



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Εφαρμογές Μηχανικής Μάθησης στην Εκτίμηση Αποθεμάτων

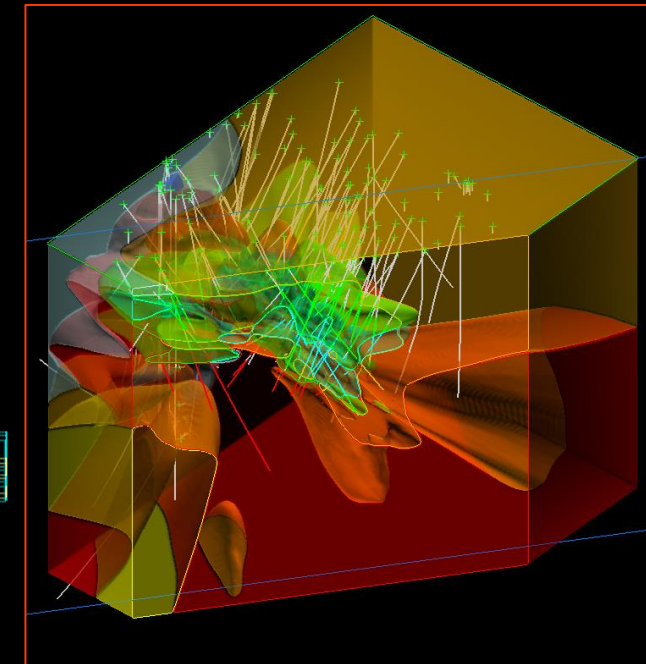
Καπαγερίδης Ιωάννης, PhD CEng CSci MIMMM
Αναπληρωτής Καθηγητής Μεταλλευτικής Πληροφορικής
Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



Εκτίμηση Αποθεμάτων - Γενικά



- Αφορά τον υπολογισμό της ποσότητας και της ποιότητας των υλικών ενός κοιτάσματος ως προς μια πιθανή εκμετάλλευση.
- Ανάλογα με το στάδιο στο οποίο εκτελείται, μπορεί να βασίζεται σε ερευνητικά δεδομένα ή/και δεδομένα παραγωγής.
- Αποτελεί μια επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία.
- Απαιτεί ειδικές γνώσεις, ενώ η ποιότητα και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της εξαρτώνται κατά κανόνα από τις ικανότητες και γνώσεις των ατόμων που την εκτελούν.
- Στην παρουσίαση αυτή, ο όρος «αποθέματα» αφορά τα γεωλογικά αποθέματα, δηλαδή τους Ορυκτούς Πόρους (Mineral Resources).



Στάδια Εκτίμησης Αποθεμάτων



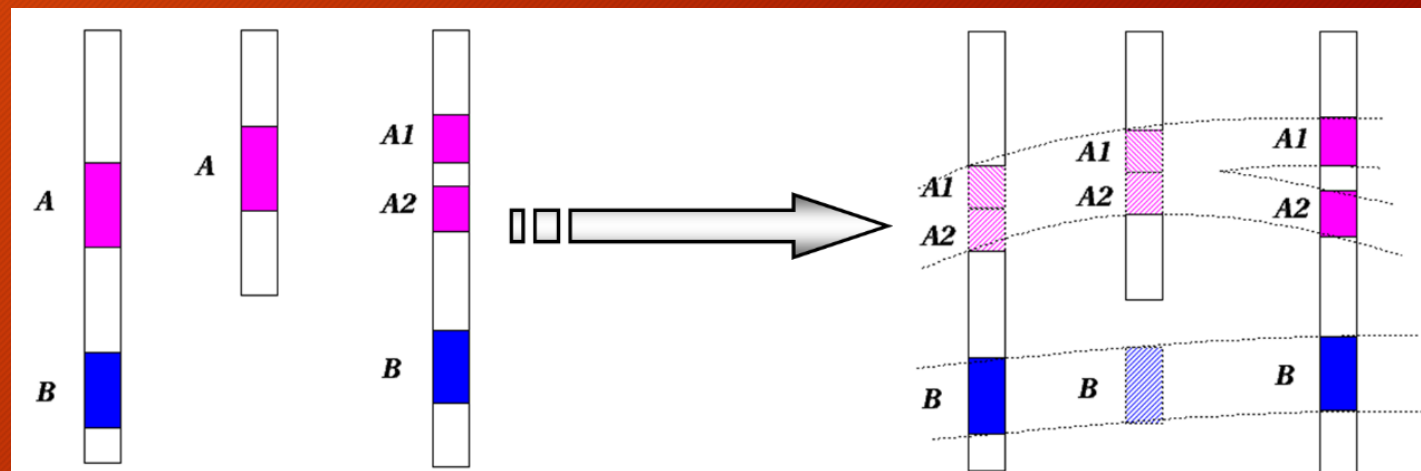
1. Έλεγχος και επικύρωση δεδομένων
2. Στατιστική και χωρική ανάλυση δεδομένων
3. Επεξεργασία δεδομένων (μετασχηματισμός, top cutting, declustering κλπ)
4. Γεωλογική μοντελοποίηση - διαμόρφωση και μοντελοποίηση ζωνών εκτίμησης (domaining)
5. Δομική ανάλυση - βαριογραφία
6. Διαμόρφωση αποθεματικού μοντέλου (μοντέλα πλέγματος ή μπλοκ)
7. Εκτίμηση περιεκτικότητας και άλλων ποσοτικών παραμέτρων, έλεγχος και επικύρωση αποτελεσμάτων
8. Ταξινόμηση και υπολογισμός γεωλογικών αποθεμάτων (mineral resources)

Γεωτρητικά Δεδομένα



- Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση αποθεμάτων προέρχονται από διάφορες πηγές - η κυριότερη είναι οι γεωτρήσεις δειγματοληψίας.
- Τα δεδομένα οργανώνονται σε κατάλληλες βάσεις δεδομένων που επιτρέπουν την εύκολη ανάλυση και οπτικοποίηση τους καθώς και το συσχετισμό τους στο χώρο.

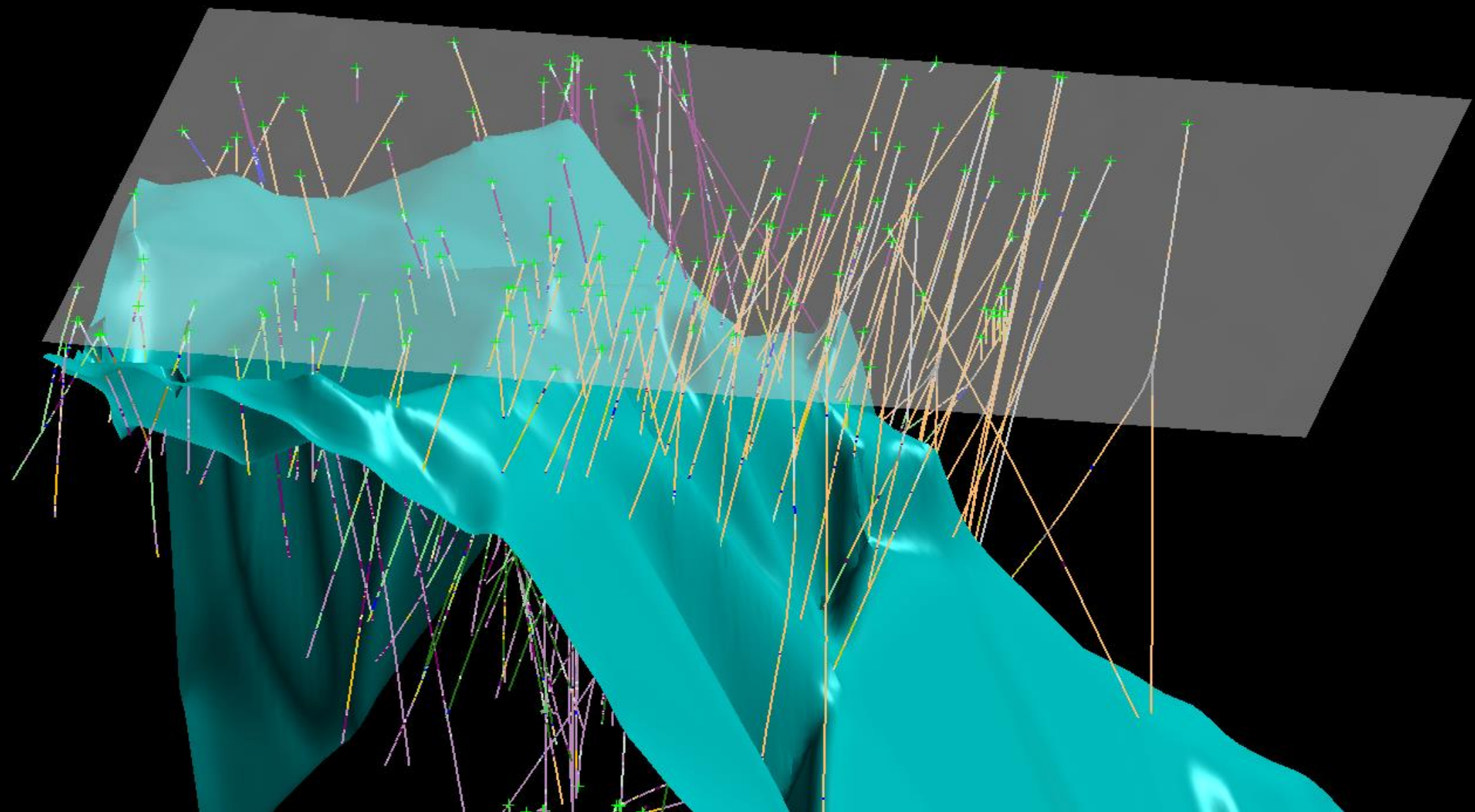
- Η οπτικοποίησή τους γίνεται με χρήση διανυσματικών γραφικών, ενώ ο συσχετισμός τους οδηγεί στην ανάπτυξη γεωλογικών μοντέλων (όρια, επαφές, τεκτονικές επιφάνειες, κλπ), στη βάση μοντέλων πλέγματος και/ή μοντέλων τριγωνισμού (επιφανειακών και κλειστών).



Αποθεματικό Μοντέλο



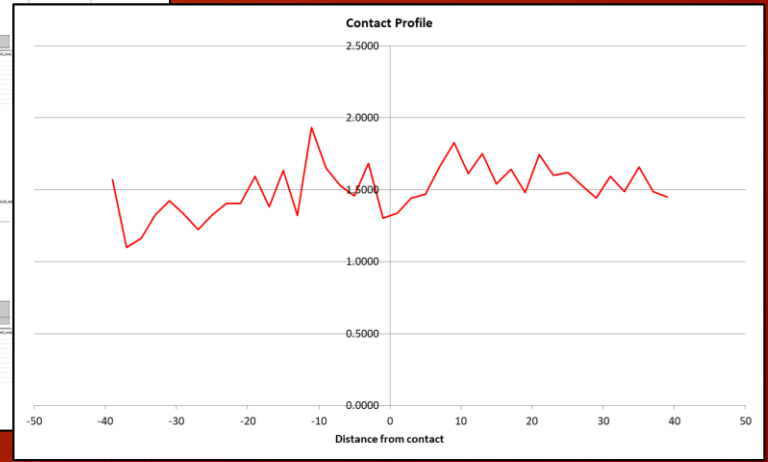
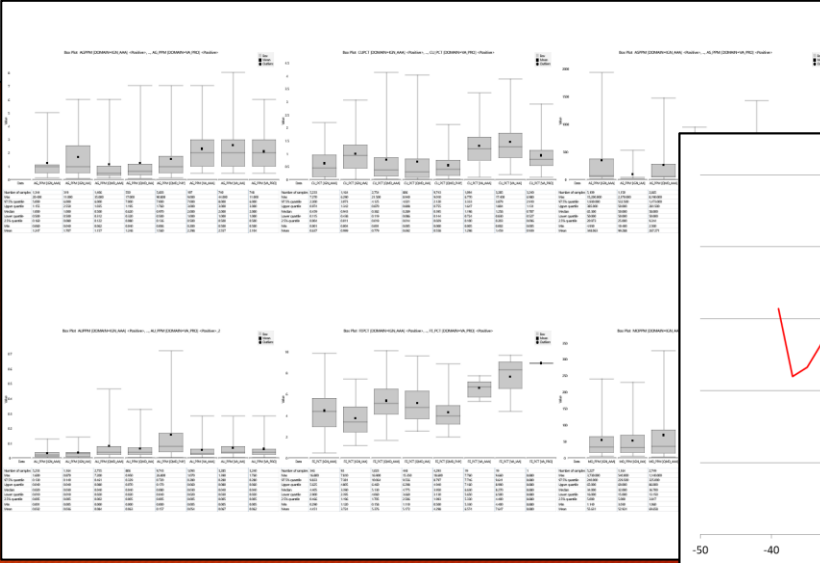
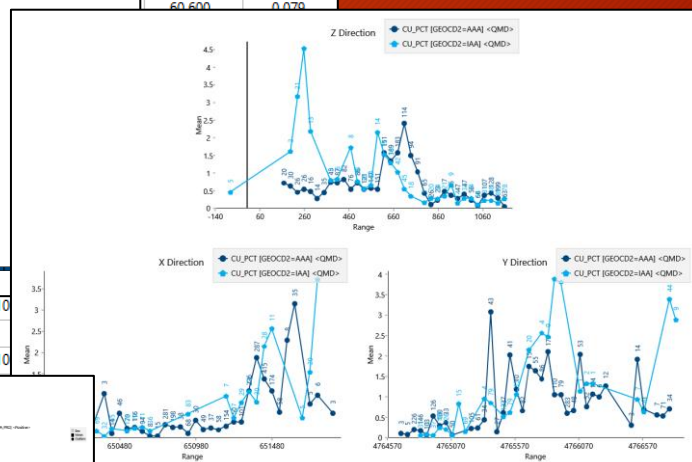
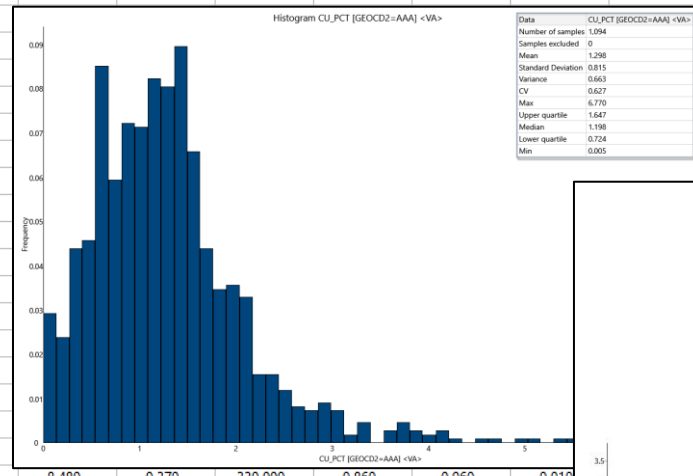
- Η εκτίμηση αποθεμάτων βασίζεται στη χρήση ενός μοντέλου, το οποίο αποτελείται από κανονικά διατεταγμένα σημεία στο χώρο (σε 2 ή 3 διαστάσεις).
- Πιο συχνά, τα μοντέλα αυτά είναι τρισδιάστατα, δηλαδή η θέση των σημείων τους προσδιορίζεται σε 3 διαστάσεις και αποτελούν κέντρα βάρους όγκων (μπλοκ) που σχετίζονται με τη μονάδα εξόρυξης.
- Η κωδικοποίηση των μπλοκ αυτών ως προς τη ζώνη εκτίμησης που ανήκουν, και η εκτίμηση τους ως προς τις ποιοτικές και ποσοτικές παραμέτρους που ενδιαφέρουν, οδηγεί στην ολοκλήρωση του αποθεματικού μοντέλου.
- Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται ως τη βάση για το μεταλλευτικό σχεδιασμό, και σε συνδυασμό με κρίσιμες μεταλλευτικές παραμέτρους, οδηγούν στην ανάπτυξη του σχεδίου εκμετάλλευσης και τον υπολογισμό των μεταλλευτικών αποθεμάτων.



