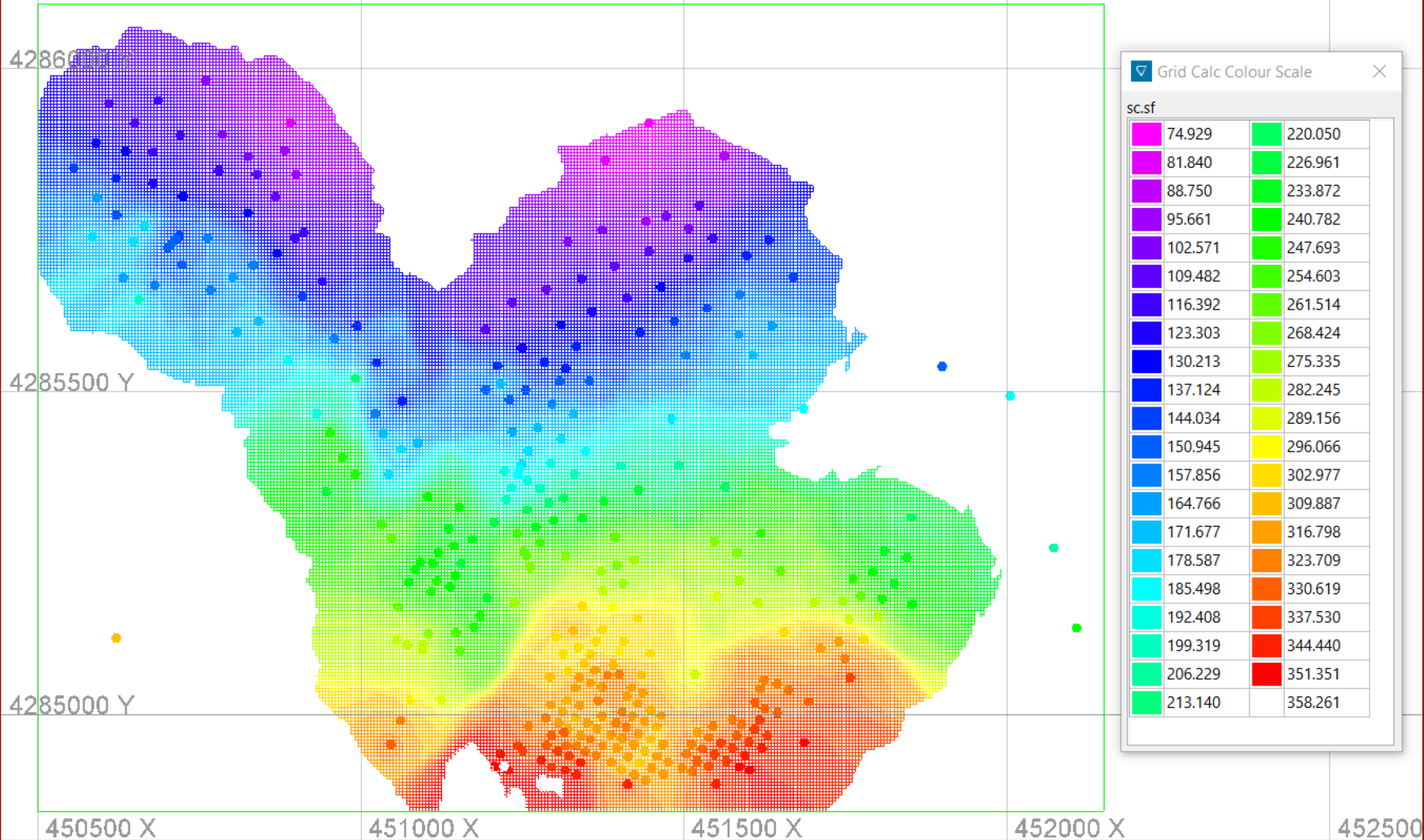
Γεωτρήσεις με λάθος
υψόμετρο κολάρου ή
λάθος Χ,Υ(;)



Μοντέλο οριοθέτησης χώρου ανάπτυξης μεταλλοφορίας



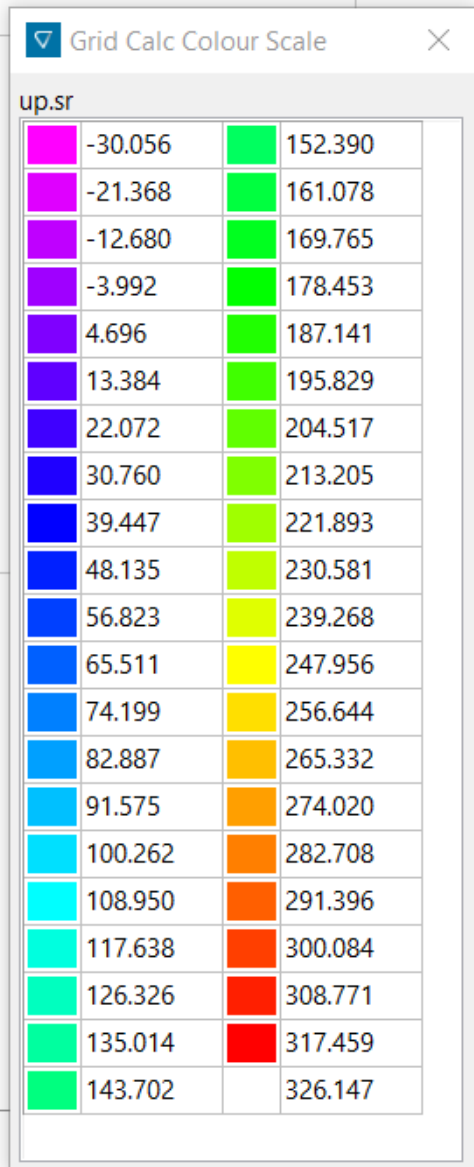
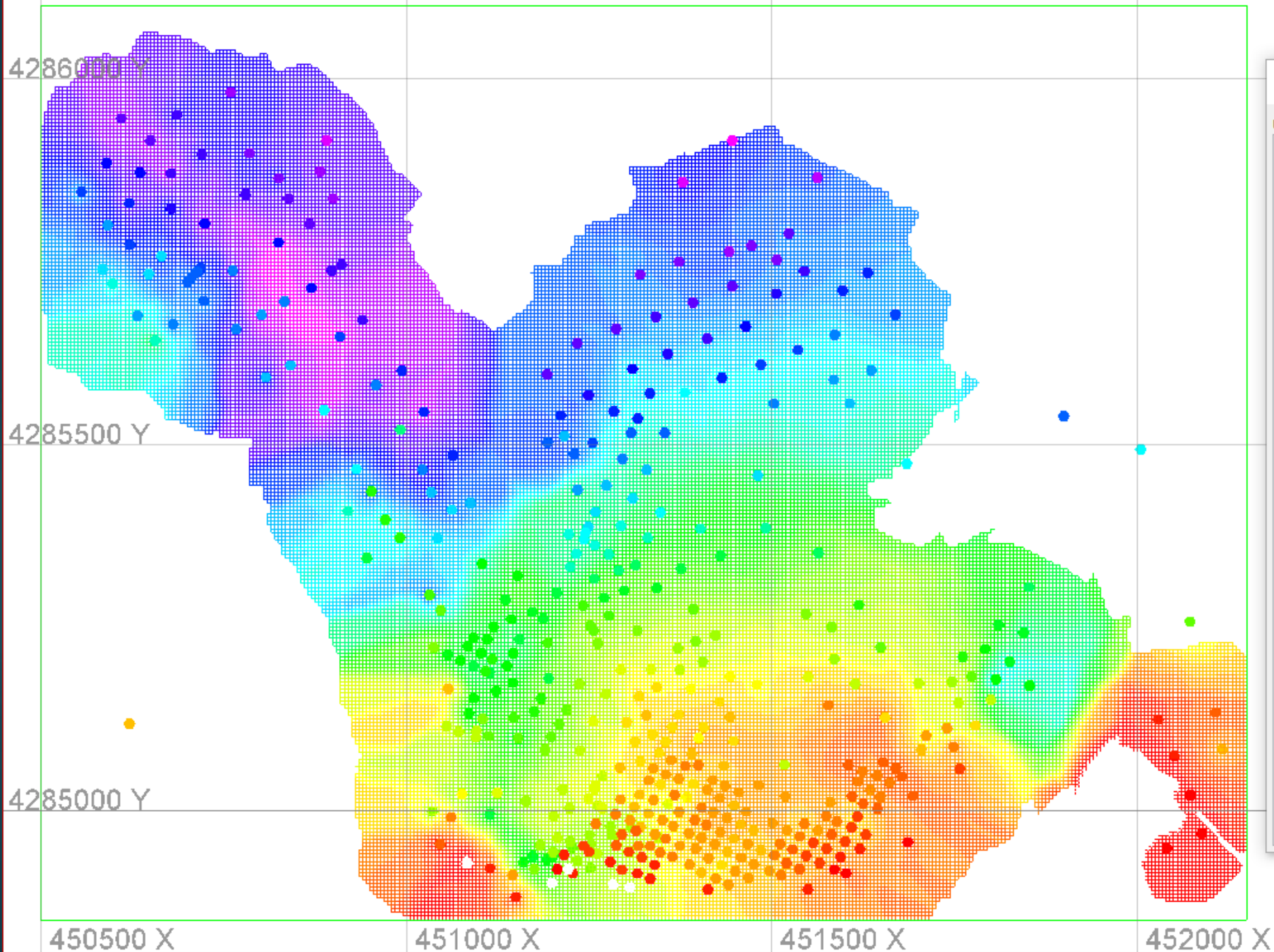
- ▶ Στο κοίτασμα μαγνησίτη της μελέτης αναγνωρίζονται τρεις τύποι μεταλλοφορίας: η **κύρια μεταλλοφορία**, τα **σύμμικτα**, και το **stockwork**.
- ▶ Η περιοχή ανάπτυξης των τριών αυτών τύπων προσδιορίζεται ως το άνω και κάτω όριο του σερπεντίνη, τα οποία μοντελοποιήθηκαν με βάση το δάπεδο των τριτογενών (Sc) και την οροφή του περιδοτίτη (Up).
- ▶ Η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε παρεμβάλλοντας τα υψόμετρα των αντίστοιχων σημείων των γεωτρήσεων σε μοντέλα πλέγματος με ανάλυση 5 x 5μ.
- ▶ Η παρεμβολή του πλέγματος οροφής του χώρου ανάπτυξης μεταλλοφορίας έγινε με τη μέθοδο kriging και ένα σύνολο 358 σημείων δαπέδου τριτογενών.
- ▶ Αντίστοιχα δημιουργήθηκε το μοντέλο πλέγματος του δαπέδου του χώρου ανάπτυξης της μεταλλοφορίας, χρησιμοποιώντας τα 436 σημεία οροφής του περιδοτίτη (Up).
- ▶ Τα μοντέλα πλέγματος οριοθετήθηκαν ως προς την επιφάνεια του τοπογραφικού ανάγλυφου, η οποία μετατράπηκε σε μοντέλο πλέγματος, ίδιας ανάλυσης και έκτασης με τα πλέγματα οροφής και δαπέδου, για το σκοπό αυτό

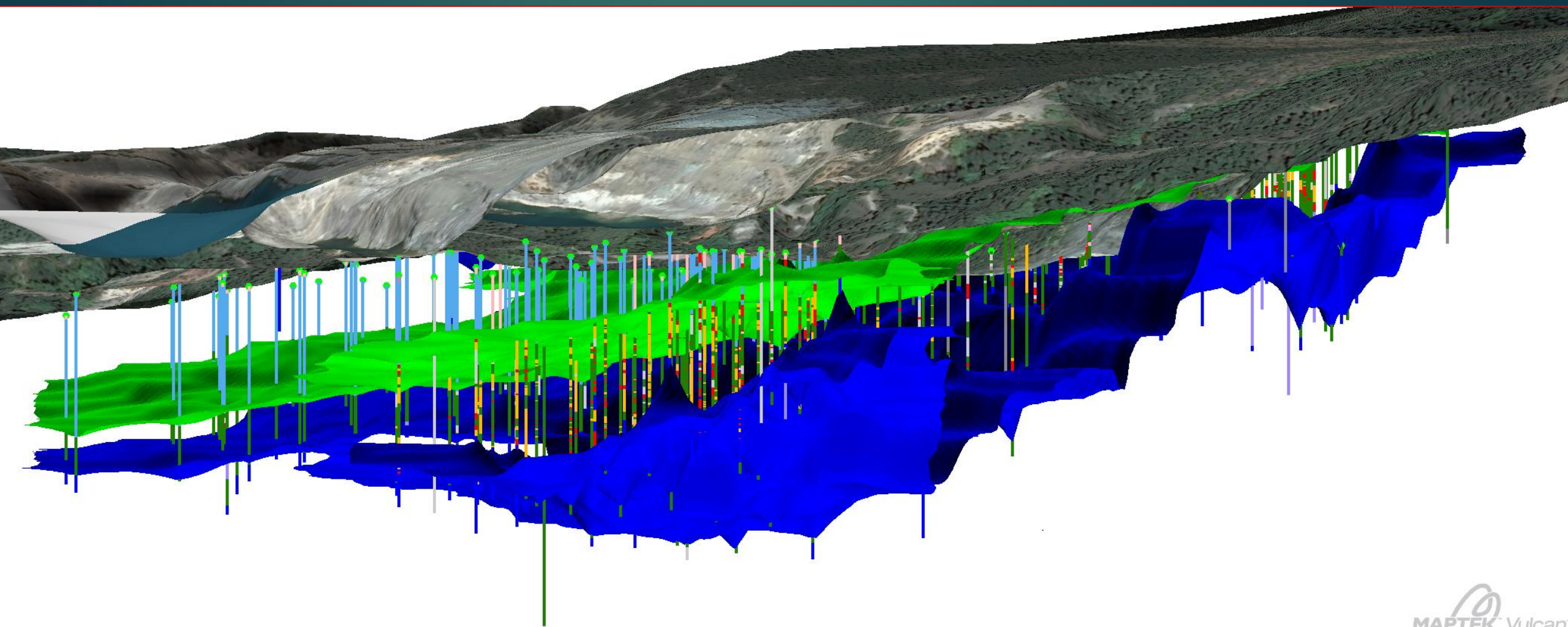


Grid Calc Colour Scale

sc.sf

74.929	220.050
81.840	226.961
88.750	233.872
95.661	240.782
102.571	247.693
109.482	254.603
116.392	261.514
123.303	268.424
130.213	275.335
137.124	282.245
144.034	289.156
150.945	296.066
157.856	302.977
164.766	309.887
171.677	316.798
178.587	323.709
185.498	330.619
192.408	337.530
199.319	344.440
206.229	351.351
213.140	358.261