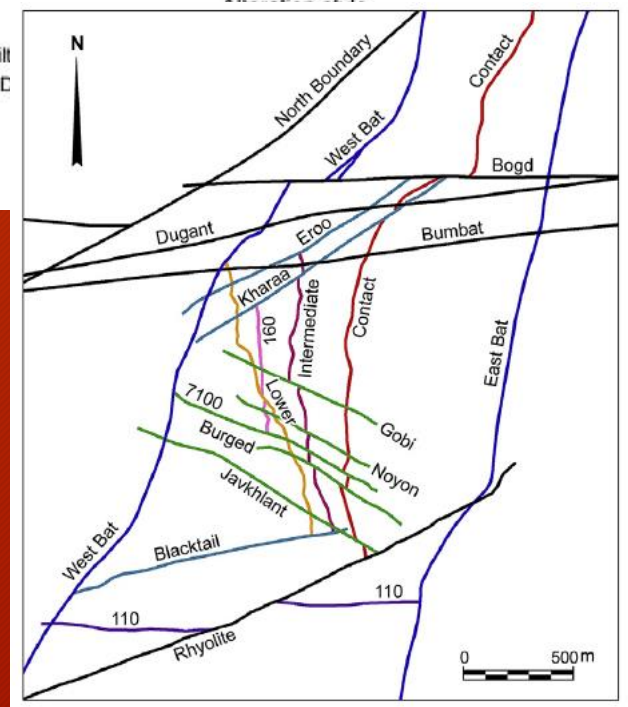
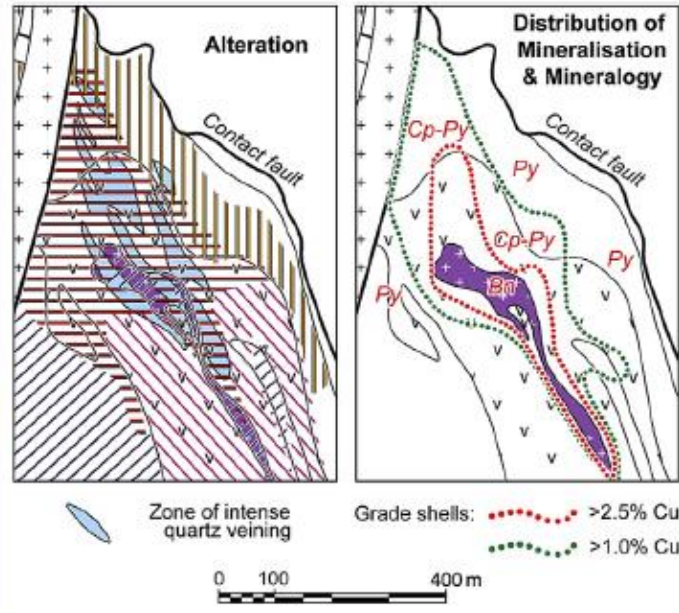
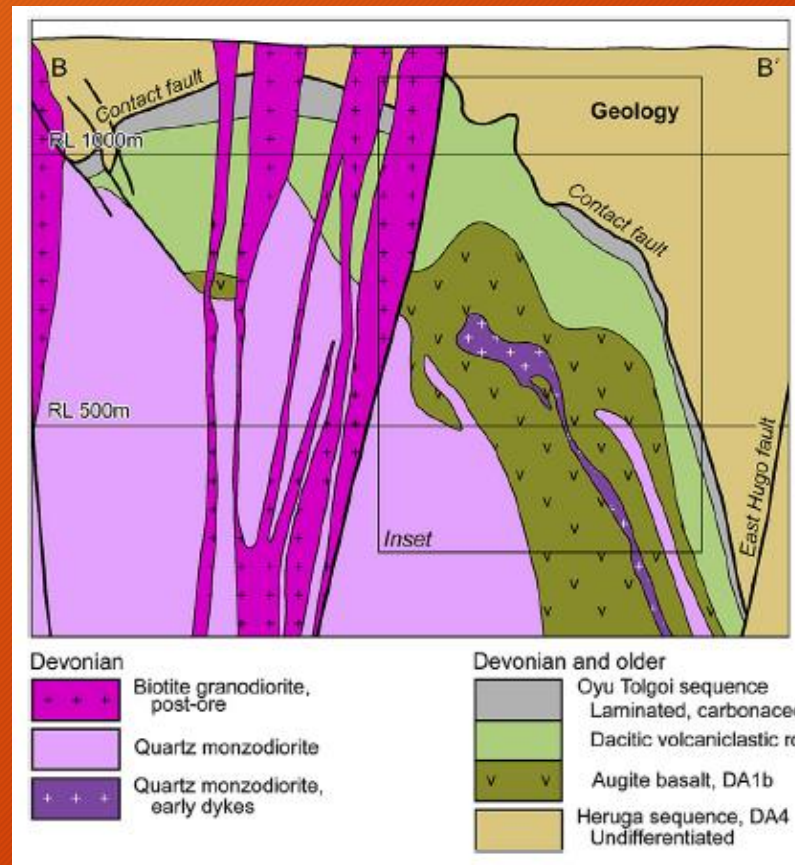
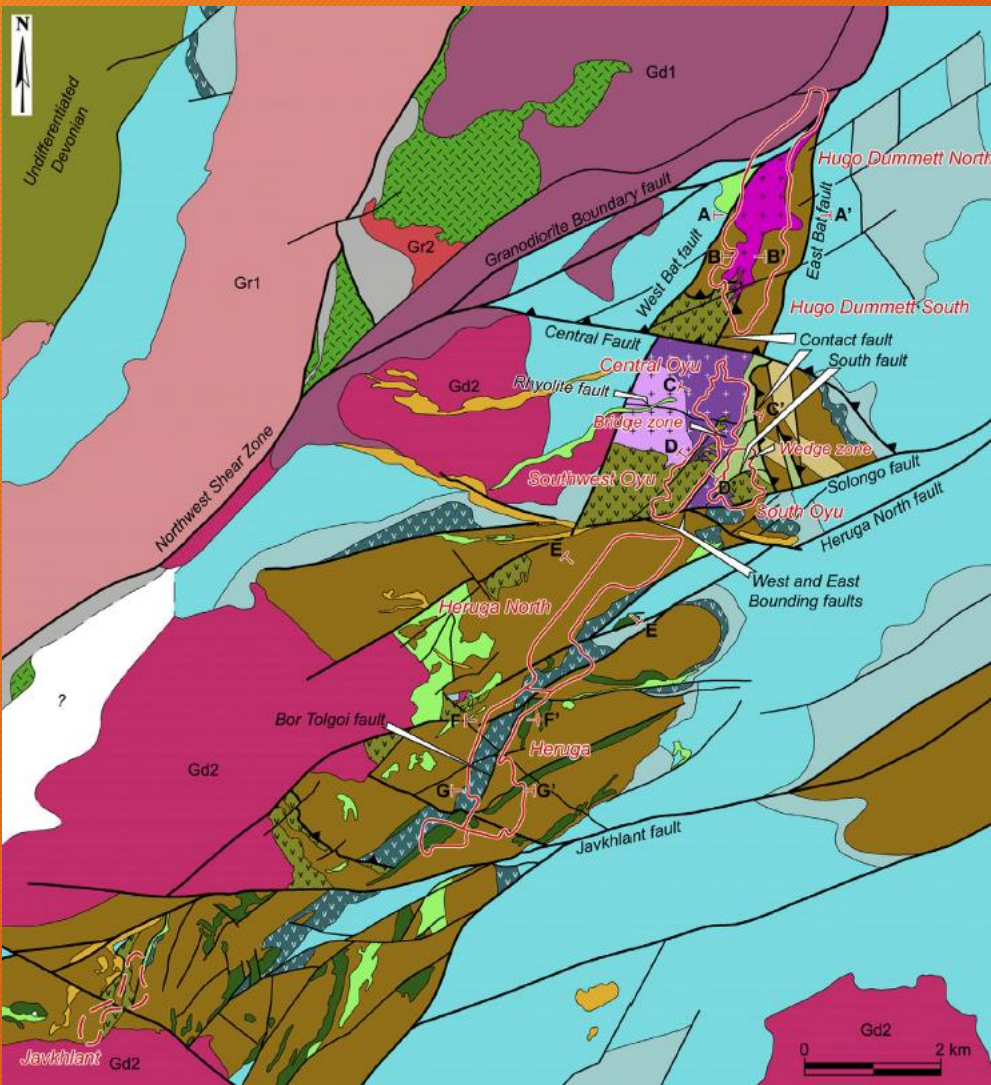


COLLAR	SURVEY	LITHOLOGY	MINERALISATION	ASSAY	ALTERATION	DENSITY
	FROM	TO	MLITH			
1	0.000	11.800	CLAY			
2	11.800	14.700	AND			
3	14.700	14.950	FLT			
4	14.950	16.450	AND			
5	16.450	17.000	FLT			
6	17.000	30.200	AND			
7	30.200	32.000	BAD			
8	32.000	38.850	HWS			
9	38.850	48.400	INTR			
10	48.400	49.100	FLT			
11	49.100	49.400	NO CORE			
12	49.400	50.200	FLT			
13	50.200	51.400	AND			
14	51.400	52.800	HWS			
15	52.800	55.200	BAD			
16	55.200	59.600	FLT			
17	59.600	69.700	HWS			
18	69.700	86.150	AND			
19	86.150	98.000	BIGD			
20	98.000	99.100	FLT			
21	99.100	173.450	HWS			
22	173.450	175.870	BAD			

COLLAR	SURVEY	LITHOLOGY	MINERALISATION	ASSAY	ALTERATION	DENSITY	SAMPLEID	SAMPFROM	SAMPPTO	SAMPLETYPE	AU_PPM	AG_PPM	CU_PCT	AS_PPM	C_PCT	F_PPM	FE_PCT	MO_PPM	S_PCT	PB_PPM	ZN_PPM	CD_PPM		
1	NS0004278							0.000	10.000	NS														
2	MO326830							10.000	12.000	HALFCORE	0.003	0.058	0.004	12.750	1.980	730.000	3.210	2.650	0.030	18.450	62.400	0.242		
3	MO326831							12.000	14.000	HALFCORE	0.011	0.111	0.008	66.000	2.060	570.000	5.770	4.570	0.020	35.900	98.600	0.288		
4	NS0004279							14.000	20.000	NS														
5	MO326832							20.000	22.000	HALFCORE	0.002	0.050	0.001								42.200	0.069		
6	NS0004280							22.000	30.000	NS														
7	MO326834							30.000	32.000	HALFCORE	0.003	0.112	0.011								83.100	0.163		
8	NS0004281							32.000	40.000	NS														
9	MO326835							40.000	42.000	HALFCORE	0.000	0.061	0.002								66.700	0.100		
10	NS0004282							42.000	50.000	NS														
11	MO326836							50.000	52.000	HALFCORE	0.007	0.076	0.004								60.600	0.070		
12	MO326837							52.000	54.000	HALFCORE	0.005	0.097	0.007											
13	MO326838							54.000	56.000	HALFCORE	0.005	0.088	0.008											
14	MO326839							56.000	58.000	HALFCORE	0.004	0.082	0.010											
15	MO326840							58.000	60.000	HALFCORE	0.005	0.416	0.015											
16	MO326841							60.000	62.000	HALFCORE	0.010	2.650	0.021											
17	MO326842							62.000	64.000	HALFCORE	0.008	1.915	0.020											
18	MO326843							64.000	66.000	HALFCORE	0.006	0.440	0.013											
19	MO326845							66.000	68.000	HALFCORE	0.013	0.426	0.011											
20	MO326846							68.000	70.000	HALFCORE	0.007	0.343	0.010											
21	NS0004283							70.000	80.000	NS														
22	MO326847							80.000	82.000	QTRCORE	0.000	0.007	0.000											
23	NS0004284							82.000	90.000	NS														
24	MO326848							90.000	92.000	QTRCORE	0.003	0.028	0.004	5.900	1.090	560.000	4.010	0.360	0.010					
25	NS0004285							92.000	100.000	NS														
26	MO326849							100.000	102.000	HALFCORE	0.008													
27	NS0004286							102.000	110.000	NS														

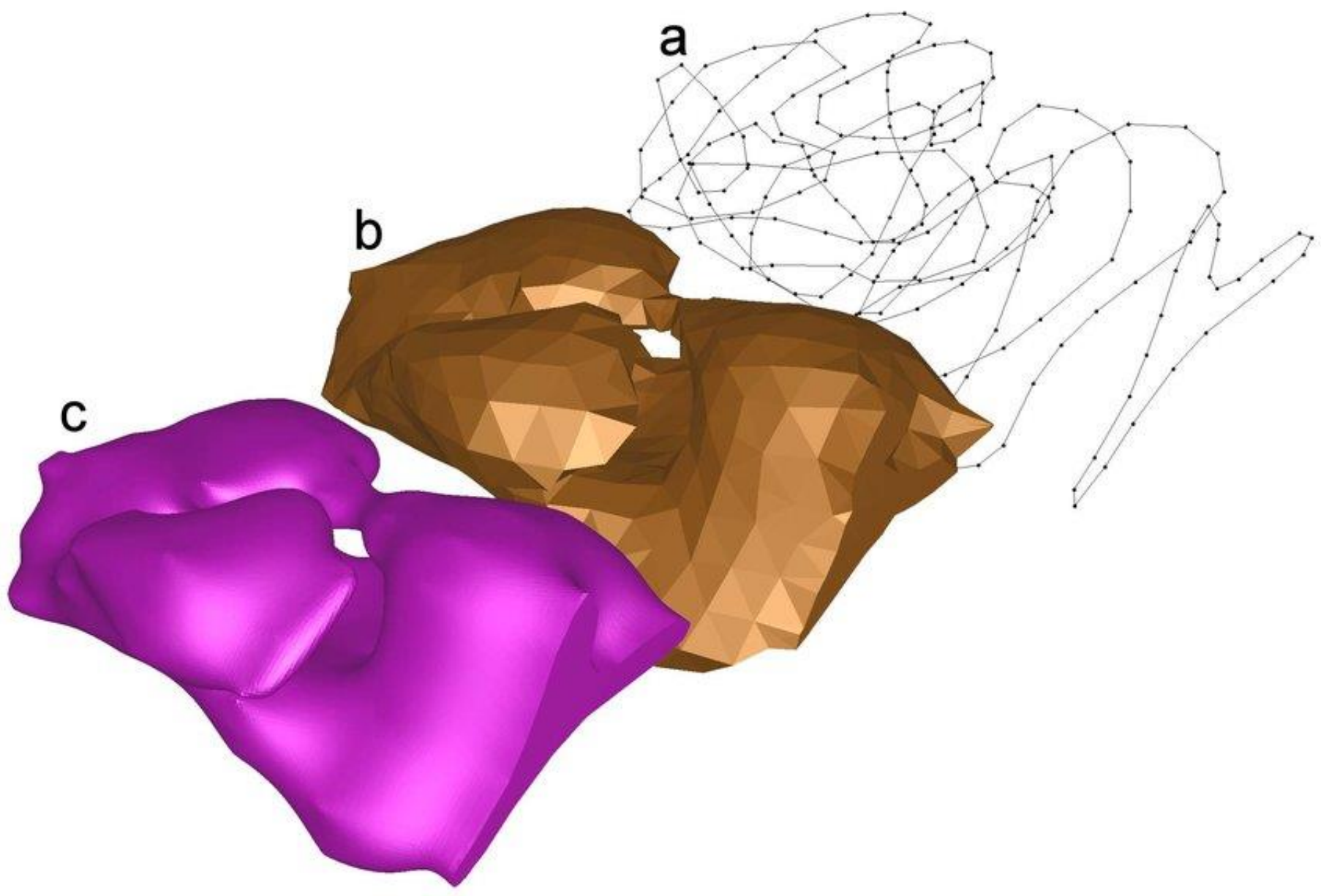


Επικύρωση, στατιστική και χωρική ανάλυση δεδομένων δειγματοληψίας - αναγνώριση ζωνών εκτίμησης και ομαδοποίηση δεδομένων



Porter, T.M., The geology, structure and mineralisation of the Oyu Tolgoi porphyry copper-gold-molybdenum deposits, Mongolia: A review, *Geoscience Frontiers*, Volume 7, Issue 3, 2016, Pages 375-407, ISSN 1674-9871, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.08.003>.

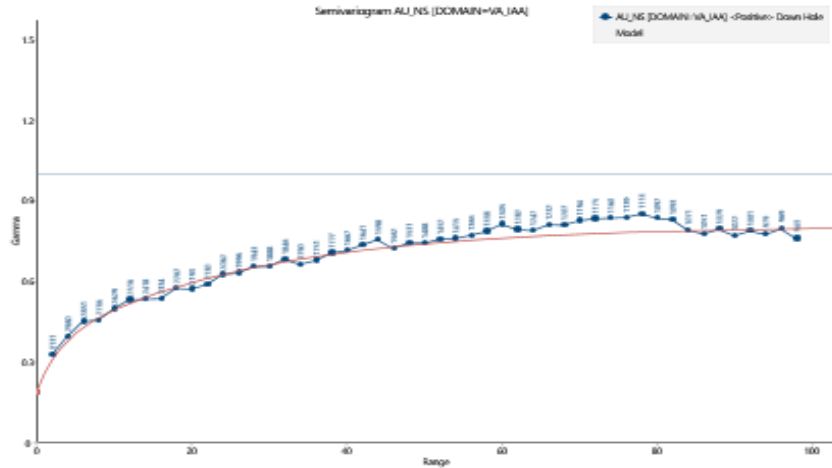
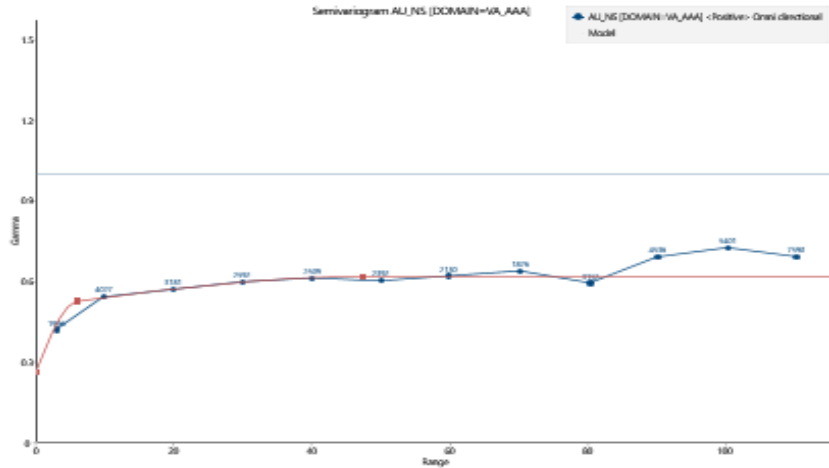
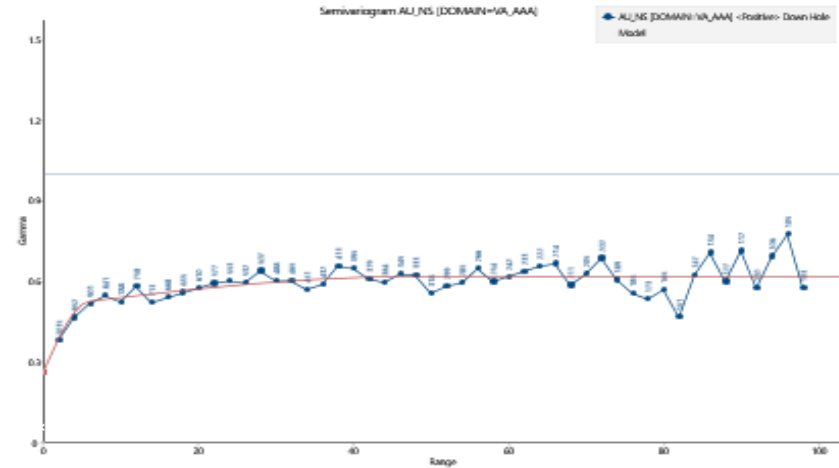
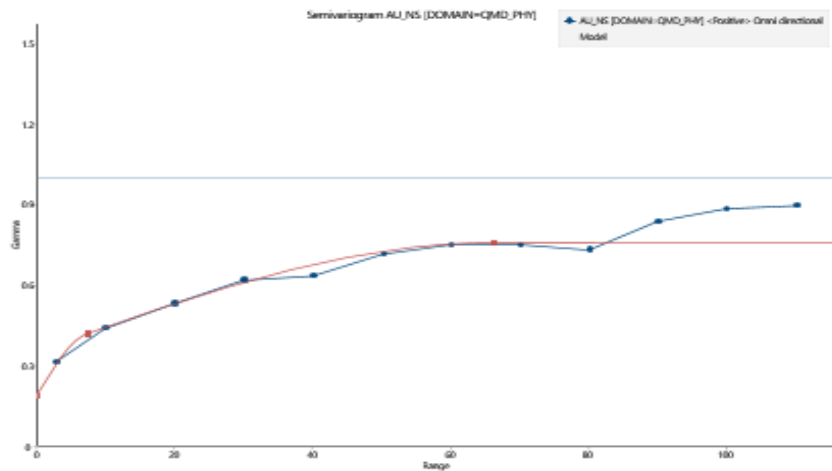
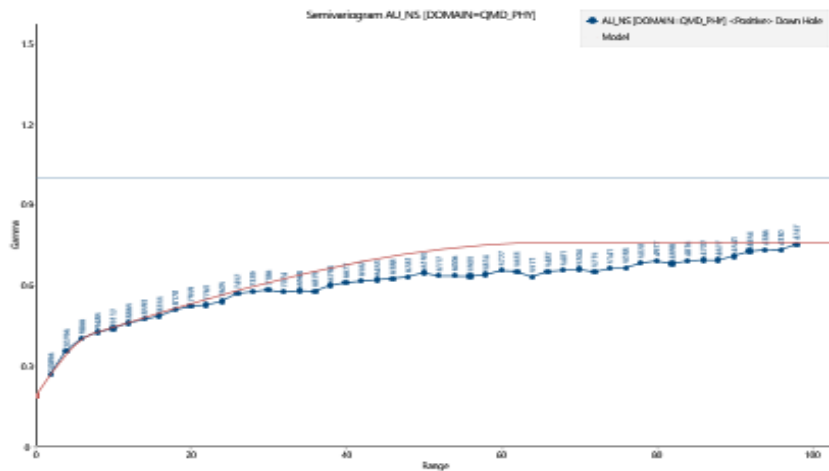
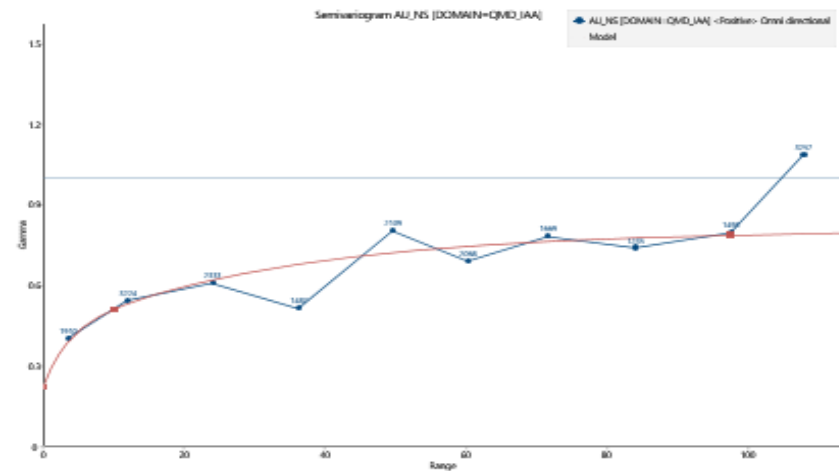
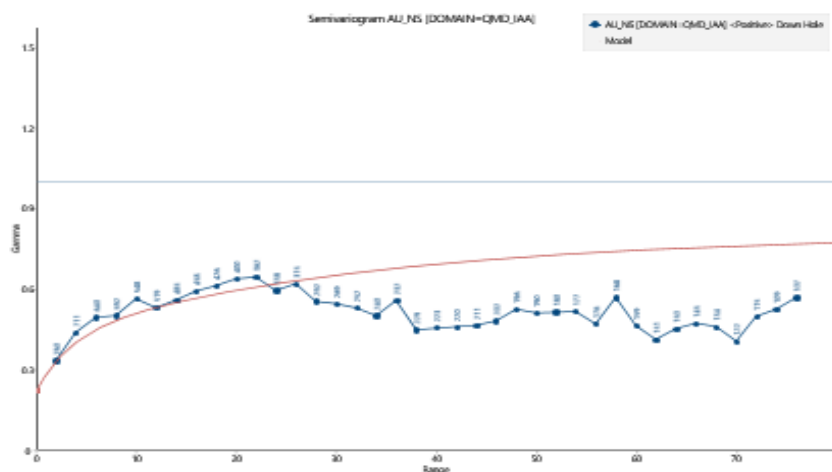
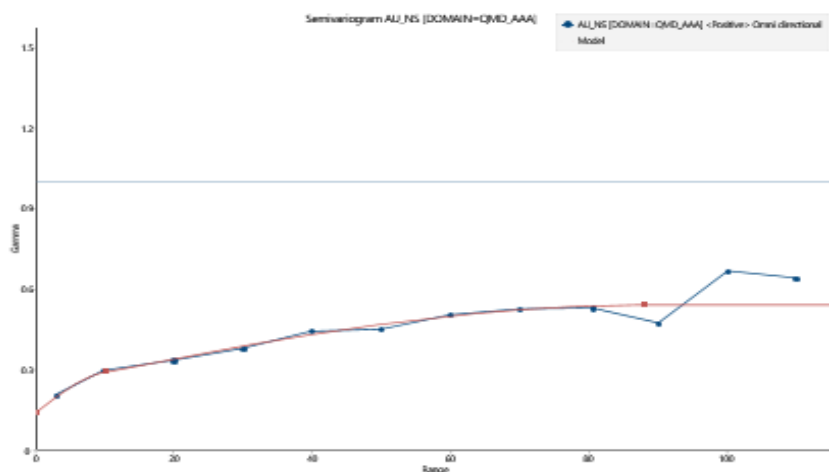
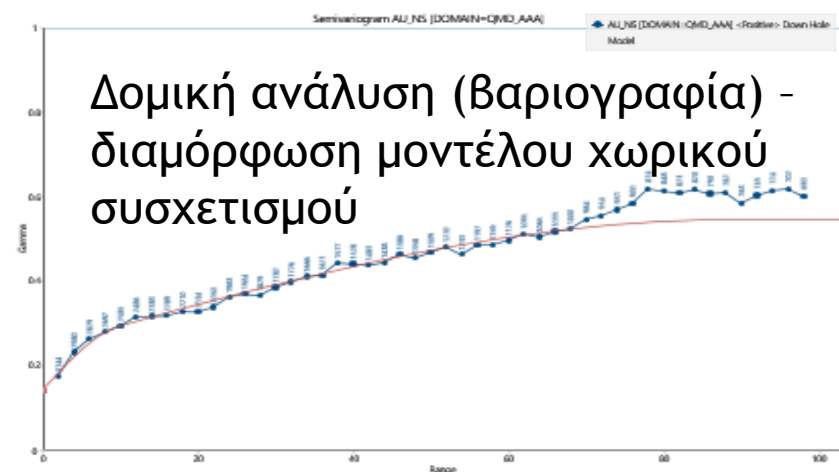
Ενσωμάτωση γεωλογικής γνώσης
(γενετικά μοντέλα, τεκτονική,
λιθολογία, εξαλλοιώσεις, κλπ)