Μοντέλα οριοθέτησης τύπων μεταλλοφόριας

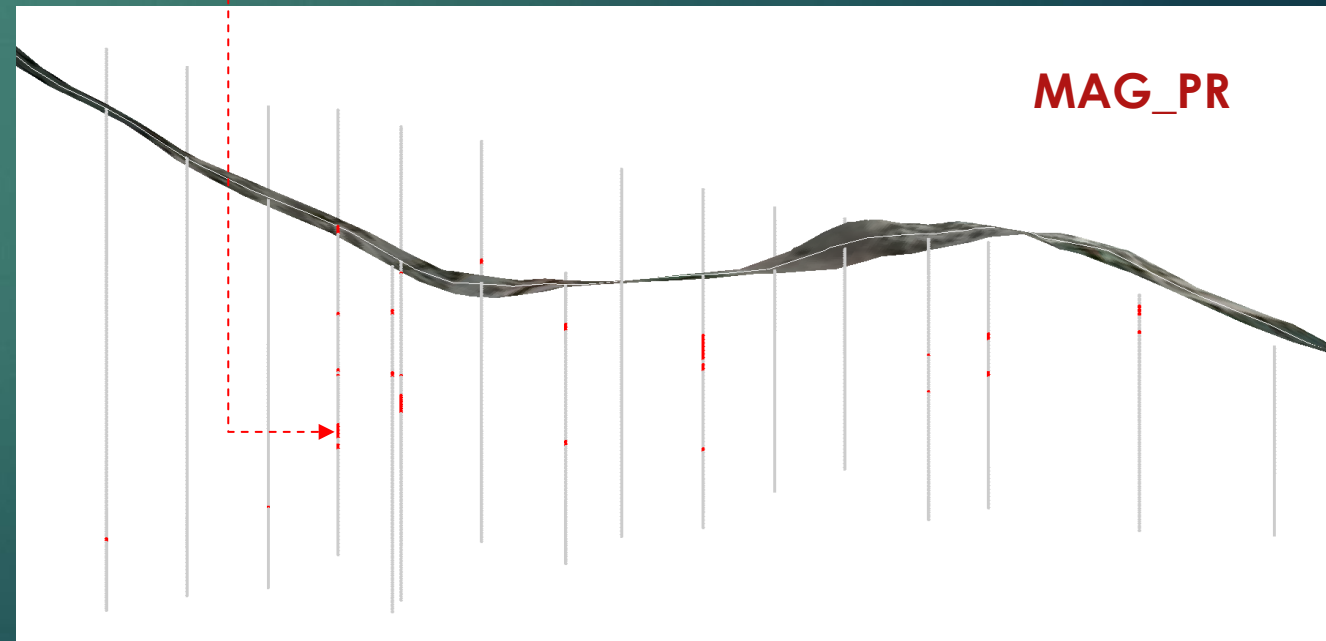
- ▶ Για τον ακριβή υπολογισμό των γεωλογικών και μεταλλευτικών αποθεμάτων, ήταν απαραίτητη η κατασκευή μοντέλων οριοθέτησης των τριών αυτών τύπων μεταλλοφορίας, μέσω σύνδεσης των αντίστοιχων διαστημάτων λιθολογίας των γεωτρήσεων.
- ▶ Η έλλειψη και η αδυναμία συσχετισμού μεταξύ διαστημάτων κοινής λιθολογίας των γεωτρήσεων (λόγω της πολυπλοκότητας της ανάπτυξης της μεταλλοφορίας στο χώρο) έκανε αδύνατη τη χρήση παραδοσιακών εργαλείων μοντελοποίησης σε τομές (explicit modelling).
- ▶ Για το λόγο αυτό, προτιμήθηκε μια γεωστατιστική διαδικασία έμμεσης μοντελοποίησης (implicit modelling), και συγκεκριμένα μέσω της παρεμβολής δεικτών (indicator kriging).



Διαμόρφωση δεικτών τύπων μεταλλοφορίας

- ▶ Αρχικά, έγινε αξιολόγηση των λιθολογικών διαστημάτων των γεωτρήσεων σε σταθερό μήκος 0,5μ.
- ▶ Τα αξιολογημένα διαστήματα κωδικοποιήθηκαν ως προς την αρχική λιθολογία ενώ έλαβαν και αντίστοιχη τιμή οπτικής ανάλυσης Mg% (πεδίο MG).
- ▶ Στη βάση αξιολογημένων δεδομένων προστέθηκαν τρία νέα πεδία με ονομασίες MAG_PR, SYM_PR και STW_PR και σε αυτά αποδόθηκε η τιμή 1 (100% πιθανότητα) εφόσον το πεδίο αξιολογημένης λιθολογίας είχε την κατάλληλη τιμή, με βάση τον πίνακα.

LITH1	MAG_PR	SYM_PR	STW_PR
Um	1	0	0
Usm	0	1	0
Usmh	0	1	0
Umw	0	0	1
UmwH	0	0	1



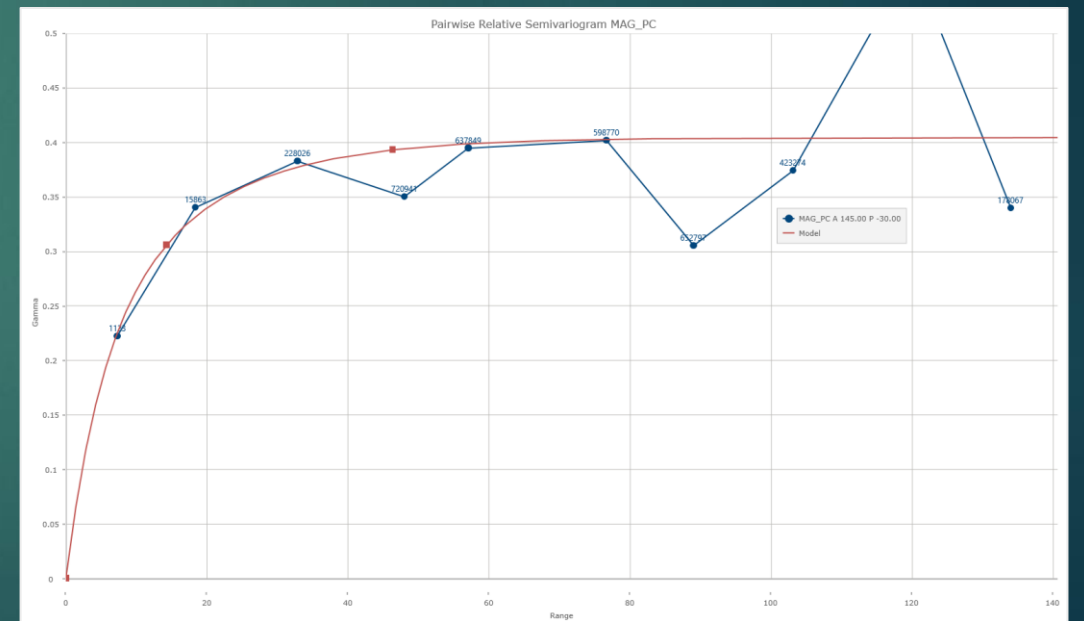
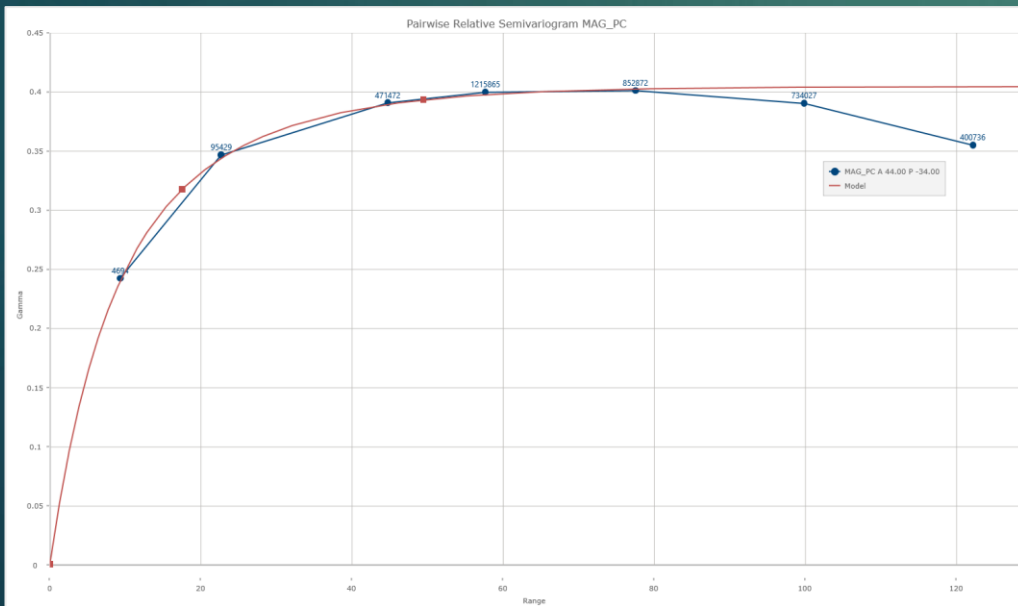
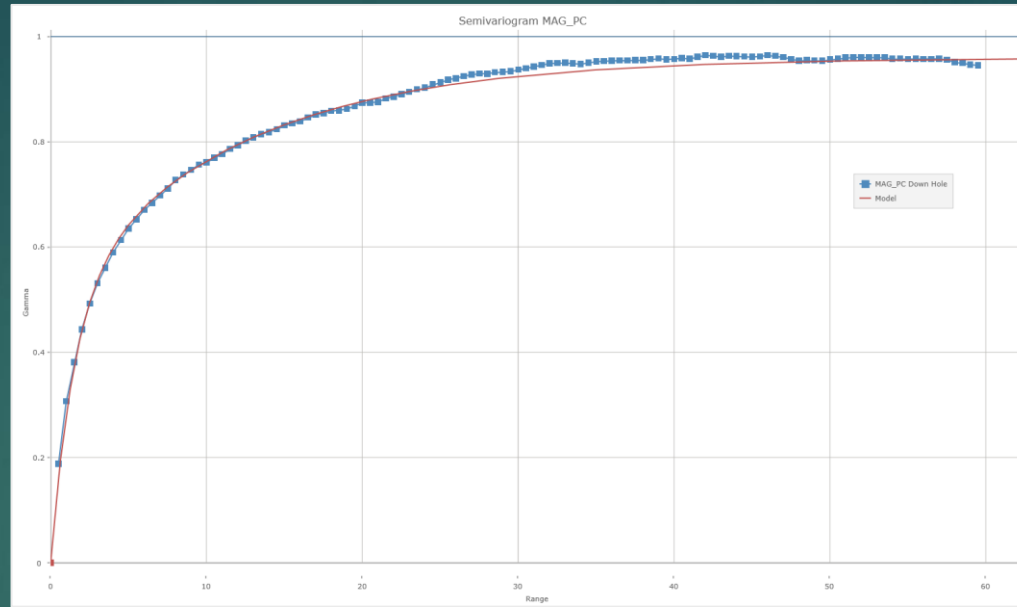
Βαριογραφία δεικτών



- ▶ Ακολούθησε βαριογραφική ανάλυση των τιμών των τριών πεδίων δεικτών για τον καθορισμό του μοντέλου βαριογράμματος, και των διαστάσεων και του προσανατολισμού του ελλειψοειδούς ανίχνευσης για την εκτίμηση της πιθανότητας κάθε τύπου μεταλλοφορίας στον τρισδιάστατο χώρο, σε κατάλληλο μοντέλο μπλοκ.
- ▶ Πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του πειραματικού βαριογράμματος σε διάφορες διευθύνσεις καθώς και προσαρμογή κατάλληλου μοντέλου βαριογράμματος.
- ▶ Το μοντέλο βαριογράμματος χρησιμοποιήθηκε για την παρεμβολή των τιμών δείκτη σε ξεχωριστό μοντέλο μπλοκ, το οποίο δημιουργήθηκε με μοναδικό σκοπό τη γεωλογική μοντελοποίηση.

MAG_PR Μοντέλο βαριογράμματος

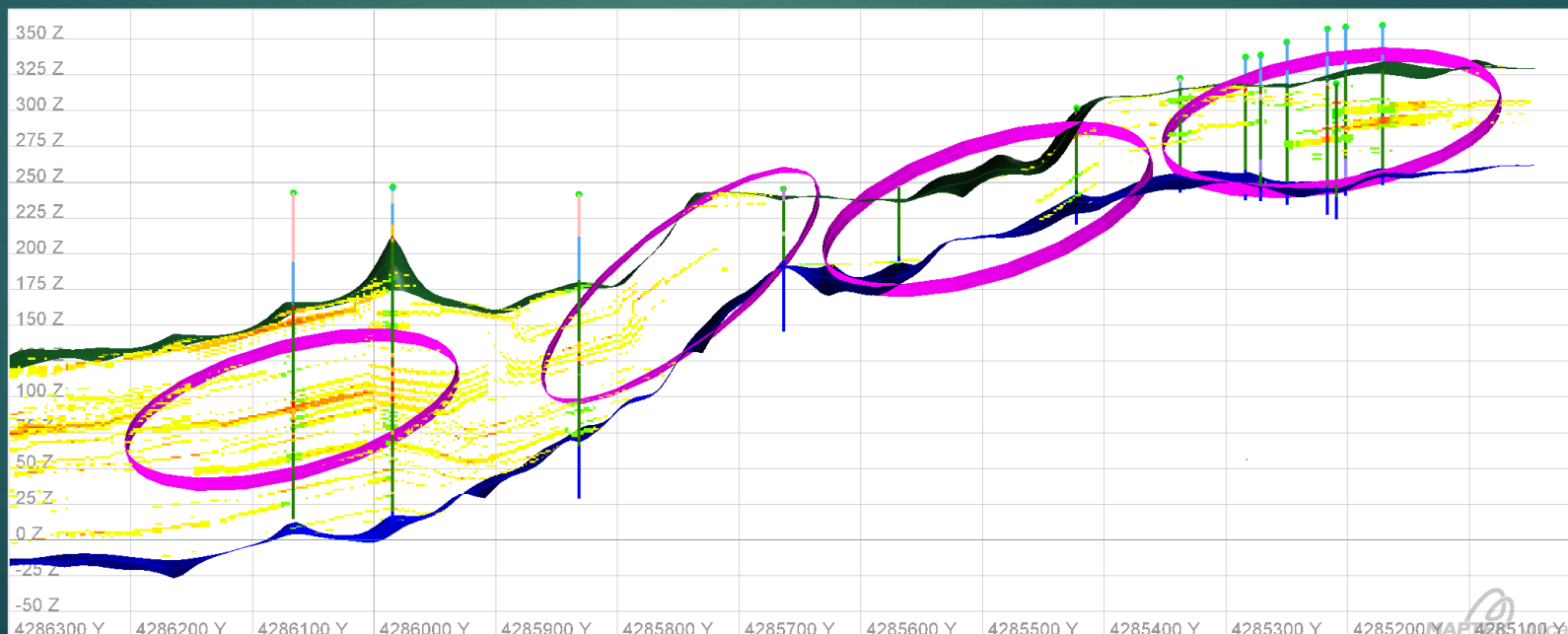
Type: Exponential (nested)