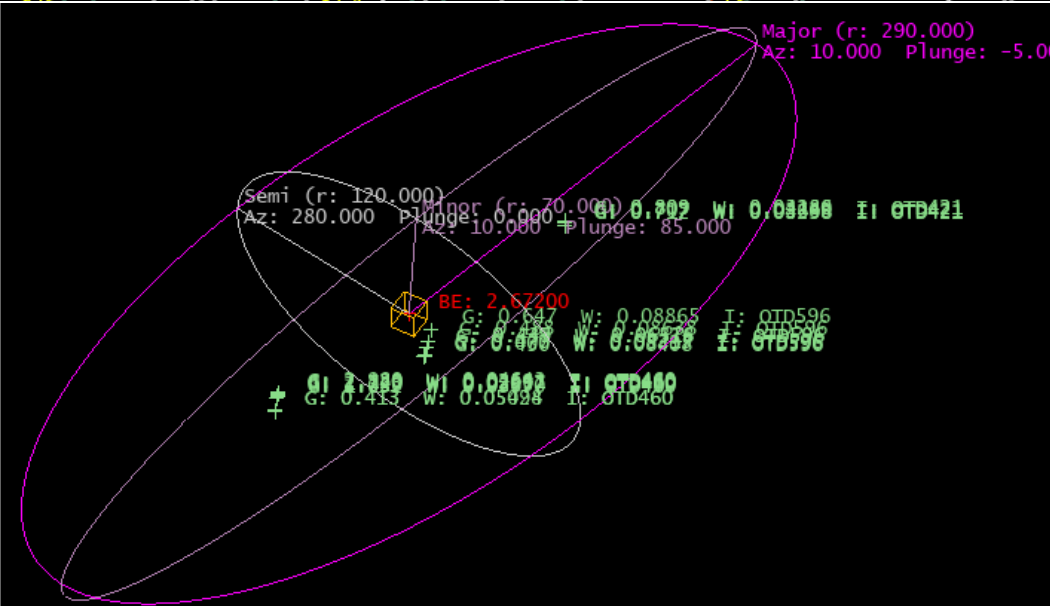
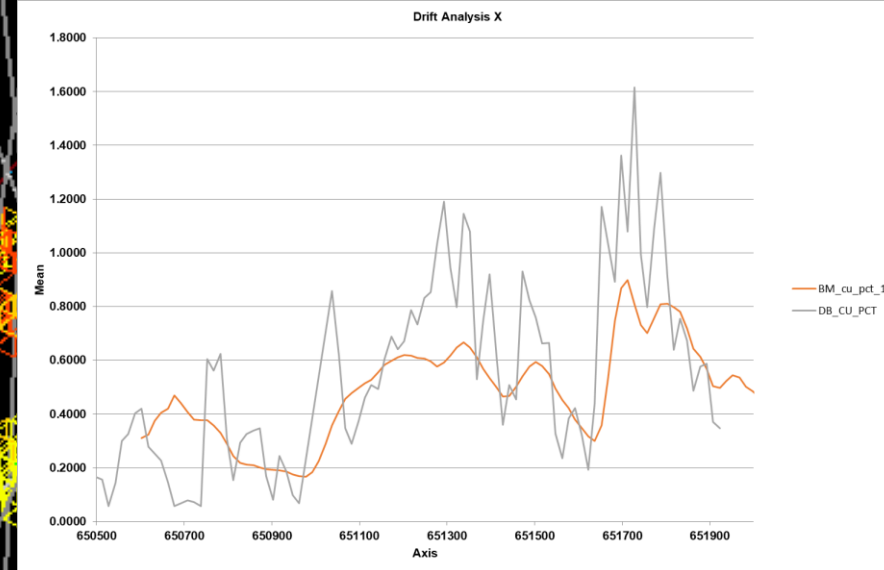
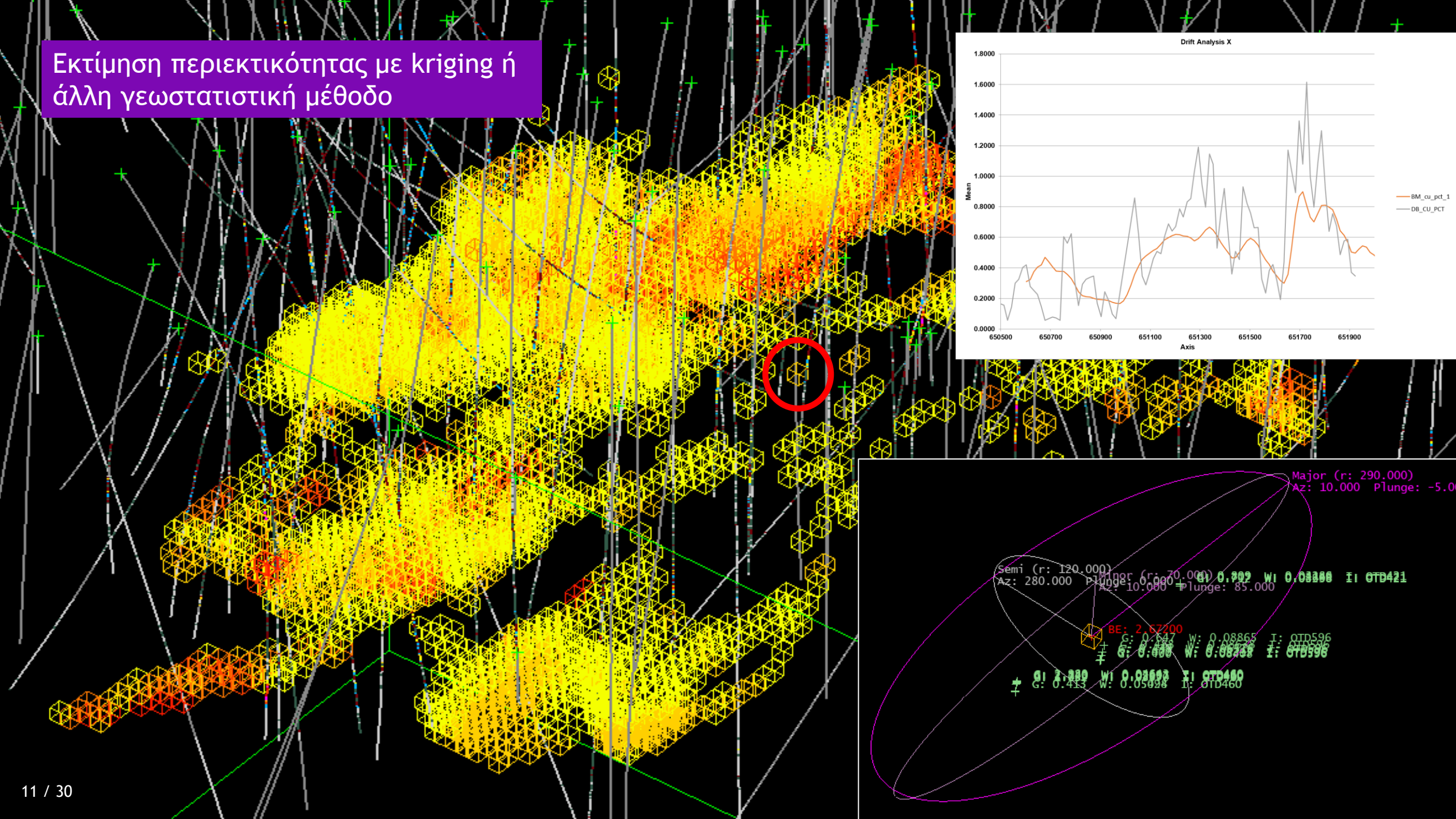
Ανάπτυξη γεωλογικών
μοντέλων με συμβατικές
και implicit τεχνικές -
καθορισμός ορίων
ζωνών εκτίμησης

Cowan, Jun & Beatson, Rick & Fright, W.R. & McLennan, T.J. & Mitchell, T.J.. (2002).
Rapid geological modelling. International Symposium, Kalgoorlie. 23-25.