Εκτίμηση δεικτών τύπων μεταλλοφορίας



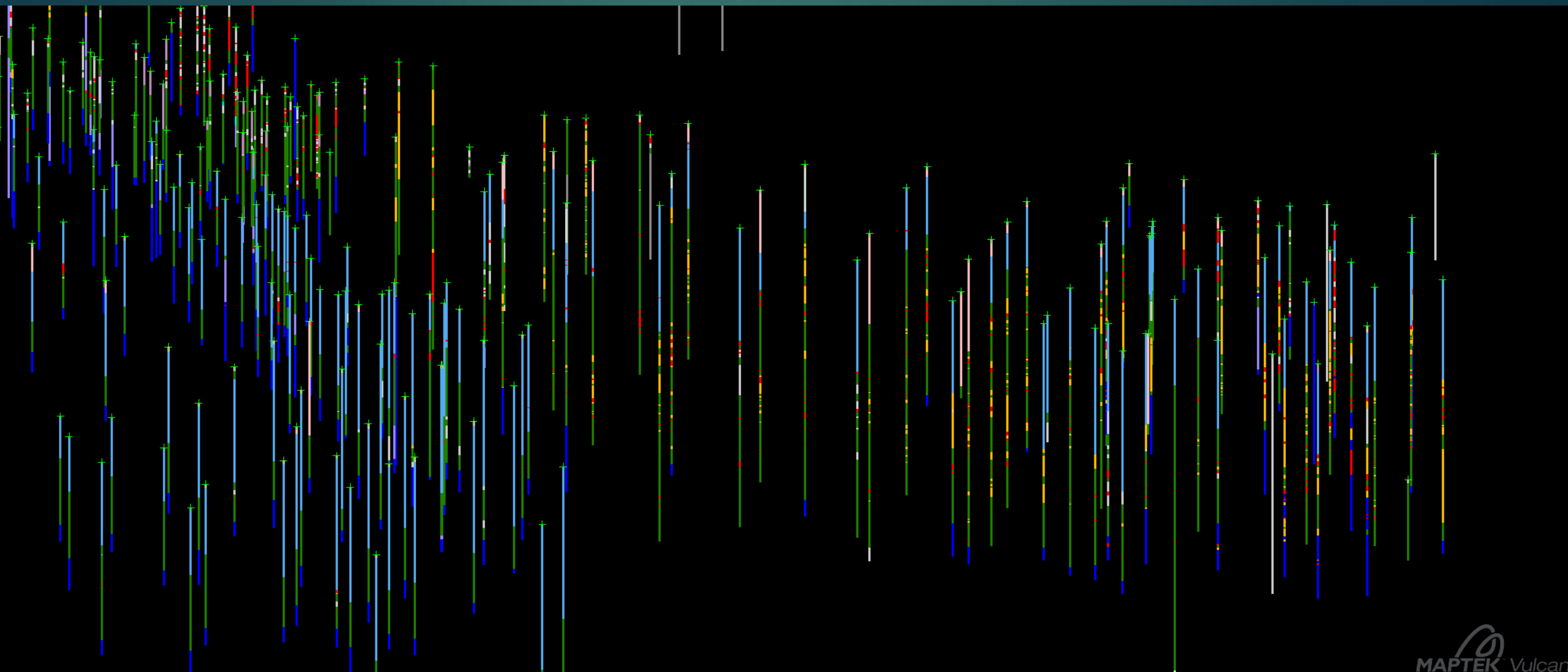
- ▶ Η εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης του κάθε τύπου μεταλλοφορίας στα μπλοκ του μοντέλου έγινε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο indicator kriging σε συνδυασμό με τη βάση αξιολογημένων διαστημάτων και τα μοντέλα βαριογράμματος που προέκυψαν από την βαριογραφική ανάλυση κάθε δείκτη.
- ▶ Ο προσανατολισμός του ελλειψοειδούς ανίχνευσης (διεύθυνση και κλίση) ακολούθησε την οροφή και το δάπεδο του μοντέλου οριοθέτησης του χώρου ανάπτυξης της μεταλλοφορίας.

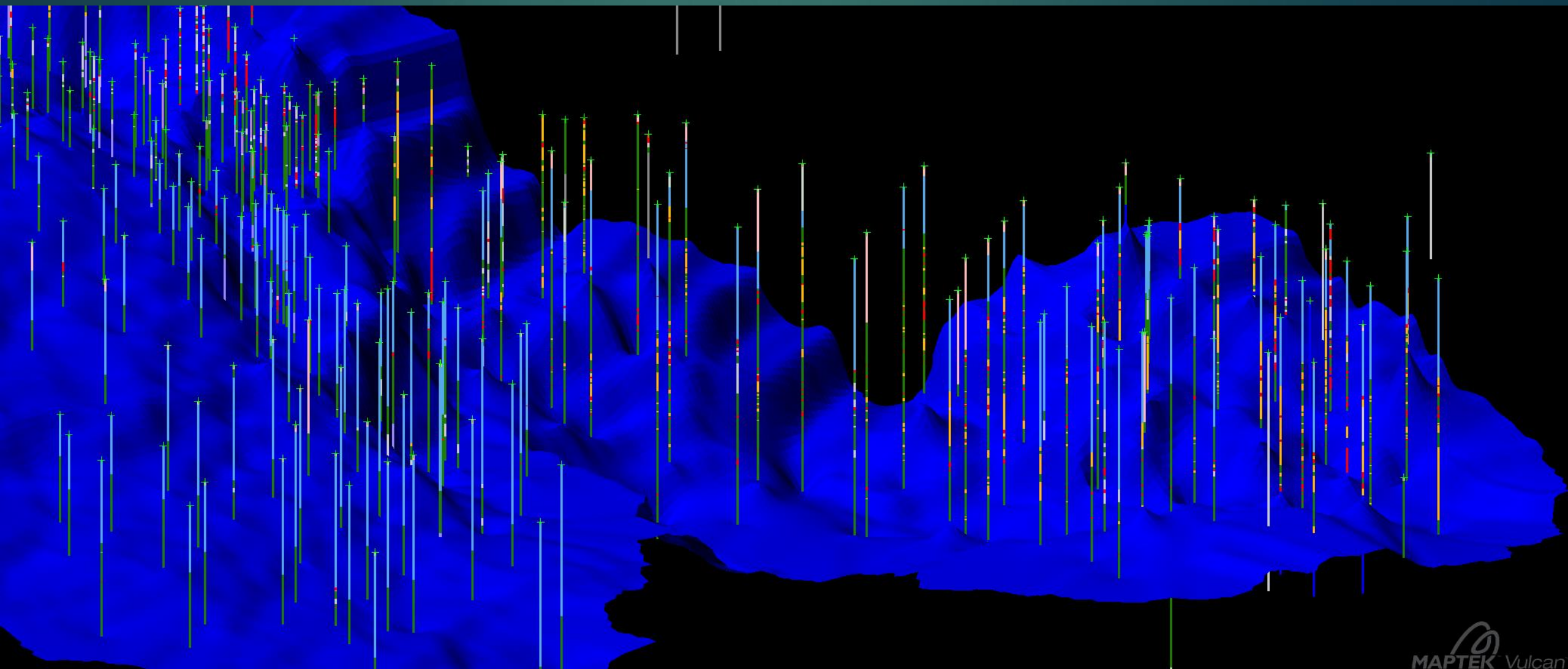




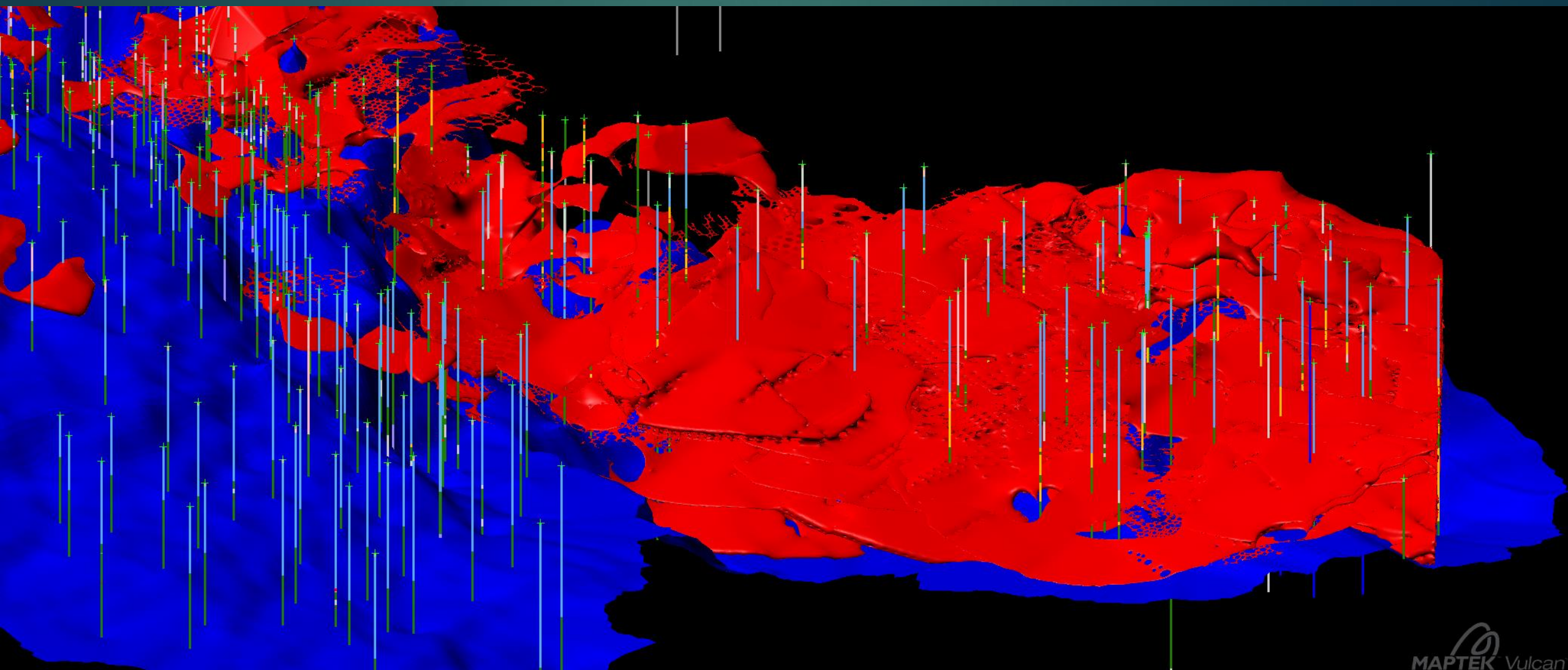
Κανονικοποίηση πιθανοτήτων και κατασκευή μοντέλων τύπων μεταλλοφορίας

- ▶ Οι πιθανότητες των τριών τύπων μεταλλοφορίας που εκτιμήθηκαν σε κάθε μπλοκ, κανονικοποιήθηκαν ώστε να δίνουν άθροισμα 1.
- ▶ Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν στερεά μοντέλα τριγωνισμού των εξωτερικών ορίων του κάθε τύπου μεταλλοφορίας, μέσω ειδικής λειτουργίας του λογισμικού.
- ▶ Έγινε επιλογή του ορίου που θα χρησιμοποιηθεί ως ελάχιστη πιθανότητα για την οριοθέτηση του κάθε τύπου μεταλλοφορίας στη διαδικασία αυτή.
- ▶ Ύστερα από δοκιμές, το όριο αυτό πήρε την τιμή 25%, το οποίο έδινε καλή συμφωνία των παραγόμενων μοντέλων με τα διαστήματα των γεωτρήσεων.
- ▶ Προτεραιότητα δόθηκε στο μοντέλο της κύριας μεταλλοφορίας.

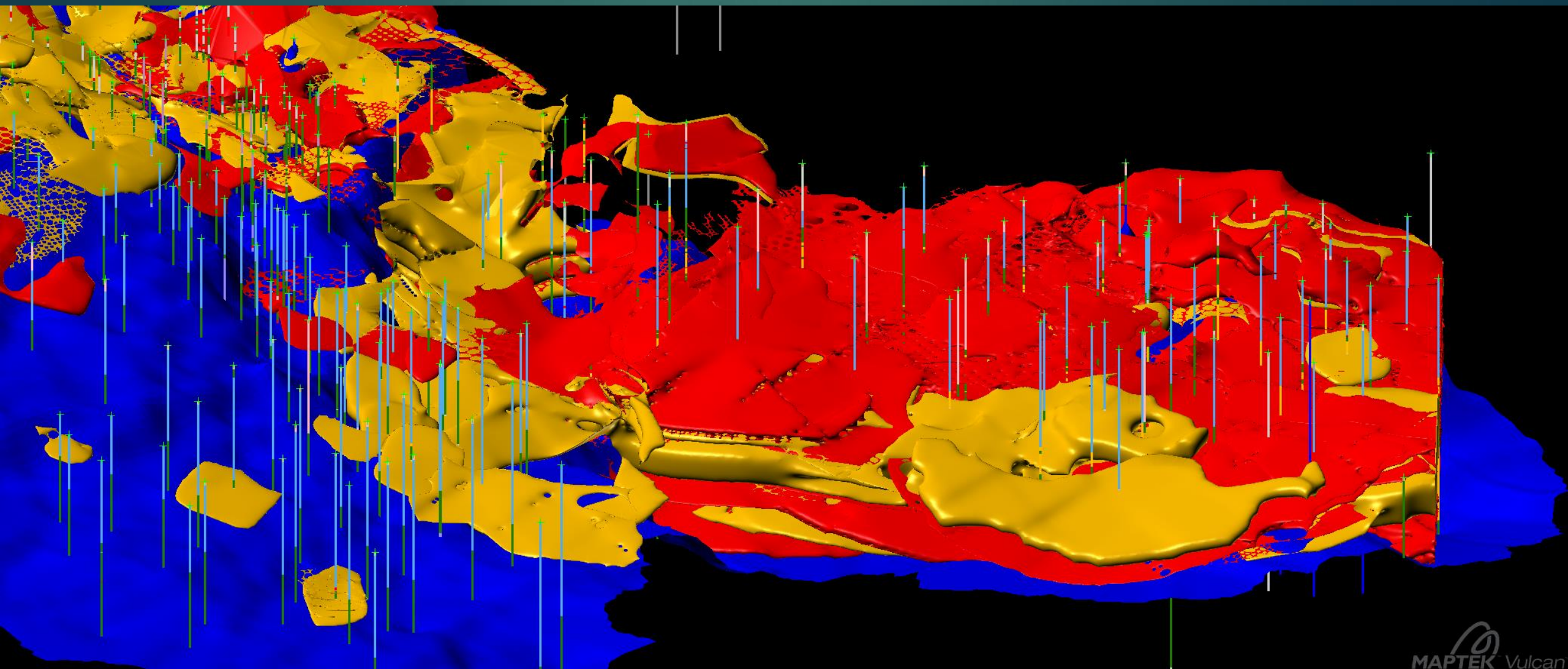




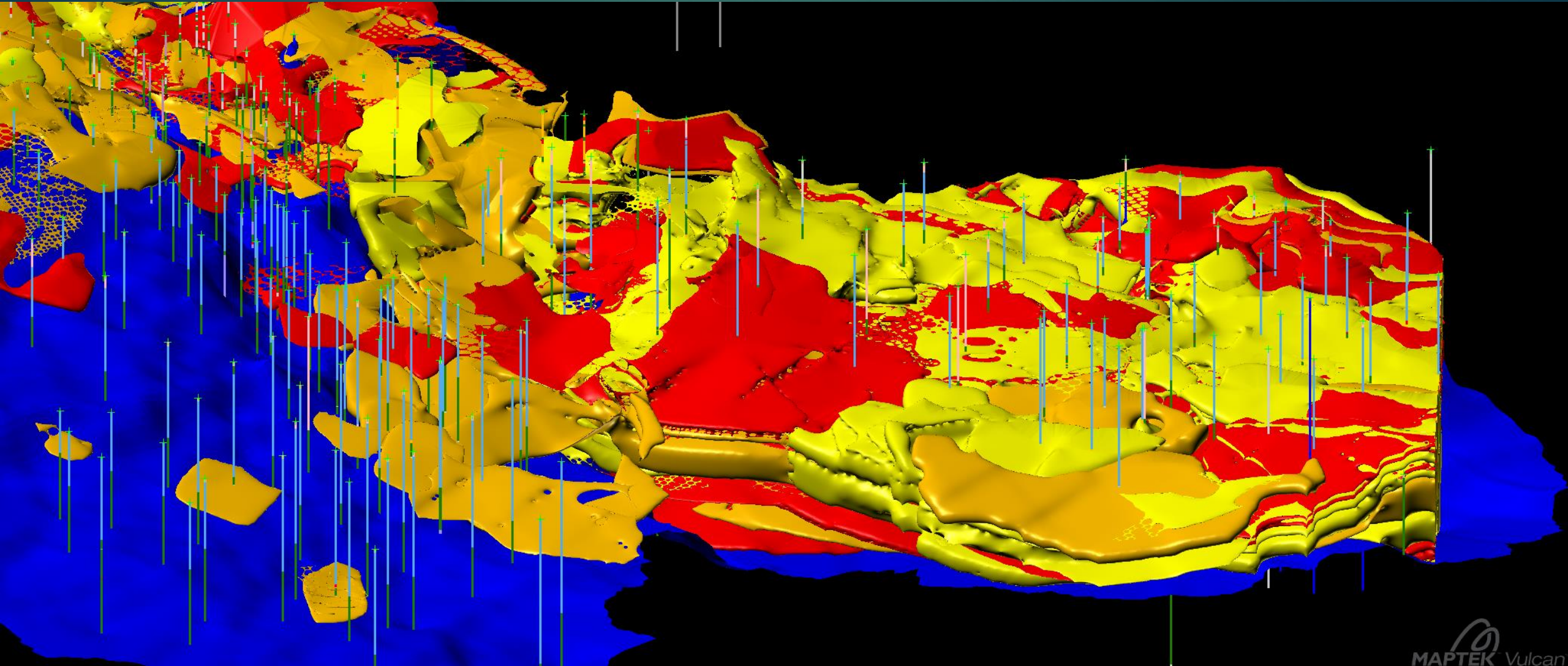
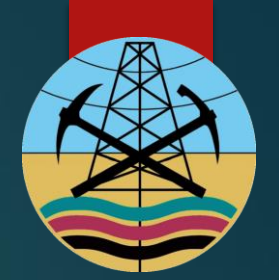
Κύρια μεταλλοφορία

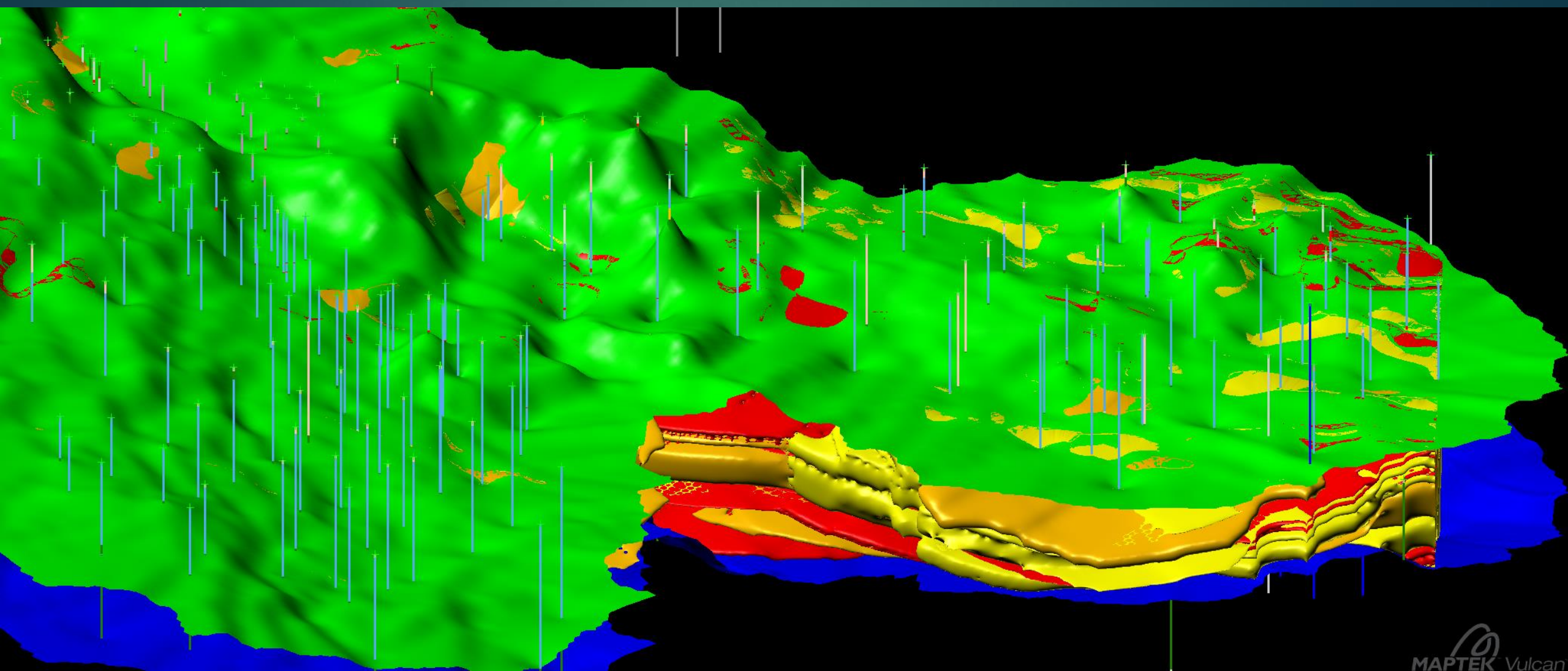


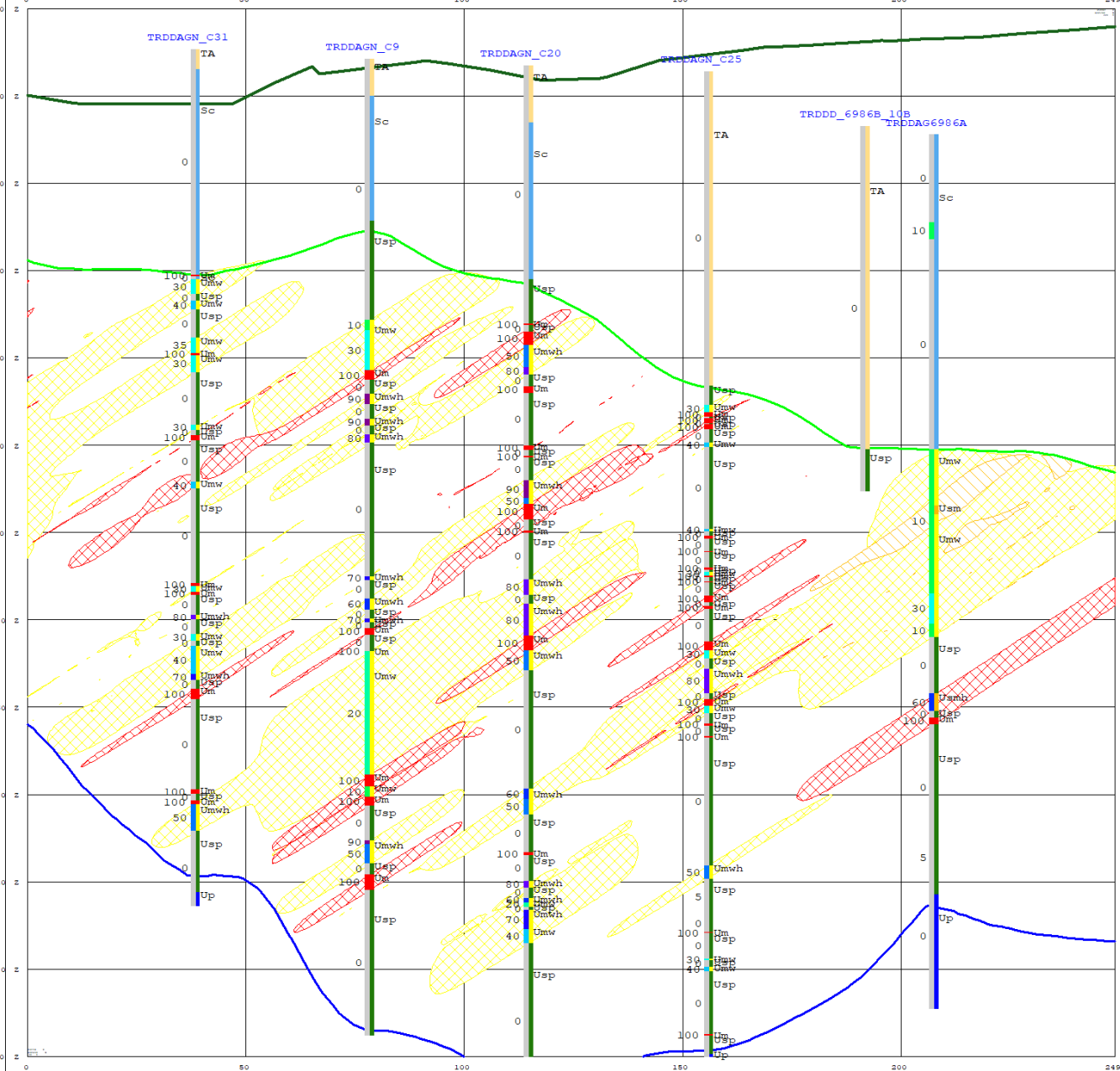
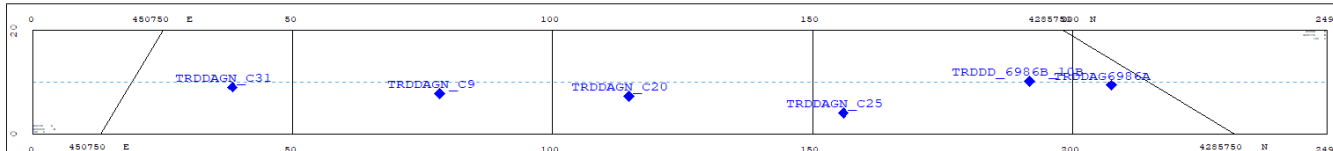
Κύρια μεταλλοφορία & σύμμικτα



Κύρια μεταλλοφορία, σύμμικτα & stockwork







LEGEND

Data fields

LITHI (File group: dhd.iis)

CAV	HD	EV	QZ	RCE
UM	USP	UMW	UMWH	SC
SL	SK	TA	UD	UM
USP	UMW	UP	USEP	
UMWH	USP	DEFAULT		

MG (File group: dhd.iis)

Trace scheme	MG
10.000	10.000
20.000	20.000
30.000	30.000
40.000	40.000
50.000	50.000
60.000	60.000
70.000	70.000
80.000	80.000
90.000	90.000
100.000	100.000
101.000	101.000
DEFAULT	

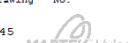
Triangulations

TOPOS.DOT
SINAGRITA_25_1000.DOT
SINAGRITA_25_1000.DOT
NEW_FELONIA_25_1000.DOT
SC_FLOOR_TOPO_CROPPED.DOT
UP_ROOF.DOT



Τομή WNWB45_GEO.DHQ

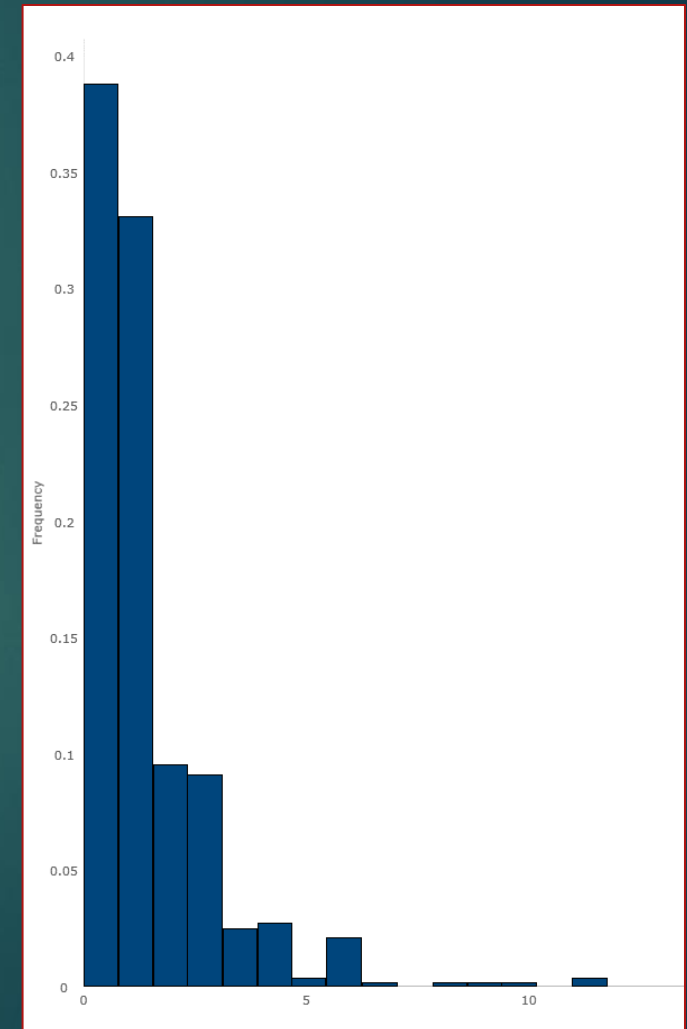
Scale:	1:1000
Date:	02-Jun-2020
Project:	WNW
Drawn By:	IKK
Checked:	
Approved:	
Drawing No.:	B45



Αξιολόγηση γεωτρήσεων – επιλογή διαστήματος αξιολόγησης



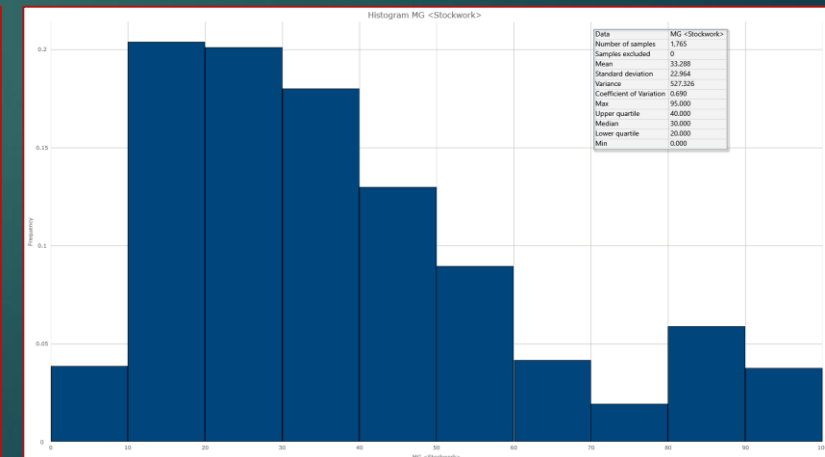
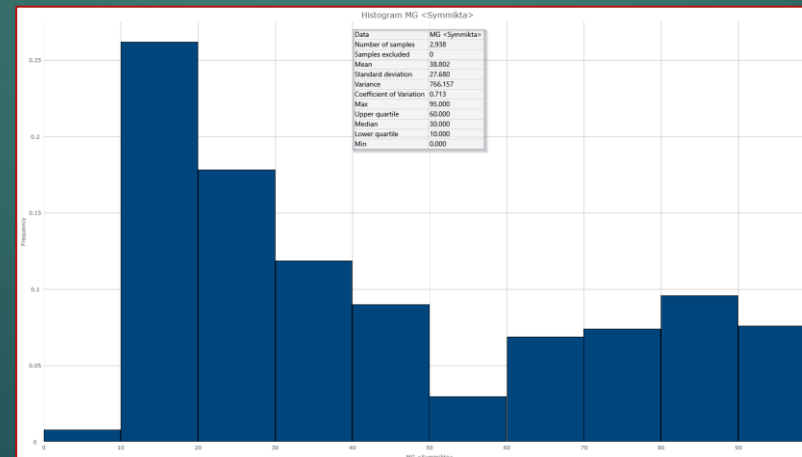
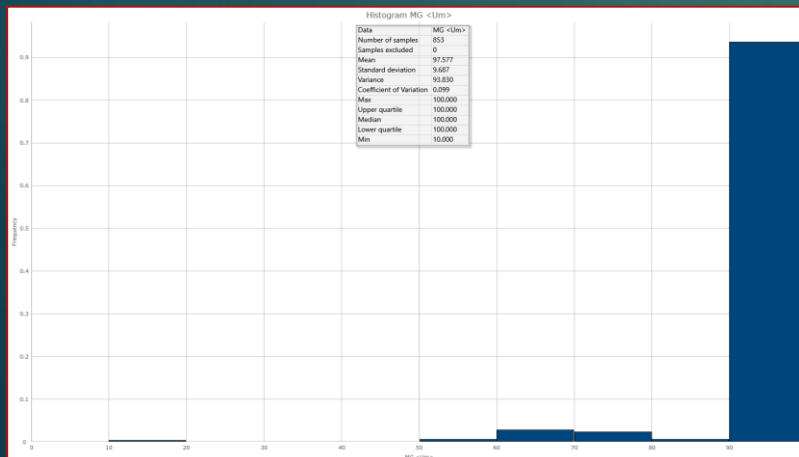
- ▶ Οι τιμές Mg (%) των γεωτρήσεων και των αξιολογημένων διαστημάτων που προέκυψαν από αυτές, αποτελούν προϊόν οπτικής και όχι εργαστηριακής ανάλυσης των πυρήνων των γεωτρήσεων.
- ▶ Οι οπτικές αυτές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαστήματα μεταβλητού μήκους.
- ▶ Η τιμή μήκους που επικρατεί είναι το 1 μέτρο, και για το λόγο αυτό επιλέχθηκε ως μήκος αξιολόγησης των γεωτρητικών δεδομένων για χρήση κατά τη διαδικασία παρεμβολής των τιμών Mg και την εκτίμηση ορυκτών πόρων.
- ▶ Παρόλα αυτά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παρουσία αρχικών διαστημάτων πολύ μεγαλύτερων του 1 μέτρου και οδήγησε κατά την αξιολόγηση στη δημιουργία πολλών αξιολογημένων διαστημάτων με την ίδια τιμή, γεγονός που οδηγεί σε **πλασματική αύξηση της φαινόμενης συνέχειας** της τιμής Mg στο χώρο.