Δομική ανάλυση (βαριογραφία) - διαμόρφωση μοντέλου χωρικού συσχετισμού



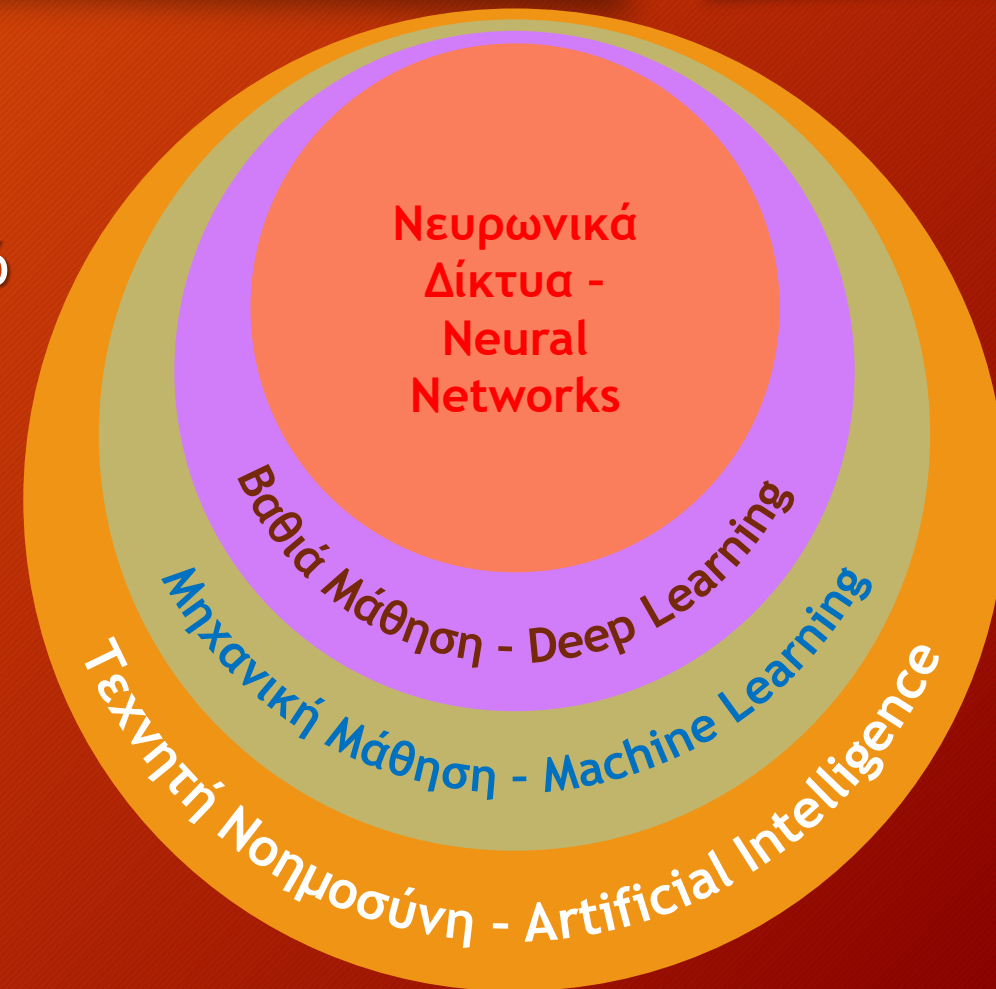
Εκτίμηση περιεκτικότητας με kriging ή άλλη γεωστατιστική μέθοδο



Μηχανική Μάθηση - Γενικά



- Η μηχανική μάθηση (ΜΜ) είναι ένα υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) που επικεντρώνεται στην εκπαίδευση των υπολογιστών ώστε να μαθαίνουν από τα δεδομένα και να βελτιώνονται με την εμπειρία - σε αντίθεση με τον κλασικό προγραμματισμό τους.
- Στη μηχανική μάθηση, οι αλγόριθμοι εκπαιδεύονται για να βρίσκουν μοτίβα και συσχετίσεις σε μεγάλα σύνολα δεδομένων ώστε να προχωρούν σε προβλέψεις και να υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων.



Μορφές Μηχανικής Μάθησης



Μορφές μηχανικής μάθησης

- **Επιβλεπόμενη:** μάθηση με παραδείγματα που συνδυάζουν τιμές εισόδου και τις προσδοκώμενες τιμές εξόδου
- **Μη-επιβλεπόμενη:** μάθηση με παραδείγματα στα οποία παρέχονται μόνο οι τιμές εισόδου
- **Ημι-επιβλεπόμενη:** μάθηση με παραδείγματα στα οποία μόνο ένα μικρό μέρος συνδυάζει τιμές εισόδου και τιμές εξόδου
- **Ενισχυτική ή ενισχυμένη:** μοντέλο εκμάθησης που δεν περιλαμβάνει τιμές εξόδου αλλά εισάγει ένα σύνολο επιτρεπόμενων δράσεων, κανόνων και πιθανών τελικών καταστάσεων.

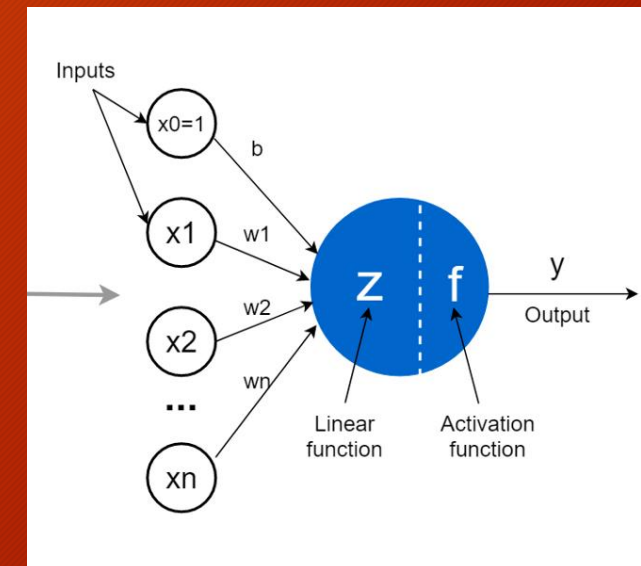
Κατηγορίες προβλημάτων

- **Παλινδρόμηση:** συσχέτιση μεταξύ μίας εξαρτώμενης αριθμητικής μεταβλητής και μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών
- **Ταξινόμηση:** δημιουργία μοντέλων διακριτών τάξεων / κλάσεων οι οποίες είναι γνωστές εκ των προτέρων.
- **Συσταδοποίηση:** διαχωρισμός συνόλου εισόδων σε ομάδες οι οποίες δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων.
- **Μείωση διαστασιμότητας:** απλοποίηση και αντιστοίχιση των δεδομένων σε χώρο λιγότερων διαστάσεων.

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ)



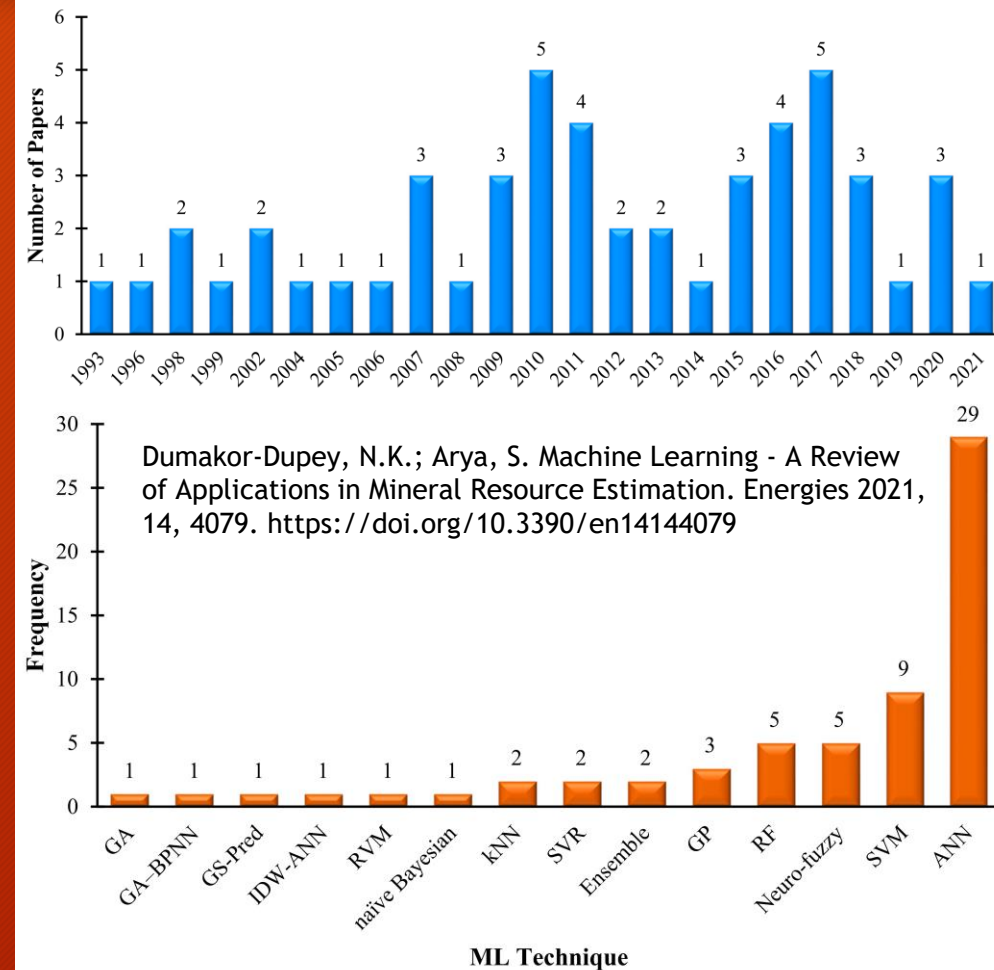
- Πρόκειται για δίκτυα επεξεργαστικών στοιχείων που αποκαλούνται **νευρώνες**.
- Κάθε νευρώνας δέχεται ένα σύνολο αριθμητικών εισόδων από διαφορετικές πηγές (είτε από άλλους νευρώνες, είτε από το περιβάλλον), επιτελεί έναν υπολογισμό με βάση αυτές τις εισόδους και παράγει μία έξοδο χρησιμοποιώντας μια **συνάρτηση ενεργοποίησης**.
- Υπάρχουν τρεις τύποι νευρώνων: **εισόδου**, **εξόδου** και οι **κρυφοί**.
- Οι νευρώνες είναι οργανωμένοι σε επίπεδα και ενώνονται μεταξύ τους με **συνάψεις**, οι οποίες διαθέτουν μεταβλητό βάρος.
- Η μάθηση σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο επιτυγχάνεται μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας σταδιακής προσαρμογής των παραμέτρων του δικτύου σε τιμές κατάλληλες ώστε να επιλύεται με επαρκή επιτυχία το προς εξέταση πρόβλημα.



Μηχανική Μάθηση στην Εκτίμηση Αποθεμάτων



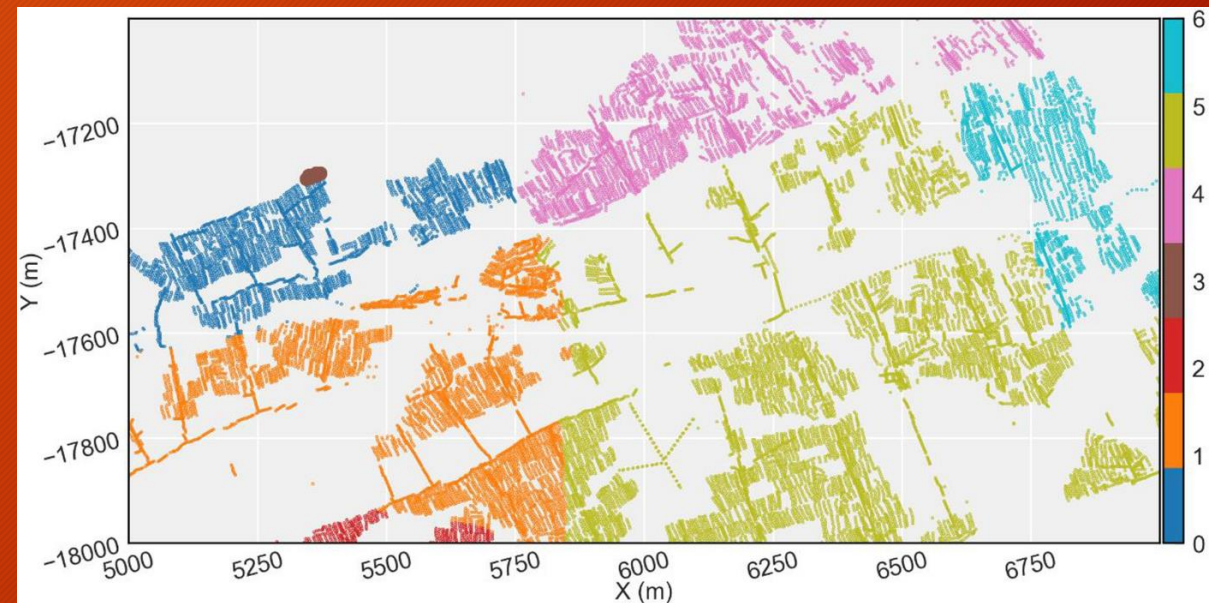
- Συσταδοποίηση / ταξινόμηση δεδομένων (SVM, νευρωνικά δίκτυα, clustering)
- Μείωση διαστασιμότητας δεδομένων (PCA, κλπ)
- Γεωλογική μοντελοποίηση / μοντέλα ζωνών εκτίμησης (νευρωνικά δίκτυα)
- Βαριογραφία και προσαρμογή μοντέλων βαριογράμματος (clustering και μέθοδοι παλινδρόμησης)
- Χωρική παρεμβολή / εκτίμηση περιεκτικότητας (κυρίως νευρωνικά δίκτυα, συνδυασμός με kriging)
- Βελτιστοποίηση παραμέτρων εκτίμησης (γενετικοί/εξελικτικοί αλγόριθμοι)



Συσταδοποίηση / Ταξινόμηση Δεδομένων



- Αφορά κυρίως την αναγνώριση των ομάδων των δεδομένων οι οποίες θα αποτελέσουν τις ζώνες εκτίμησης.
- Αξιοποιούνται γεωλογικές και αναλυτικές πληροφορίες των δειγμάτων ως είσοδοι στο επιλεγμένο σύστημα ΜΜ.
- Οι διακριτές πιθανές τιμές εξόδου (ομάδες) μπορεί να μην είναι γνωστές (συσταδοποίηση) ή να παρέχονται στο σύστημα κατά την εκπαίδευση (ταξινόμηση).
- Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η αντιστοίχιση (κωδικοποίηση) των δειγμάτων σε ζώνες με όσο το δυνατόν πιο σταθερή χωρική μεταβλητότητα και διακριτά στατιστικά χαρακτηριστικά.