Στατιστική ανάλυση αξιολογημένων τιμών Mg%



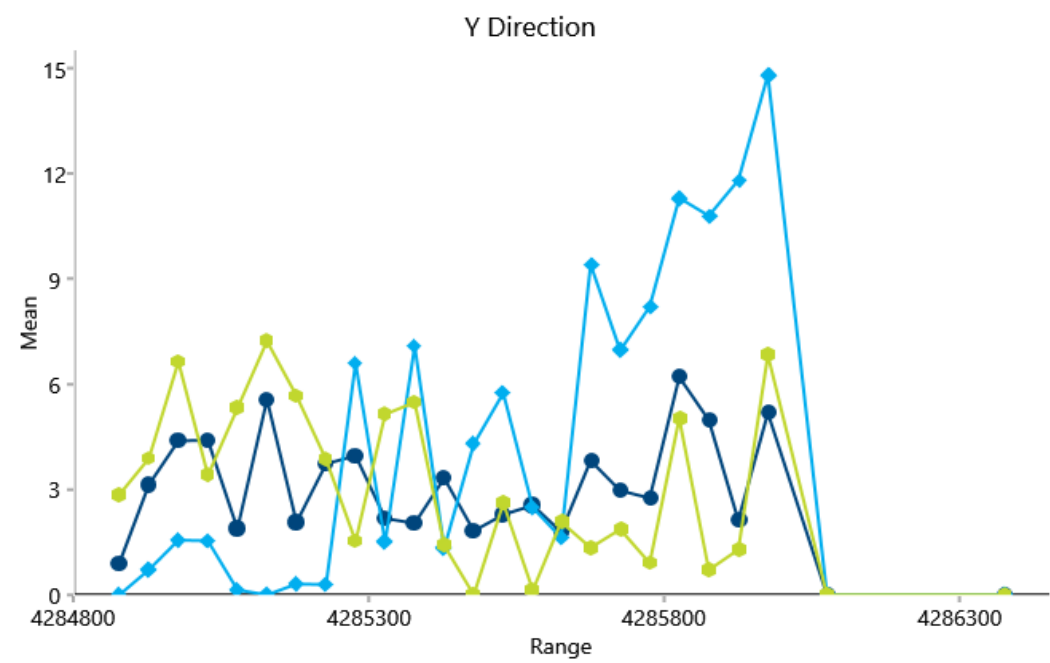
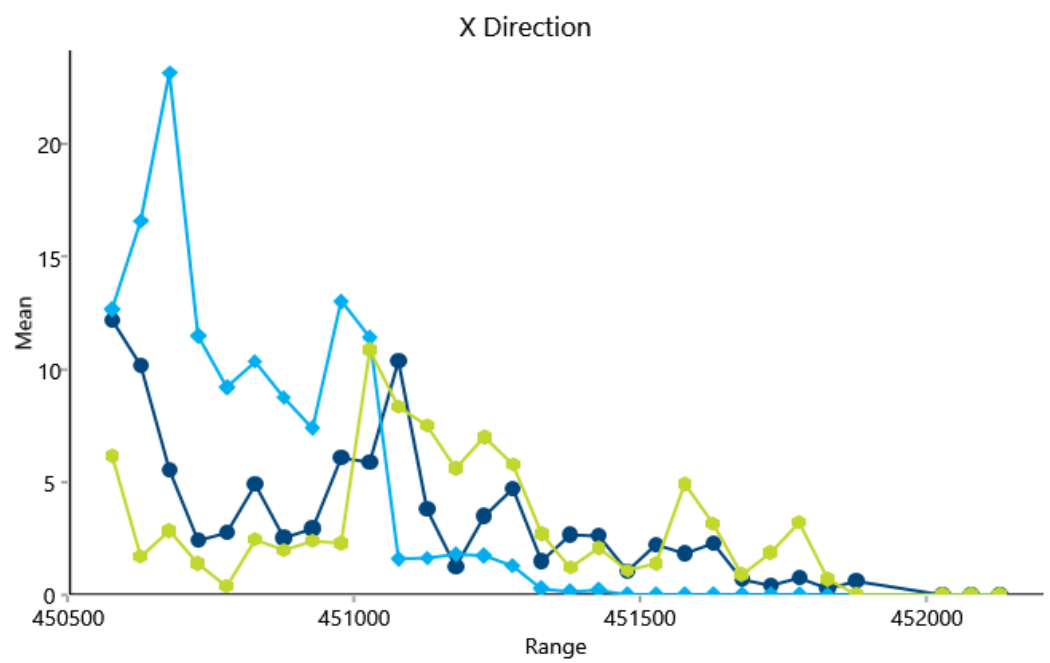
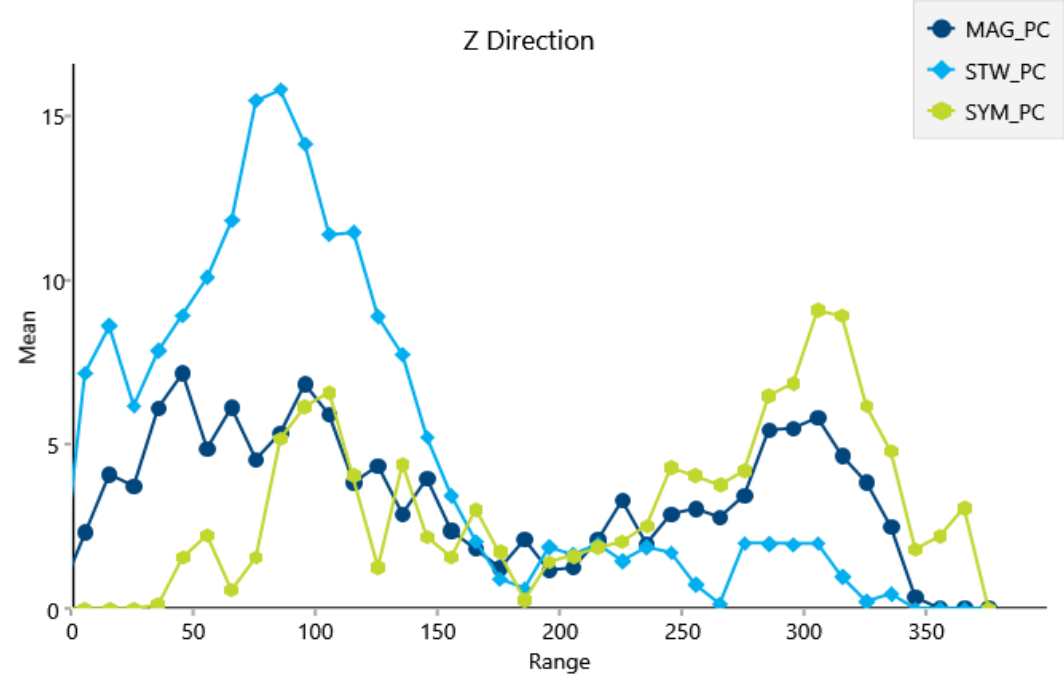
- ▶ Η στατιστική ανάλυση των τιμών Mg των αξιολογημένων διαστημάτων παρουσιάζει μικρό ενδιαφέρον καθώς πρόκειται για ακέραιες τιμές οπτικής ανάλυσης, συχνά σε πολύ μεγάλο αρχικό μήκος.
- ▶ Η κατανομή σύμμικτα εμφανίζεται διτροπική εξαιτίας της συμμετοχής διαστημάτων υψηλής και χαμηλής περιεκτικότητας ενδεχομένως διακριτών πληθυσμών, με την πλειοψηφία των δειγμάτων να ανήκει στο τμήμα χαμηλότερων τιμών.
- ▶ Κάτι ανάλογο εμφανίζεται και στα διαστήματα stockwork αν και σε πολύ μικρότερο ποσοστό.



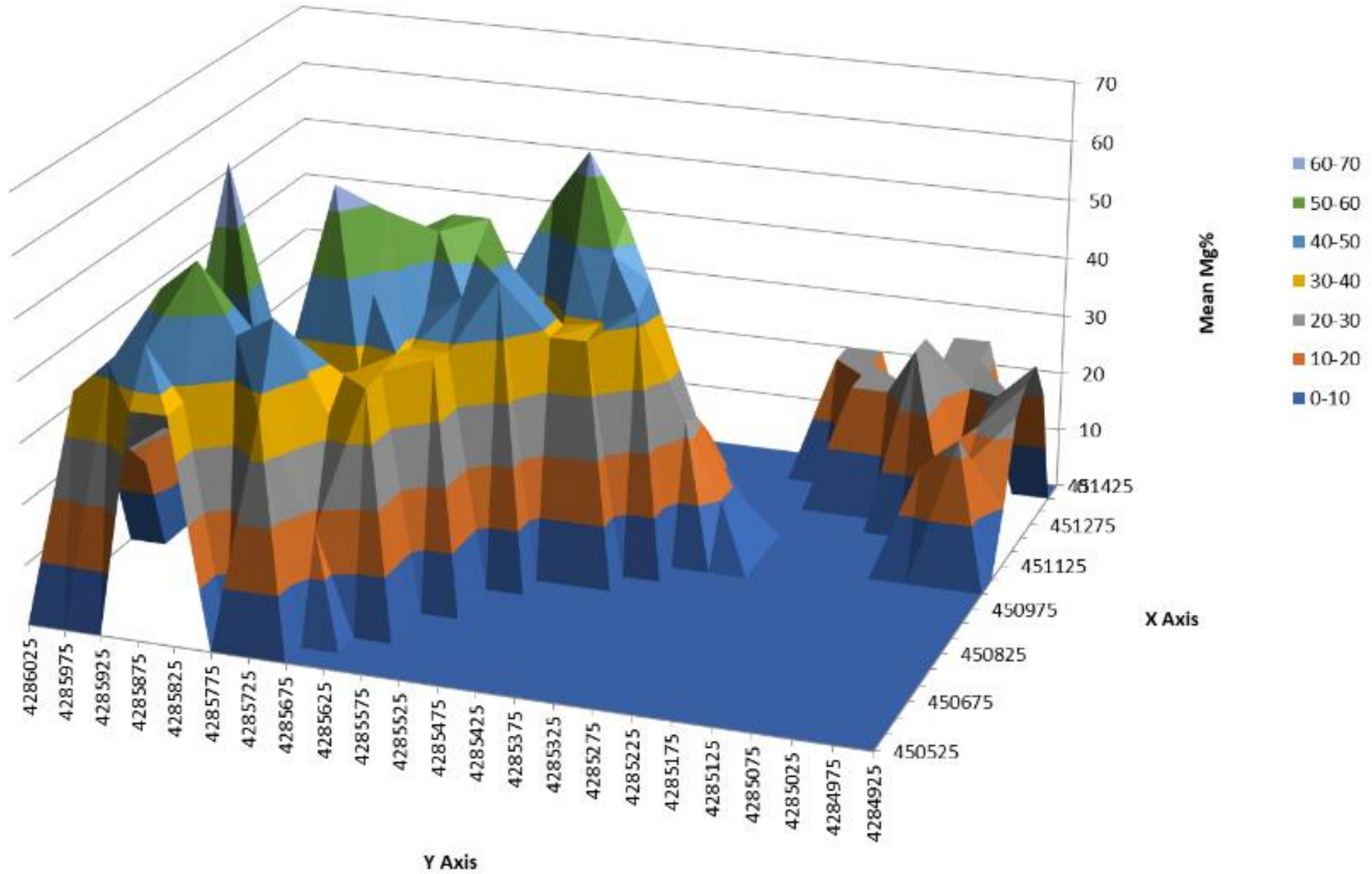
Χωρική ανάλυση



- ▶ Για τον καλύτερο δυνατό χαρακτηρισμό της χωρικής κατανομής των τιμών Mg στους χώρους που αναπτύσσονται οι τρεις τύποι μεταλλοφορίας, και τον προσδιορισμό των ζωνών εκτίμησης (domaining), πραγματοποιήθηκε ανάλυση χωρικής διασποράς των τιμών Mg (drift analysis).
- ▶ Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για τα δείγματα που προέρχονται από κάθε τύπο μεταλλοφορίας.
- ▶ Κατά την ανάλυση αυτή, ο τρισδιάστατος χώρος διαιρείται σε «παράθυρα» ορισμένου πλάτους κατά μήκος ενός άξονα συντεταγμένων, τα οποία μπορούν να έχουν μερική επικάλυψη.
- ▶ Σε κάθε παράθυρο υπολογίζεται ο μέσος όρος και η διακύμανση των δειγμάτων του κάθε τύπου μεταλλοφορίας και δημιουργείται σχετικό σημείο σε διάγραμμα όπου ο άξονας X είναι ο επιλεγμένος άξονας συντεταγμένων και άξονας Ψ ο μέσος όρος.
- ▶ Παρατηρώντας τα σχετικά διαγράμματα μπορεί να διαπιστωθεί η συνέχεια της χωρικής κατανομής των τιμών κατά τους άξονες συντεταγμένων, και να εντοπιστούν ζώνες οι οποίες παρουσιάζουν διακριτή συμπεριφορά.

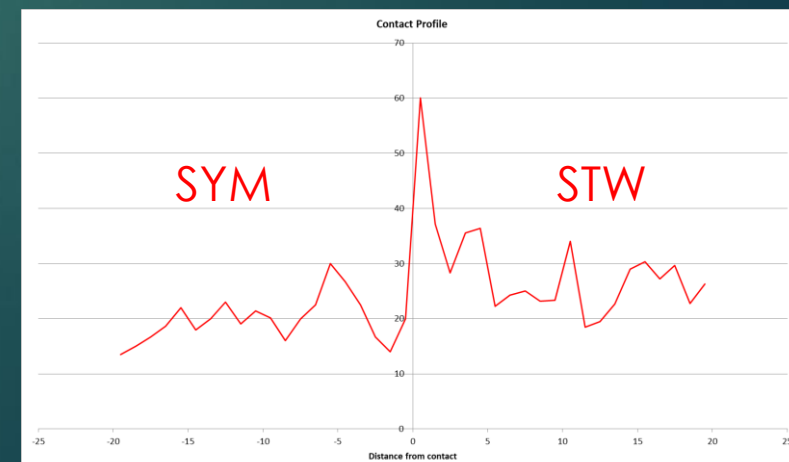
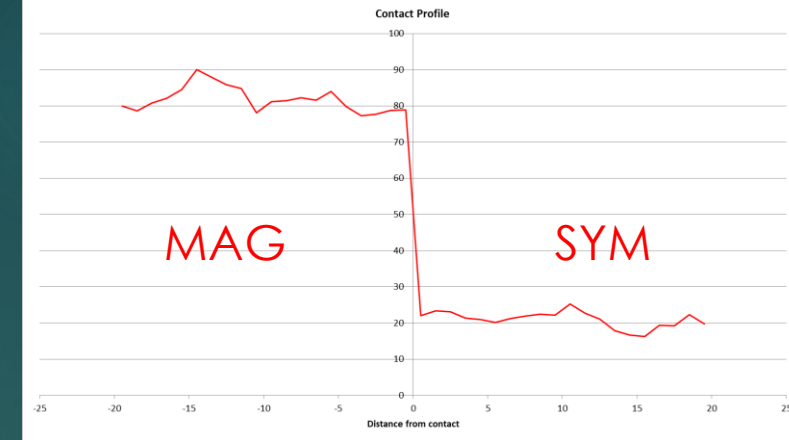


Drift Analysis
DB_MG X-Y plane drift
Stockwork Mg%



Ανάλυση προφίλ επαφής

- ▶ Η ανάγκη για διαχωρισμό των τριών τύπων μεταλλοφορίας κατά την εκτίμηση, μπορεί να τεκμηριωθεί και μέσω της ανάλυσης contact profile.
- ▶ Στη συγκεκριμένη ανάλυση, υπολογίζονται οι μέσοι όροι δειγμάτων σε συγκεκριμένες αποστάσεις από την επαφή μεταξύ δύο τύπων μεταλλοφορίας.
- ▶ Από το γράφημα που προκύπτει μπορούμε να συμπεράνουμε αν πρόκειται για ομαλή ή απότομη μετάβαση της περιεκτικότητας από τον ένα τύπο στον άλλο.



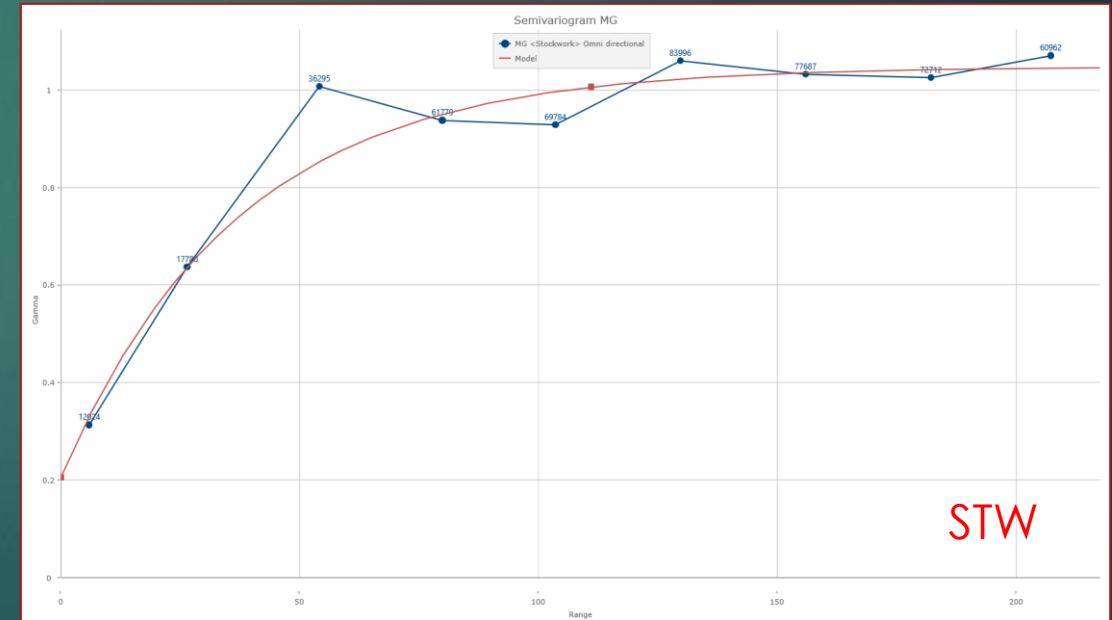
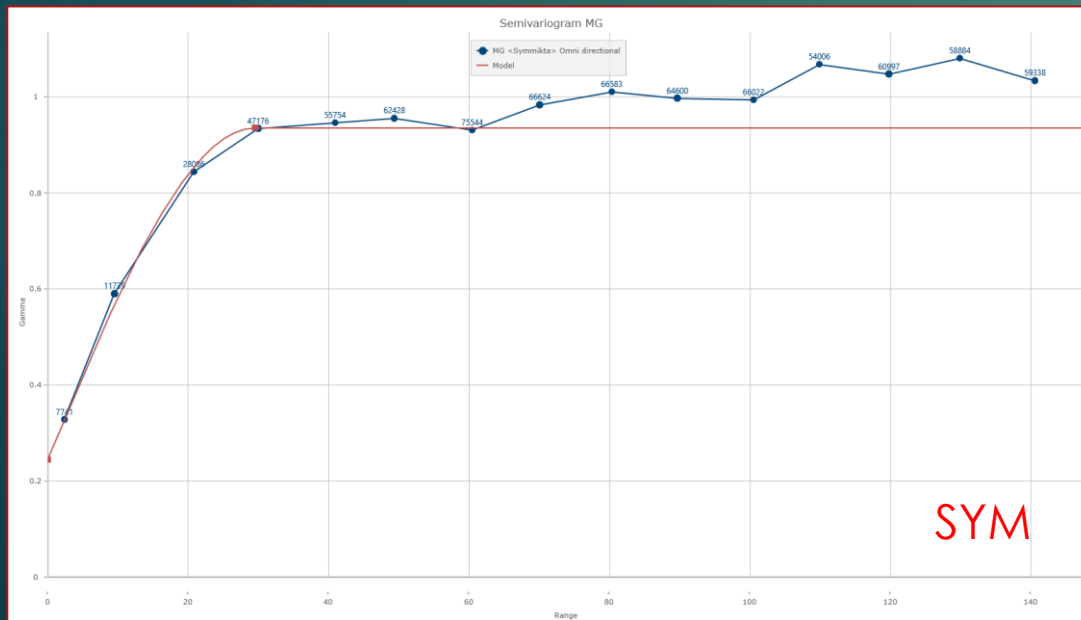
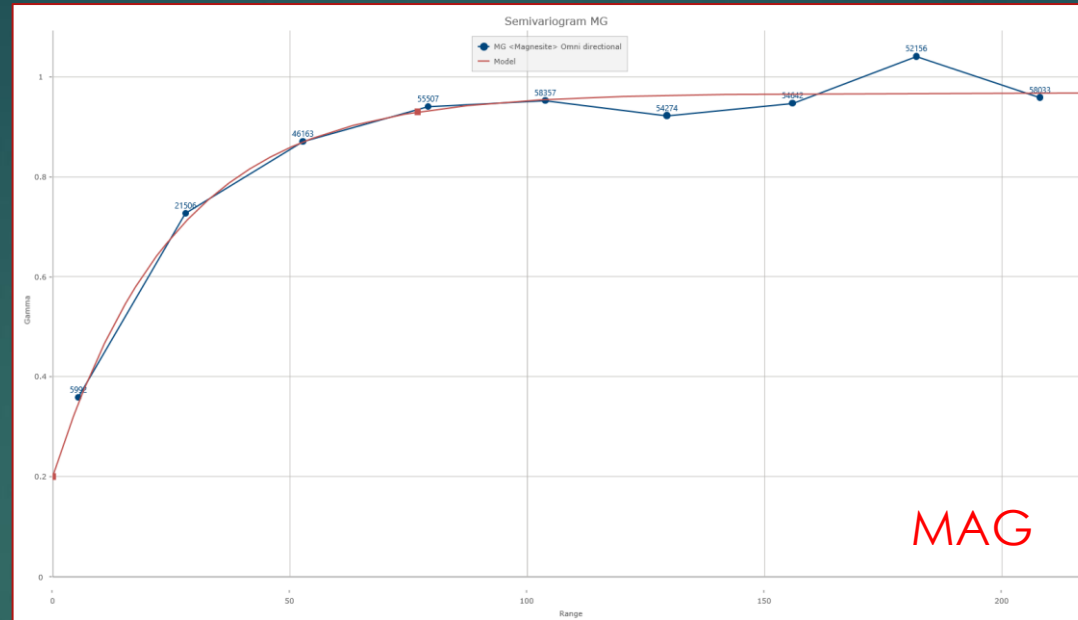
Βαριογραφία



- ▶ Ο προσδιορισμός του δομικού μοντέλου της ποιότητας Mg πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για τους τρεις τύπους μεταλλοφορίας.
- ▶ Το εκάστοτε μοντέλο χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για τον καθορισμό των διαστάσεων του ελλειψοειδούς ανίχνευσης και τον υπολογισμό των συντελεστών βάρους των δειγμάτων κατά την γεωστατιστική εκτίμηση των μπλοκ του αποθεματικού μοντέλου με τη μέθοδο Ordinary Kriging.

Ζώνη	Τύπος Μοντέλου	Nugget	Sill Differential	Major	Semi	Minor	Bearing	Plunge	Dip
Κύρια	Exponential	0.20	0.768	77	77	7	Μεταβλητό	Μεταβλητό	30
Σύμμικτα	Spherical	0.24	0.691	30	30	10	Μεταβλητό	Μεταβλητό	30
Stockwork	Exponential	0.2	0.843	110	110	10	Μεταβλητό	Μεταβλητό	30

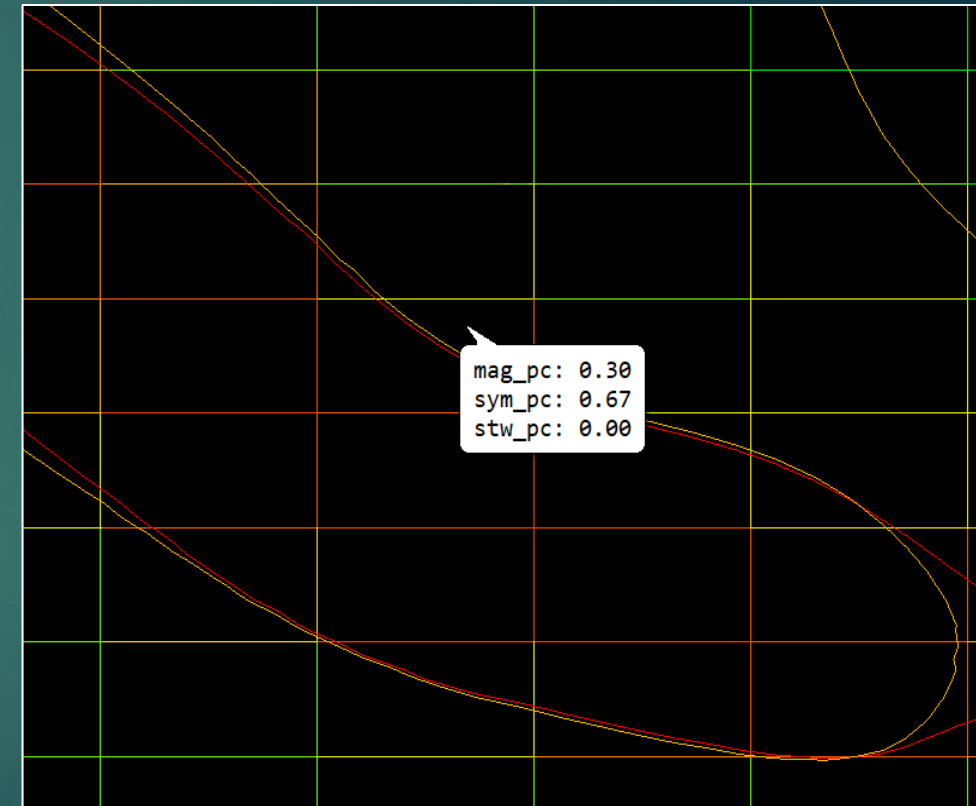
Omni-directional variograms



Διαμόρφωση παραμέτρων kriging και μοντέλου μπλοκ



- ▶ Για την εκτίμηση των ποιοτήτων Mg στο χώρο του κοιτάσματος και τον υπολογισμό των ορυκτών πόρων*, κατασκευάστηκε κανονικό μοντέλο μπλοκ.
- ▶ Στα μπλοκ του μοντέλου αυτού αποθηκεύτηκε αρχικά το ποσοστό κατά όγκο του κάθε τύπου μεταλλοφορίας σε τρεις ξεχωριστές μεταβλητές.
- ▶ Η ανάλυση του μοντέλου (διαστάσεις των μπλοκ) καθώς και κάποιες παράμετροι για την παρεμβολή με kriging διαμορφώθηκαν με τη μέθοδο Kriging Neighbourhood Analysis (KNA).



KNA – Kriging Neighbourhood Analysis



Τοπική ή συνολική (πιο αργή)
ανάλυση

Kriging Neighbourhood Analysis

Project Parameters

Specification file: test.kna.spec

Local analysis Global analysis

Specifications

Variogram file: feloni.vrg [Browse...]

Select samples database: wnw magnesite.cmp.isis [Browse...]