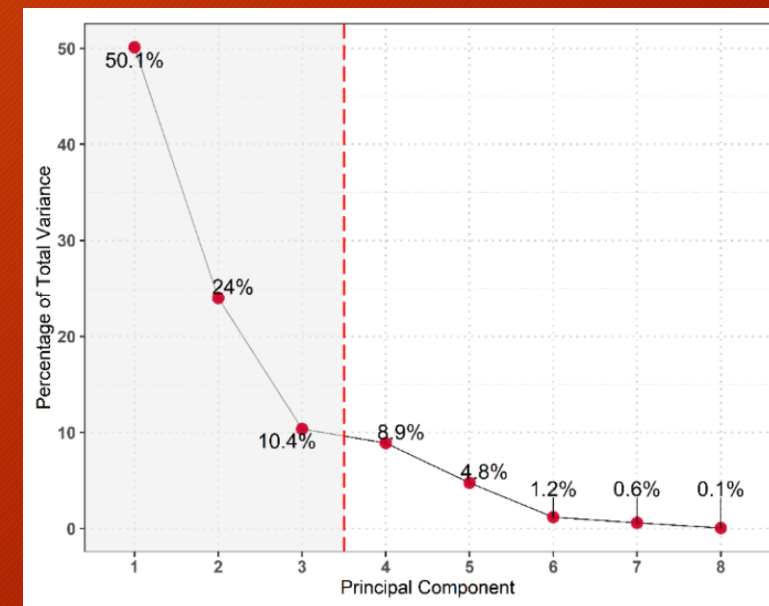


Zhang, S.E., Nwaila, G.T., Bourdeau, J.E. *et al.* Machine Learning-Based Delineation of Geodomain Boundaries: A Proof-of-Concept Study Using Data from the Witwatersrand Goldfields. *Nat Resour Res* (2023). <https://doi.org/10.1007/s11053-023-10159-7>

Μείωση Διαστασιμότητας Δεδομένων



- Σε πολυμεταλλικά κοιτάσματα αλλά και σε άλλες περιπτώσεις όπου μας ενδιαφέρουν πολλαπλές παράμετροι ενός κοιτάσματος, τα δεδομένα εισόδου διαμορφώνουν χώρους πολλών διαστάσεων.
- Οι μέθοδοι μείωσης διαστασιμότητας οδηγούν στην απλοποίηση των δεδομένων και την αντιστοίχισή τους σε χώρους λιγότερων διαστάσεων.
- Η μείωση των διαστάσεων των δεδομένων εκπαίδευσης στις εφαρμογές ΜΜ, όπως στην παλινδρόμηση και την ταξινόμηση, καθιστά τα σχετικά προβλήματα πιο διαχειρίσιμα υπολογιστικά.
- Χαρακτηριστική μέθοδος για τη μείωση της διαστασιμότητας είναι η ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA).

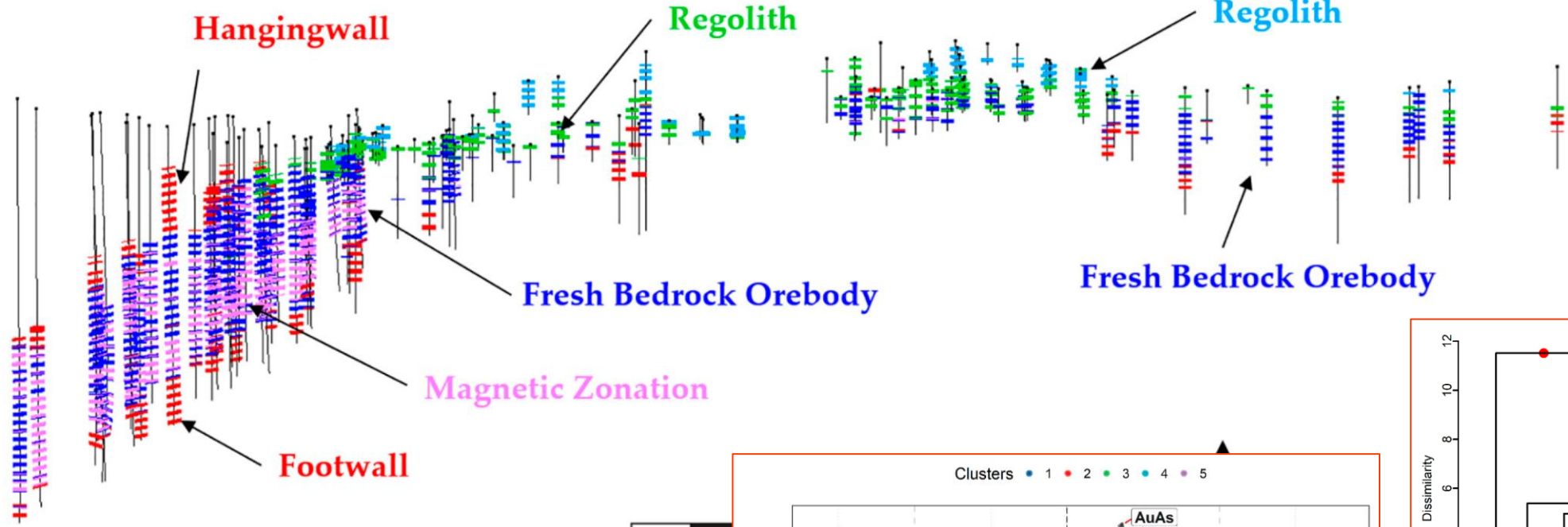


Bhuiyan, M.; Esmaili, K.; Ordóñez-Calderón, J.C. Application of Data Analytics Techniques to Establish Geometallurgical Relationships to Bond Work Index at the Paracutu Mine, Minas Gerais, Brazil. *Minerals* 2019, 9, 302. <https://doi.org/10.3390/min9050302>

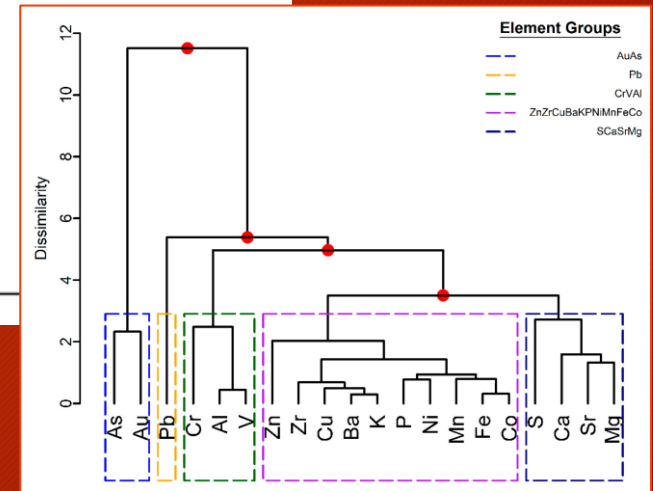
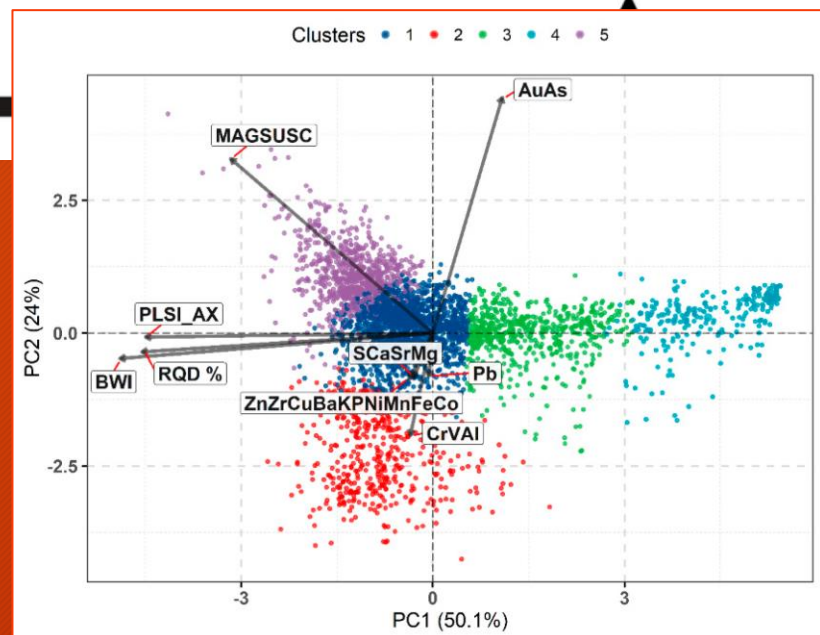
West

East

CLUSTERS



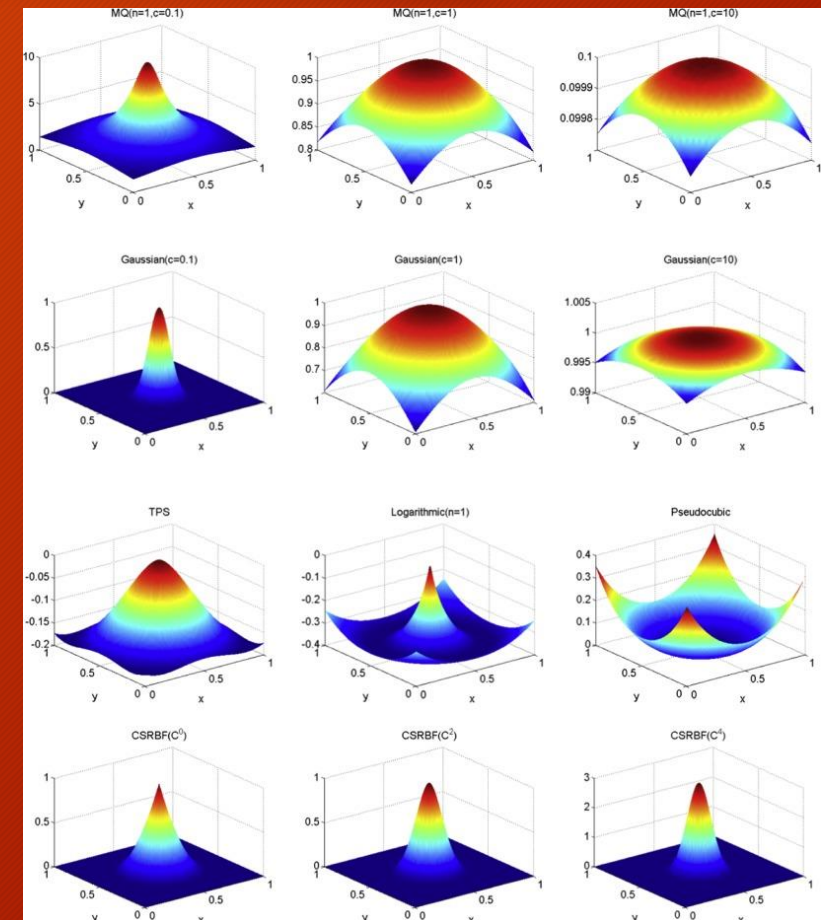
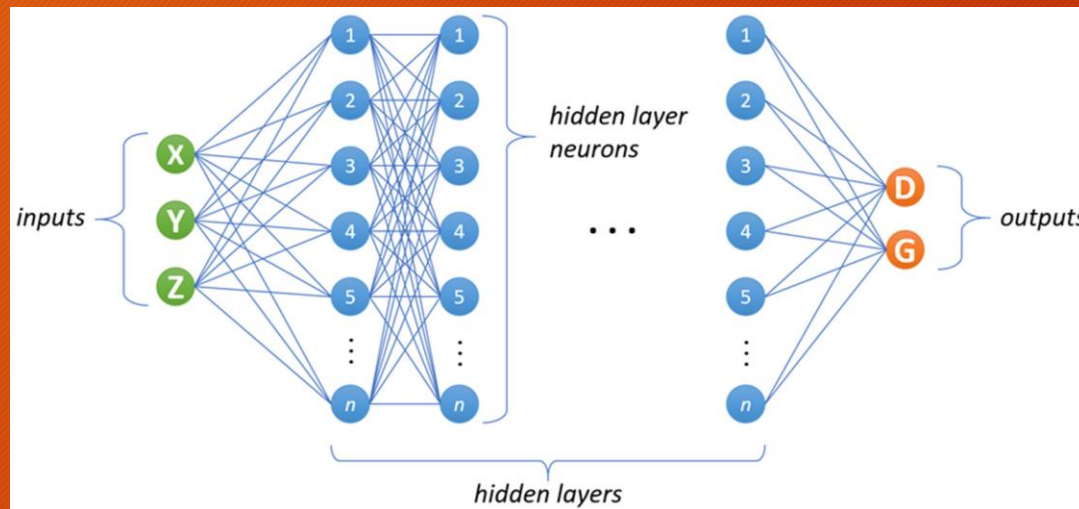
Bhuiyan, M.; Esmaili, K.; Ordóñez-Calderón, J.C. Application of Data Analytics Techniques to Establish Geometallurgical Relationships to Bond Work Index at the Paracutu Mine, Minas Gerais, Brazil. Minerals 2019, 9, 302. <https://doi.org/10.3390/min9050302>