Search Orientation

Bearing: 145.0 Plunge: -6.0 Dip: 30.0

Block Model

Rotation

Bearing: 56.0 Plunge: 0.0 Dip: 0.0

Origin

Start X: 450987.625 End X: 451204.995 [Interactive]

Start Y: 4285510.979 End Y: 4286552.52 [Display]

Start Z: 112.0 End Z: 504.0

Specifications

- Block Selection
- Output
- Optimisation
 - Block Size
 - Number of Samples
 - Search Radius
 - Discretisation Steps
 - Run Optimised Estimation

OK Cancel

Διαστάσεις μπλοκ

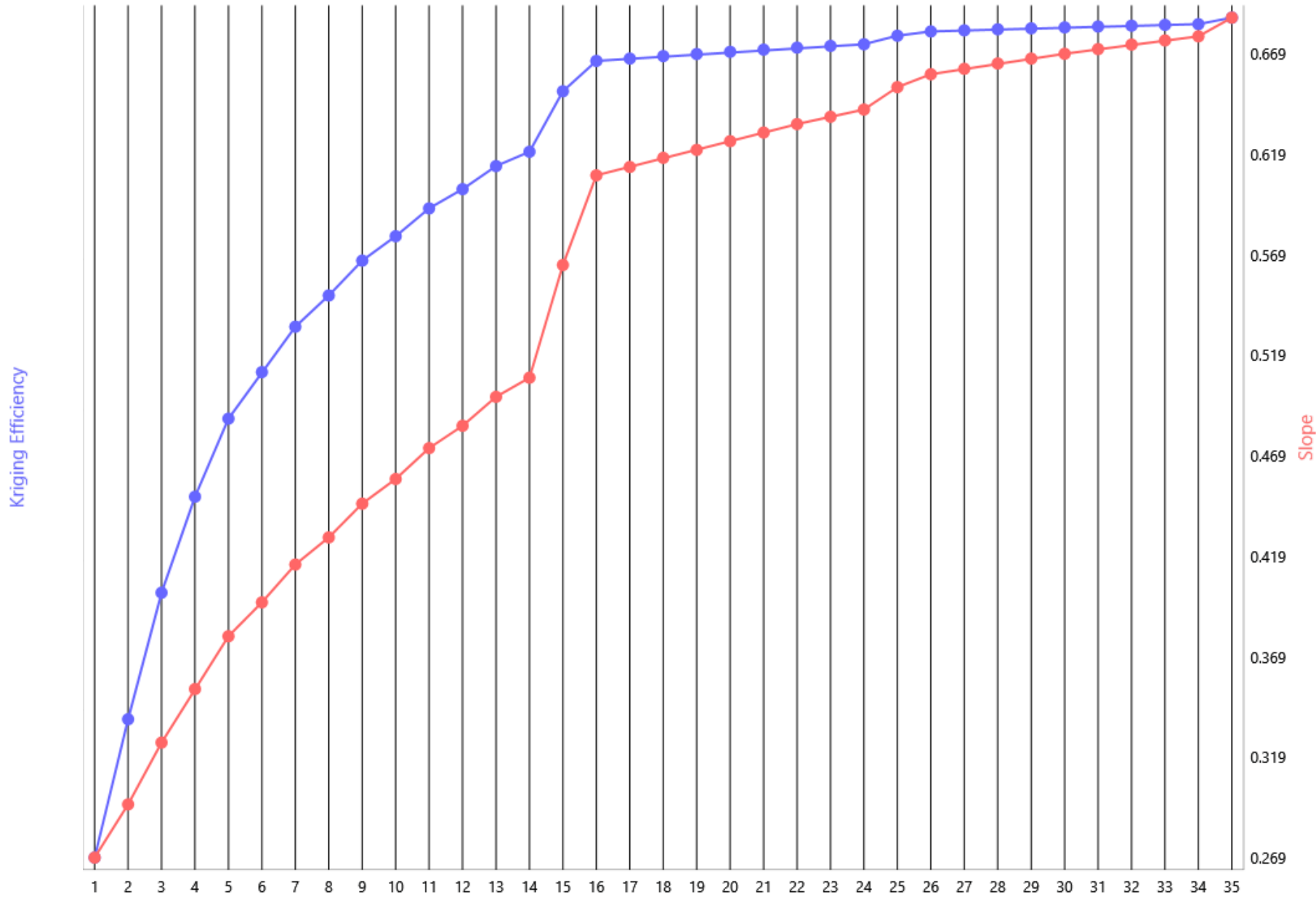
Πλήθος δειγμάτων

Ακτίνα ανίχνευσης

Διακριτοποίηση



Samples Optimisation - MG



Reset Zoom

Τελικές τιμές παραμέτρων



Μοντέλο Μπλοκ

- ▶ Τύπος: κανονικό
- ▶ Διαστάσεις μπλοκ: 8X6X4μ
- ▶ Διεύθυνση/κλίση: 56°, 0°
- ▶ Διαστάσεις μοντέλου: 1200X1764X554μ
- ▶ Πλήθος μπλοκ: 6,218,100
- ▶ Πλήθος μεταβλητών: 31

Παράμετροι εκτίμησης

- ▶ Ελάχιστος/μέγιστος αριθμός δειγμάτων: 1/16
- ▶ Μέγιστος αριθμός δειγμάτων ανά γεώτρηση: 4
- ▶ Διαστάσεις ελλειψοειδούς: 120X100X20μ
- ▶ Προσανατολισμός ελλειψοειδούς: μεταβλητός
- ▶ Διακριτοποίηση μπλοκ: 4,3,3

Variables	Default	Type
mg_mag	0	double
mg_sym	0	double
mg_stw	0	double
mg_wavg	0	double
fillpc	100	double
samples	0	integer
drillholes	0	integer
octants	0	integer
kr_efficiency	-99.0	double
kr_variance	-99.0	double
block_variance	-99.0	double
bearing	-99.0	double
plunge	-99.0	double
dip	-99.0	double
min_weight	-99.0	double
class	0	integer
litho	usp	name
avg_distance	-99.0	double
min_distance	-99.0	double
mag_pr	0	double
sym_pr	0	double
stw_pr	0	double

Μεταβλητές μοντέλου μπλοκ



Variables	Default	Type
density	2.9	double
topo_m40	0	integer
recoverable	0	integer
mag_tonnes	0	double
stw_tonnes	0	double
sym_tonnes	0	double
mag_volume	0	double
stw_volume	0	double
sym_volume	0	double

Εκτίμηση τιμών Mg

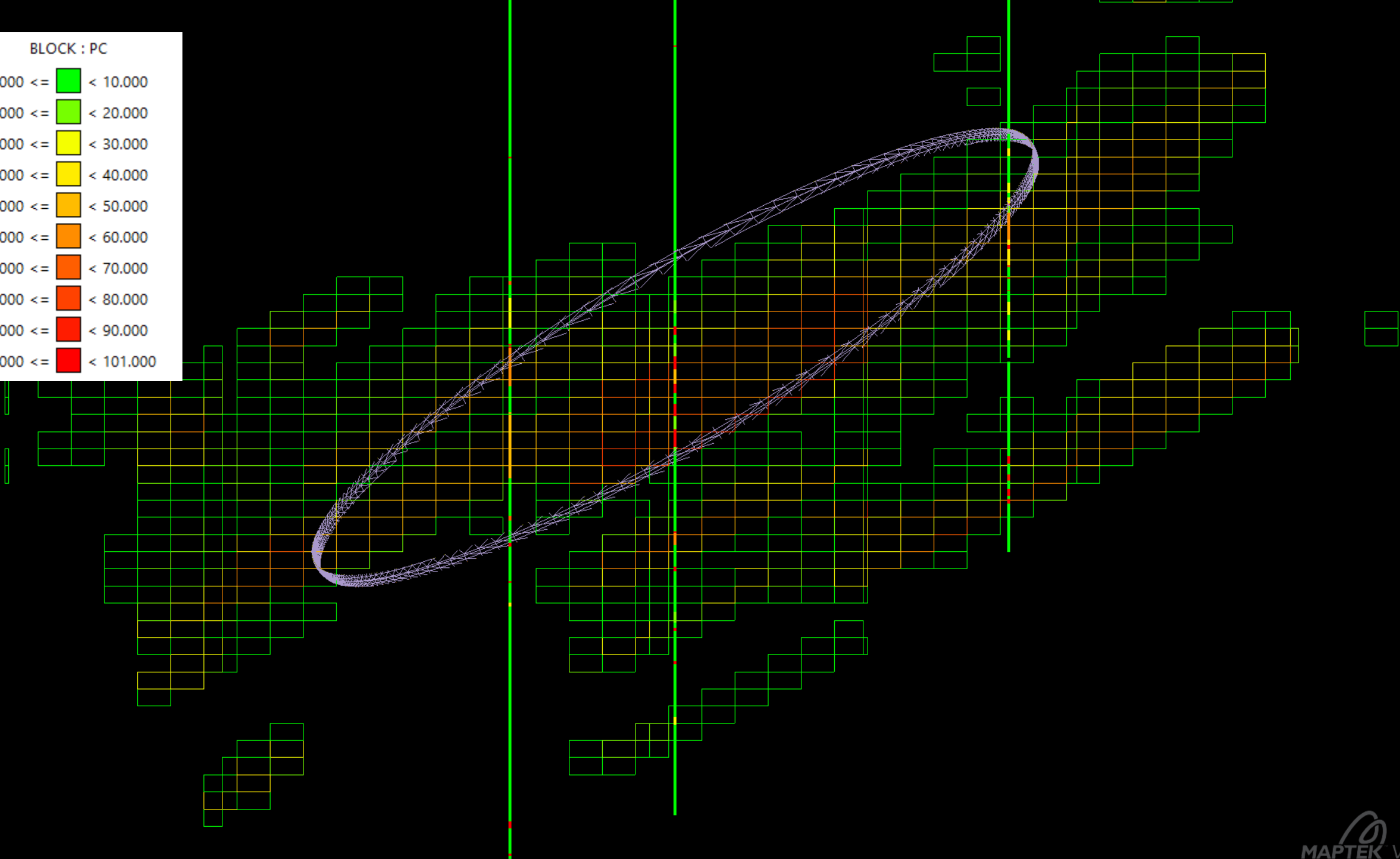
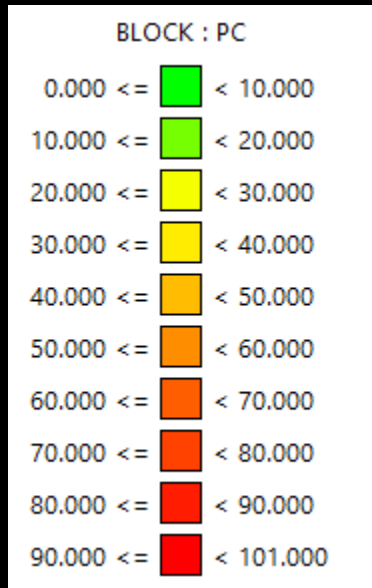


- ▶ Η εκτίμηση των τιμών Mg πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε τύπο μεταλλοφορίας, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα αξιολογημένα διαστήματα των γεωτρήσεων, ενώ το αποτέλεσμα της εκτίμησης αποθηκεύτηκε στην αντίστοιχη μεταβλητή εκτίμησης.
- ▶ Για να εκτιμηθεί ένα μπλοκ ως προς την ποιότητα συγκεκριμένου τύπου μεταλλοφορίας, εφαρμόστηκε η συνθήκη το μπλοκ αυτό να έχει εκτιμηθεί ότι ένα μέρος του όγκου του βρίσκεται εντός των ορίων του τύπου αυτού.
- ▶ Μετά την εκτίμηση, οι τρεις μεταβλητές ποιότητας συνδυάστηκαν για τον υπολογισμό της σταθμισμένης ποιότητας (mg_wavg) των μπλοκ σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$mg_wavg = mag_pc \times mg_mag + sym_pc \times mg_sym + stw_pc \times mg_stw$$

όπου,

mag_pc , sym_pc , stw_pc τα ποσοστά κατά όγκο των τριών τύπων μεταλλοφορίας, και mg_mag , mg_sym , mg_stw οι εκτιμήσεις ποιότητας τους.



Επικύρωση αποτελεσμάτων

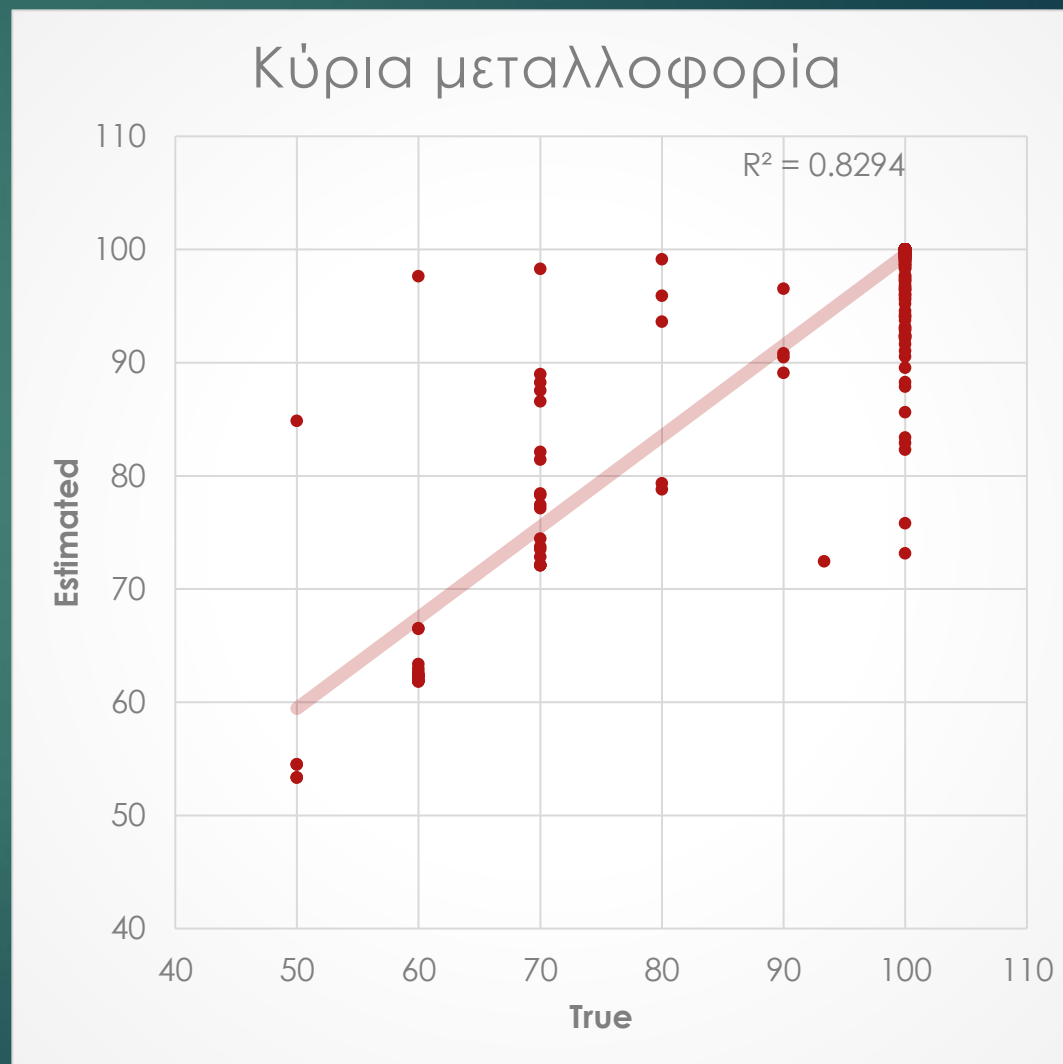


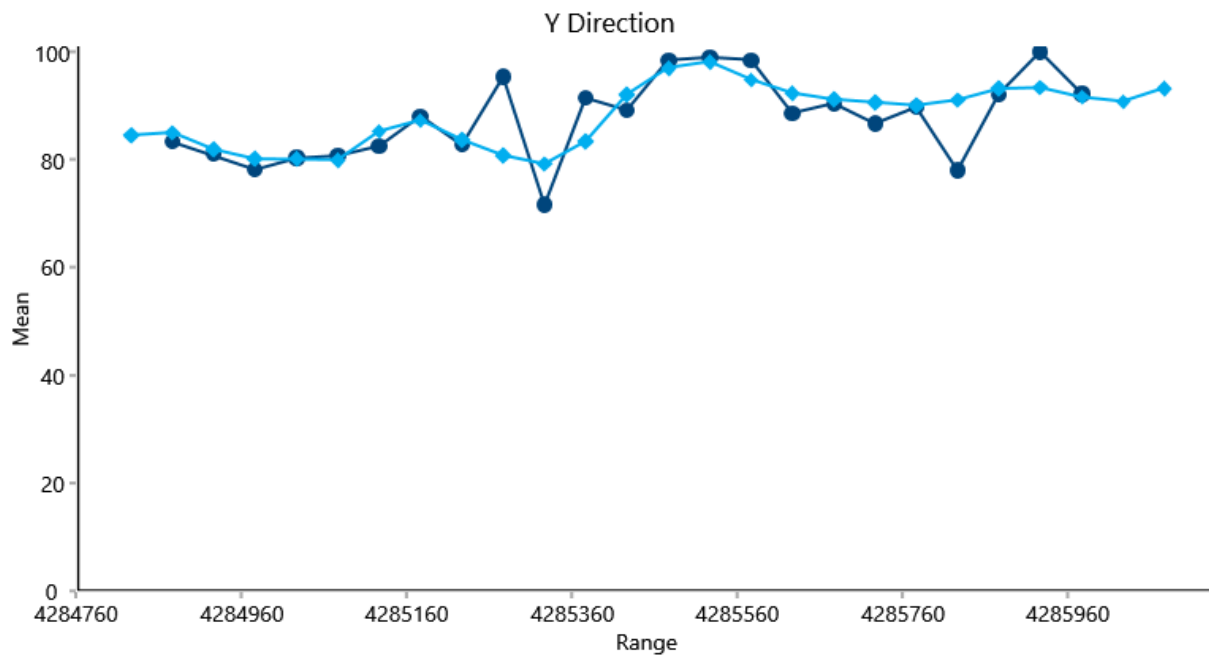
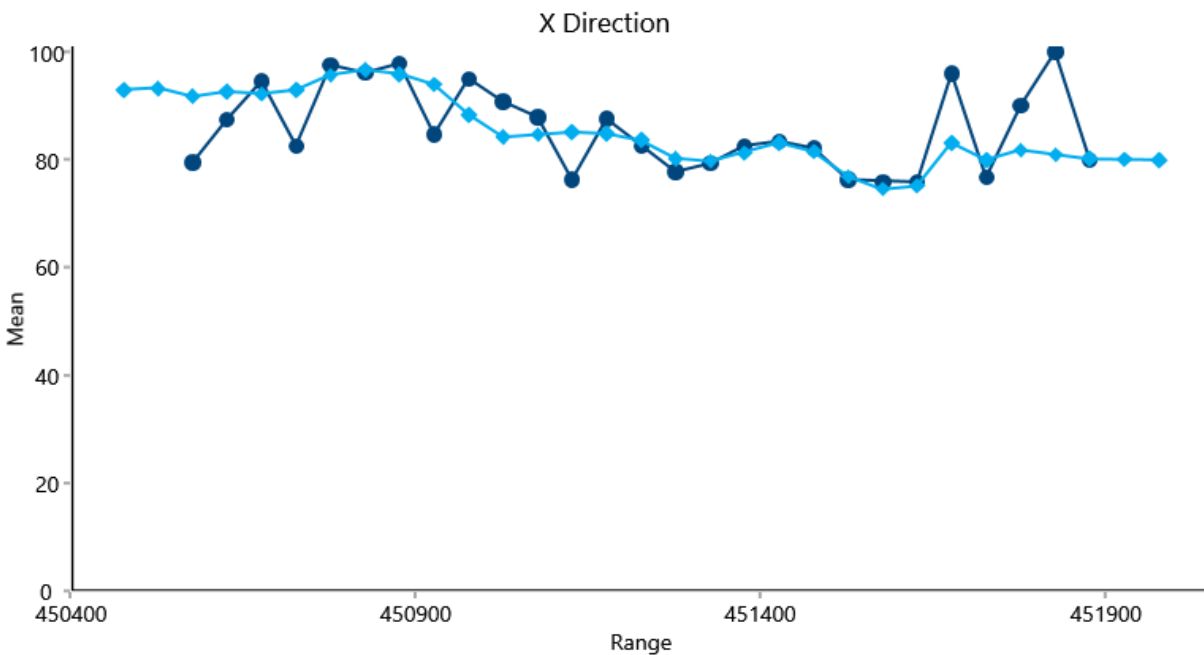
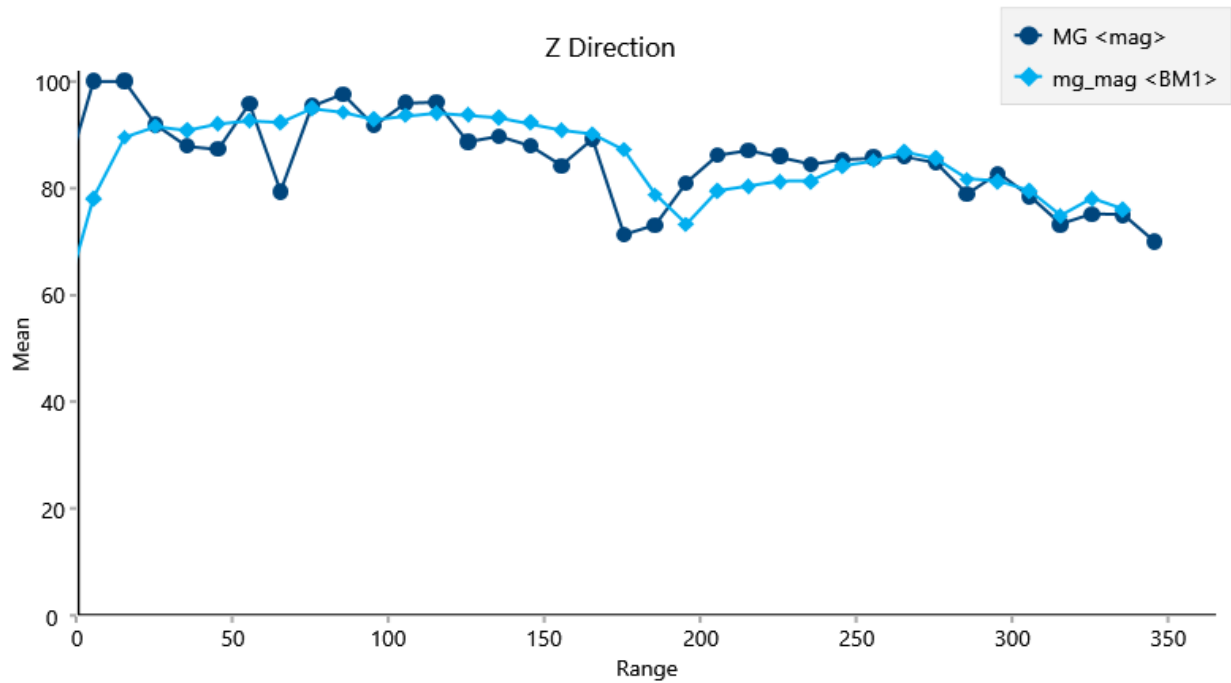
Για την επικύρωση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω αναλύσεις ανά τύπο μεταλλοφορίας:

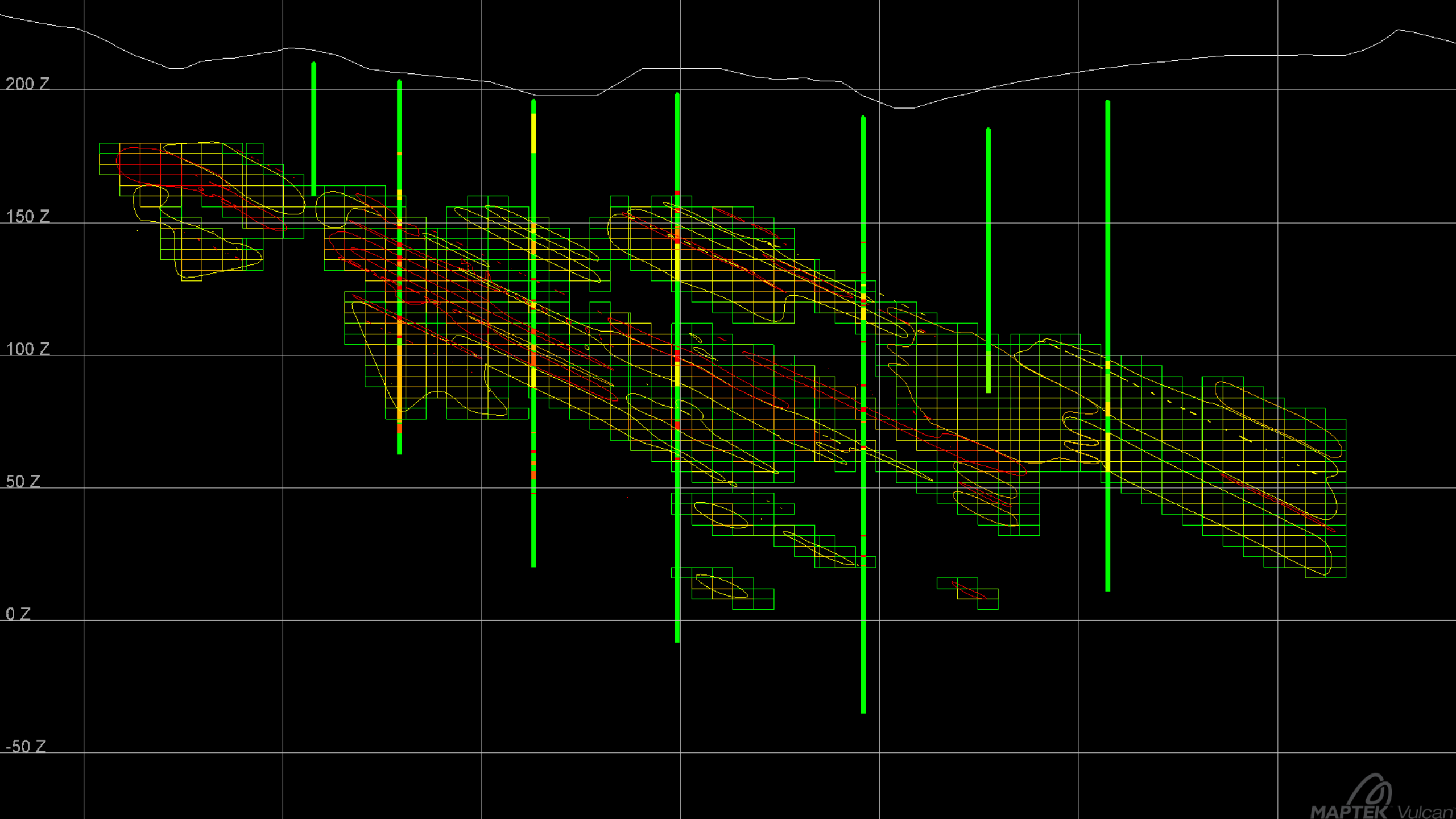
- ▶ Στατιστική ανάλυση εκτιμήσεων και σύγκριση με τα αξιολογημένα δείγματα.
- ▶ Διαγράμματα διασποράς εκτίμησης έναντι πραγματικής τιμής των αποτελεσμάτων cross-validation στα αξιολογημένα δείγματα.
- ▶ Χωρική ανάλυση διασποράς τιμών εκτίμησης μπλοκ και αξιολογημένων δειγμάτων.
- ▶ Οπτική σύγκριση των εκτιμήσεων μπλοκ και των αξιολογημένων δειγμάτων.



Variable name	MG <mag>	mg mag <BM1>
Source name	wnwmagnesite.cmp.isis	magnesite_final.bmf
Count	1862	67807
Mean	84.61	90.29
Standard deviation	16.47	9.66
Variance	271.36	93.30
CV	0.19	0.11
Max	100.00	100.00
Upper quartile	100.00	98.33
Median	90.00	92.83
Lower quartile	70.00	84.80
Min	10.00	20.96
Skewness	-0.69	-1.30
Kurtosis	-0.60	2.17
Range	90.00	79.04
Geometric mean	82.75	89.70
Geometric variance	1.05	1.01
Harmonic mean	80.39	89.02
Logarithmic mean	4.42	4.50
Logarithmic variance	0.05	0.01
Sichel † statistic	84.82	90.33
Standard deviation (Sample)	16.48	9.66
Variance (Sample)	271.50	93.30
CV (Sample)	0.19	0.11





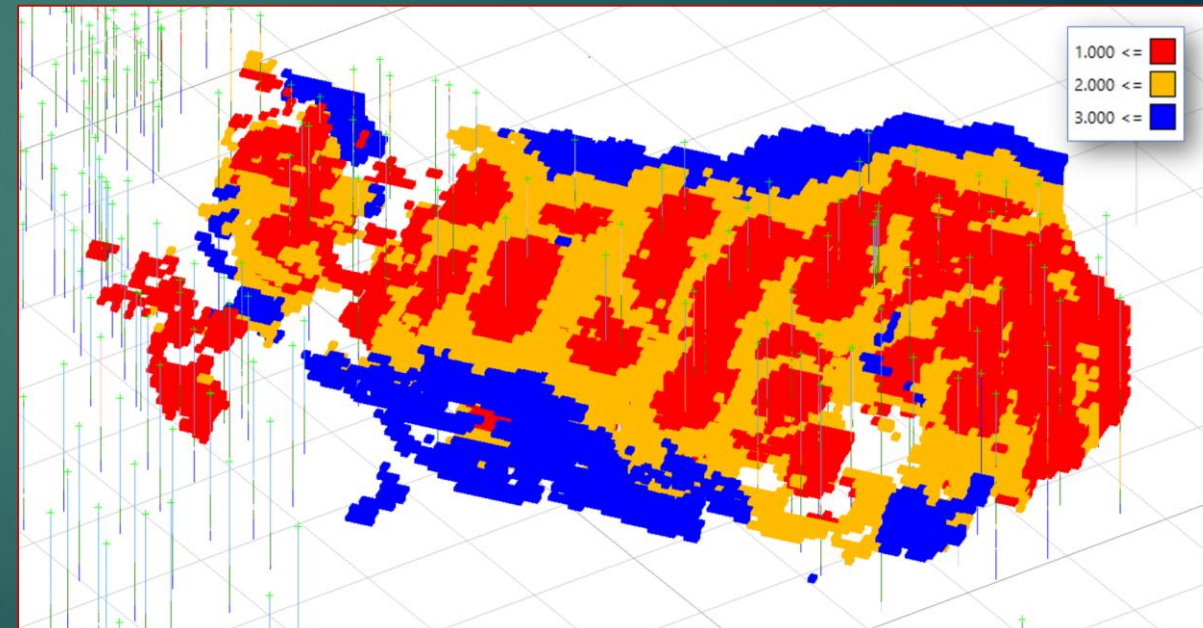


Ταξινόμηση και αναφορά ορυκτών πόρων



- ▶ Η ταξινόμηση και ο υπολογισμός γεωλογικών αποθεμάτων στο συγκεκριμένο παράδειγμα έγινε με ιδιαίτερη επιφύλαξη καθώς τα διαθέσιμα δεδομένα δεν ικανοποιούν τις προδιαγραφές για αναφορά Ορυκτών Πόρων με οποιοδήποτε επίπεδο εμπιστοσύνης.
- ▶ Γενικά, χρησιμοποιούνται διάφορες παράμετροι που λαμβάνουν τιμές κατά την εκτίμηση των μπλοκ και οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν σε ένα σύστημα ταξινόμησης.
- ▶ Το ζητούμενο σε κάθε περίπτωση είναι η ξεκάθαρη περιγραφή και τεκμηρίωση του συστήματος αυτού, ώστε να είναι σαφές το τι υποδηλώνει η κάθε κατηγορία που περιλαμβάνεται στην αναφορά.

	Output Variable Type		Output variable		Default Value
1	Block Variance	▼	block_variance	▼	-99.0
2	Distance to Closest Sample (Cartesian)	▼	min_distance	▼	-99.0
3	Kriging Efficiency	▼	kr_efficiency	▼	-99.0
4	Kriging Variance	▼	kr_variance	▼	-99.0
5	Minimum Kriging Weight	▼	min_weight	▼	-99.0
6	Number of Holes	▼	drillholes	▼	0.0
7	Number of Samples	▼	samples	▼	0.0





Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!