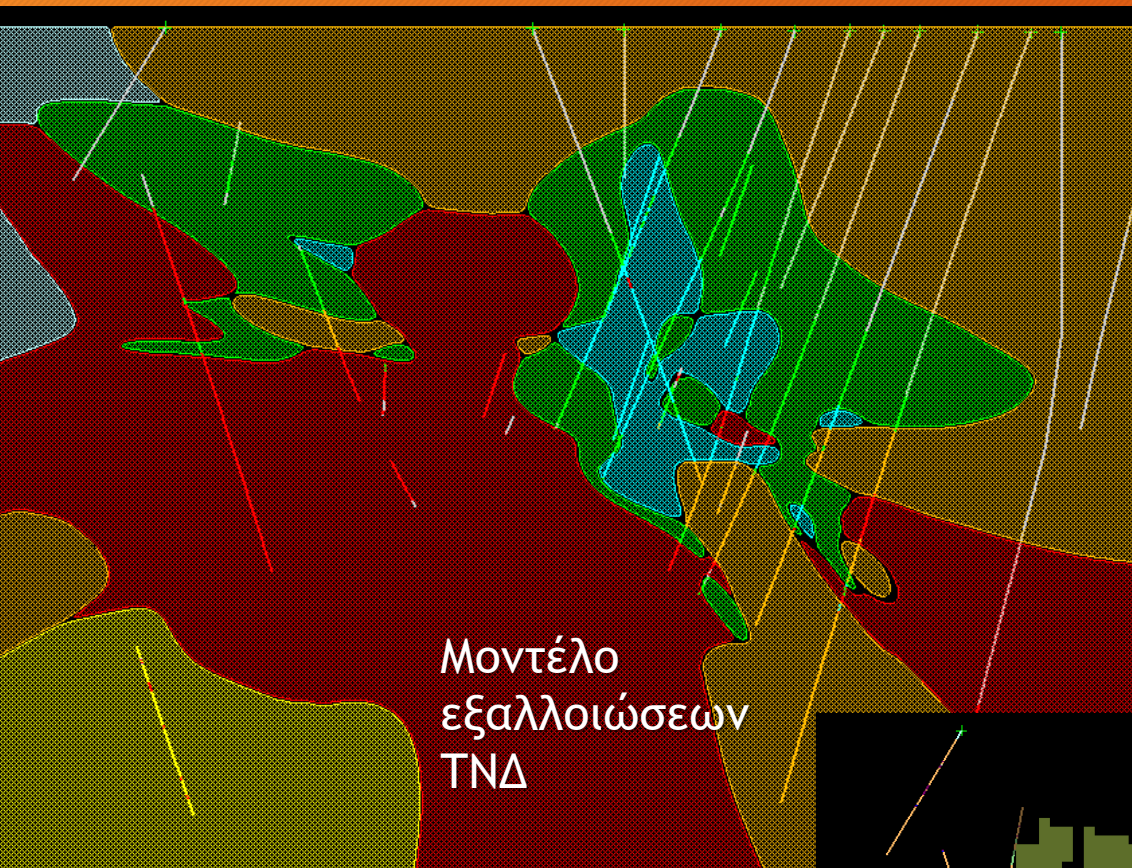


Γεωλογική Μοντελοποίηση / Μοντέλα Ζωνών Εκτίμησης

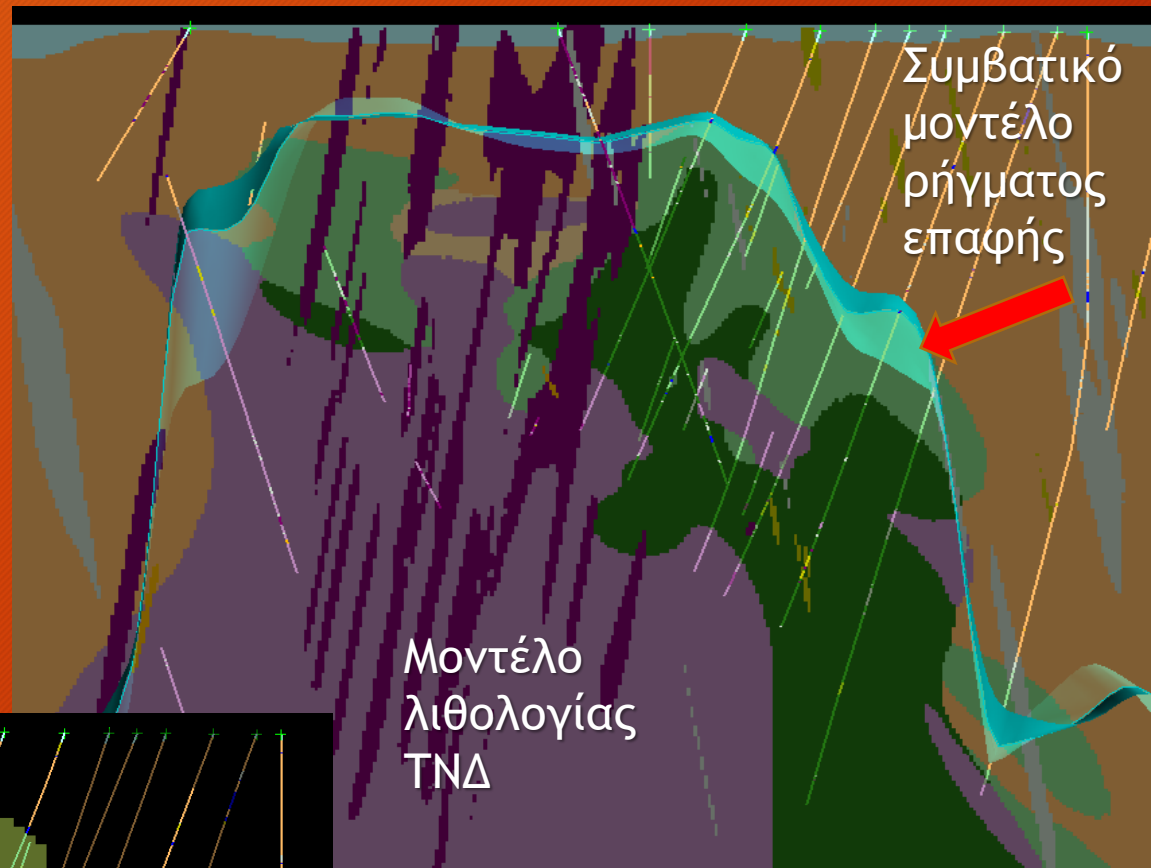


- Τα τελευταία χρόνια έχει καθιερωθεί η ιδέα της implicit μοντελοποίησης για την ταχεία ανάπτυξη γεωλογικών μοντέλων.
- Τα περισσότερα βασίζονται σε αλγόριθμους συναρτήσεων ακτινικής βάσης (radial basis functions) και τεχνητά νευρωνικά δίκτυα βαθιάς μάθησης.



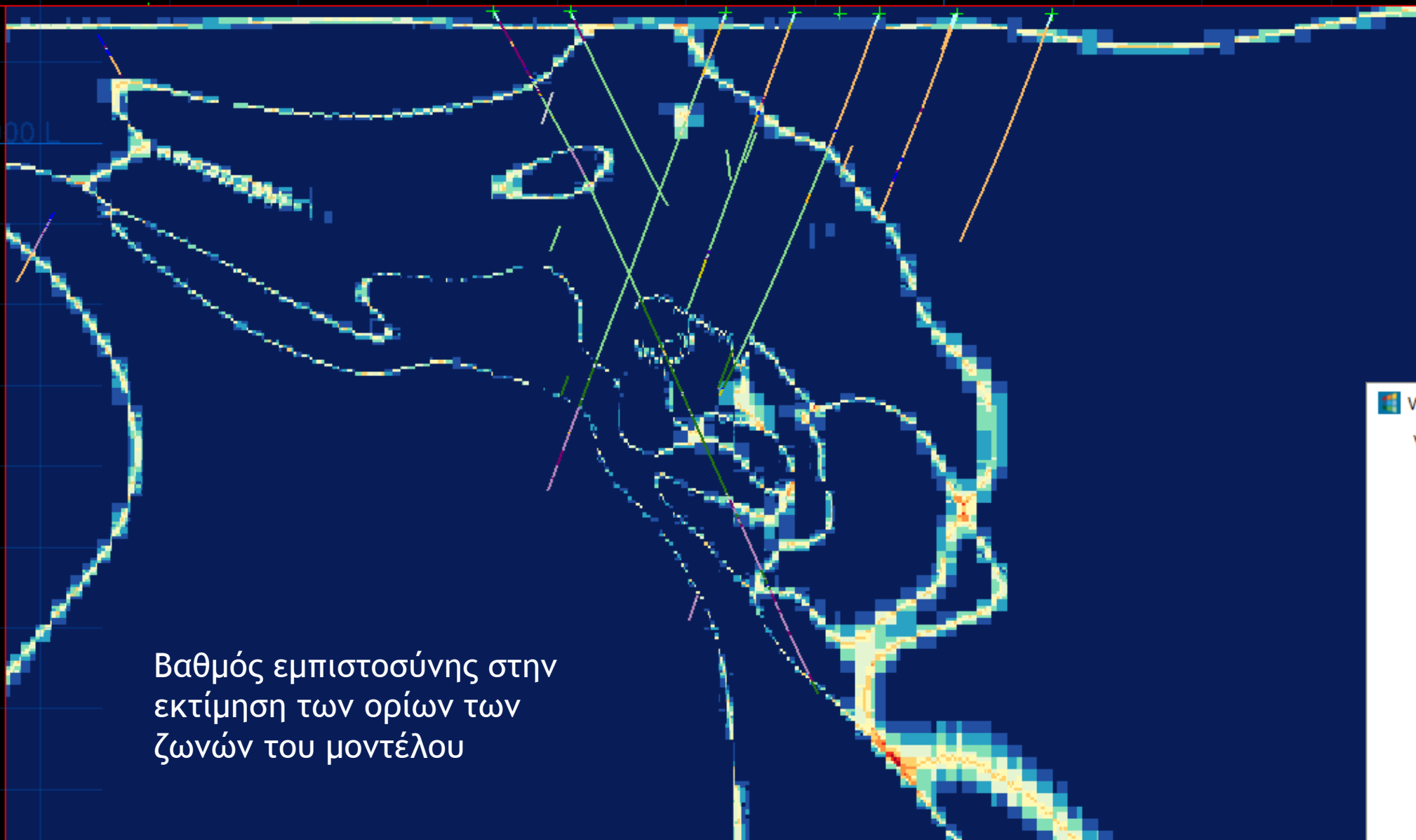


+

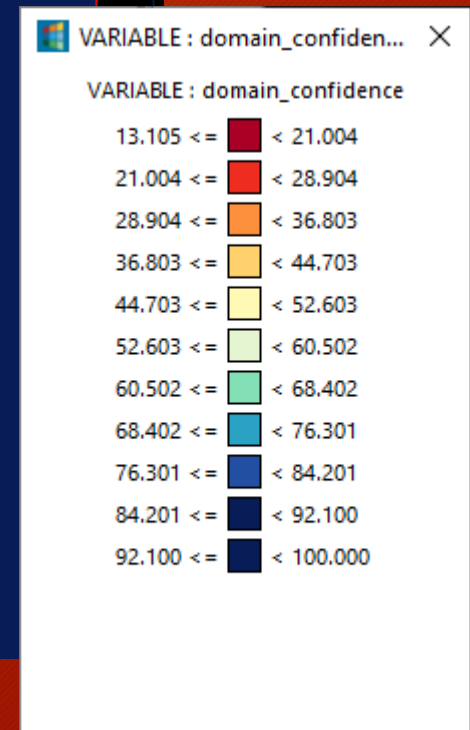


=

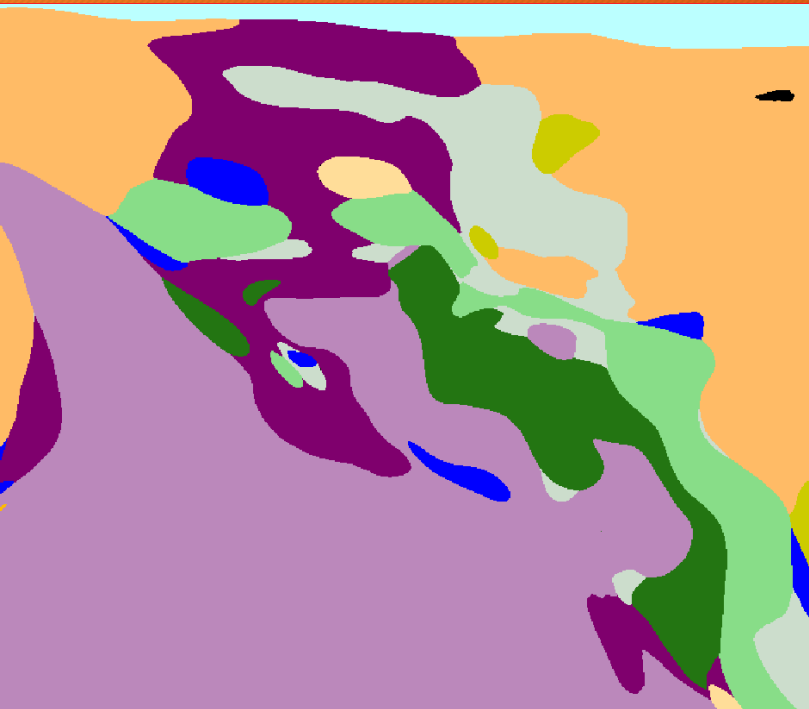




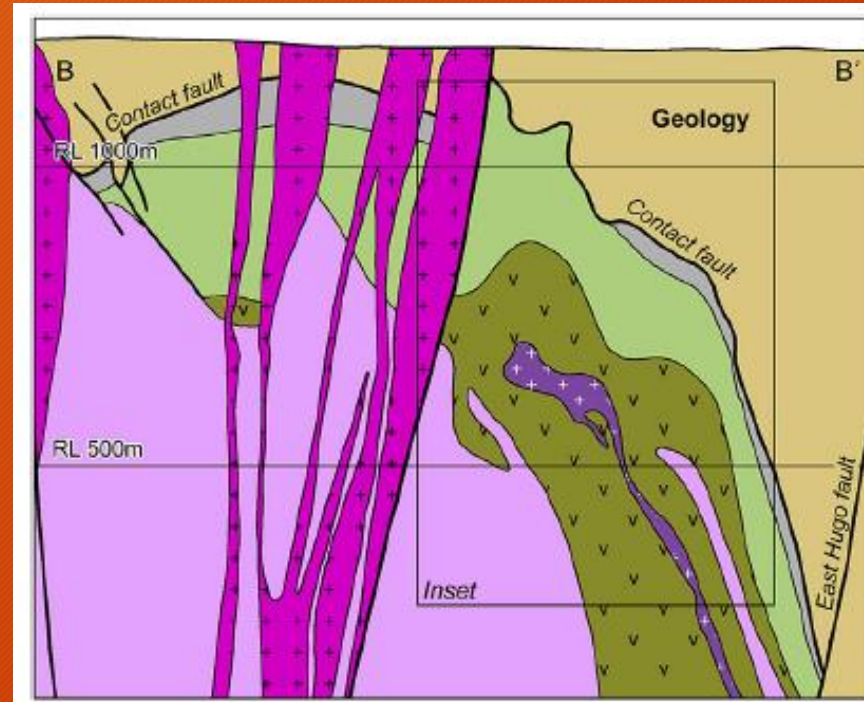
Βαθμός εμπιστοσύνης στην
εκτίμηση των ορίων των
ζωνών του μοντέλου



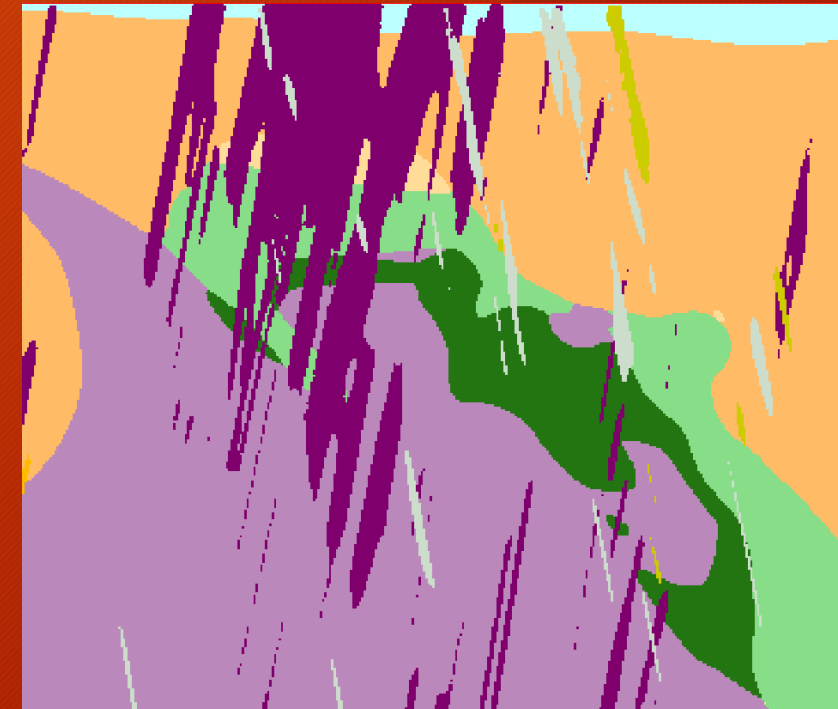
Κανένας αλγόριθμος δεν μπορεί να αντικαταστήσει τη γεωλογική γνώση...



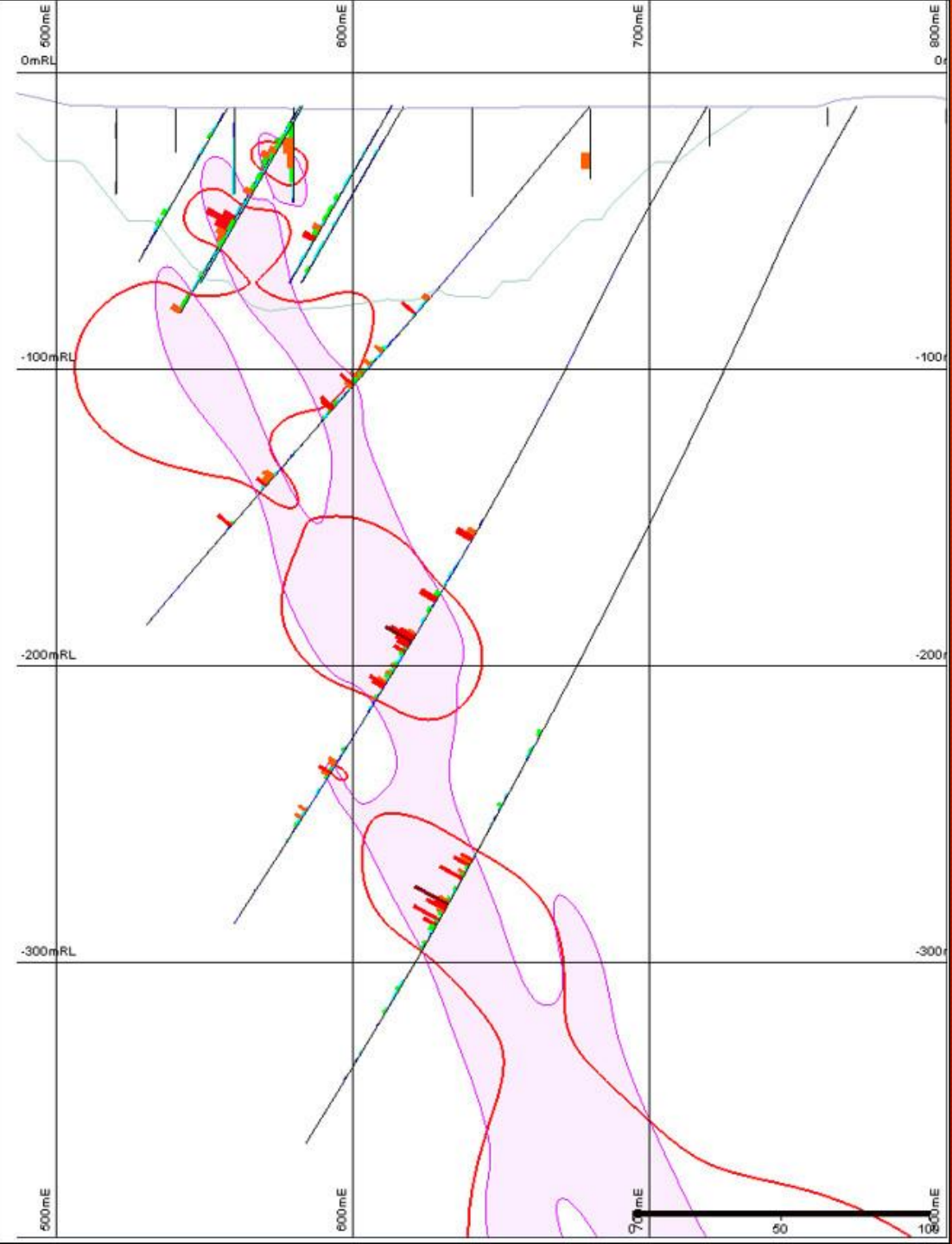
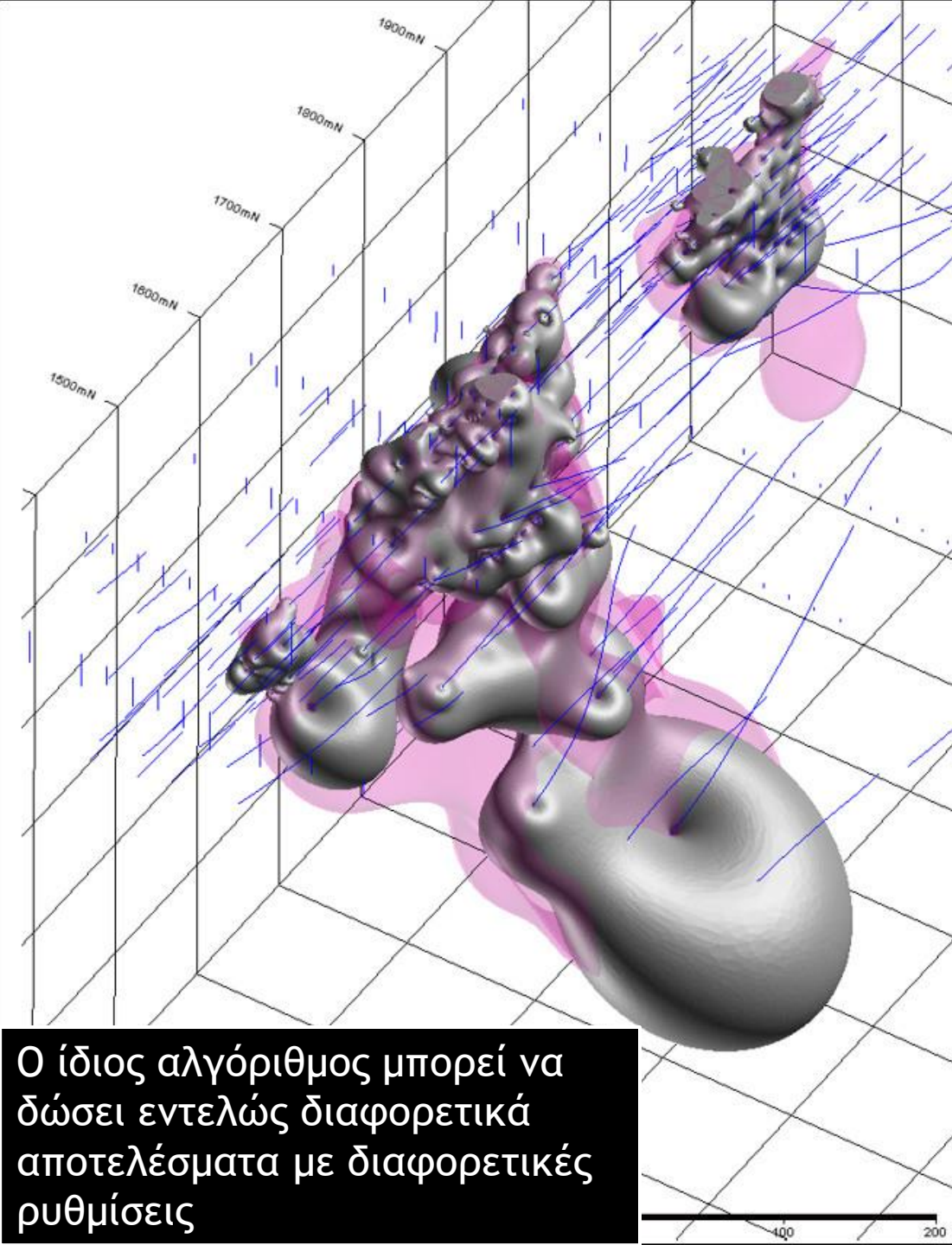
Γεωλογικό μοντέλο που αγνοεί τη...
γεωλογία!



Θεωρητικό γεωλογικό μοντέλο



Γεωλογικό μοντέλο που λαμβάνει
υπόψη το θεωρητικό



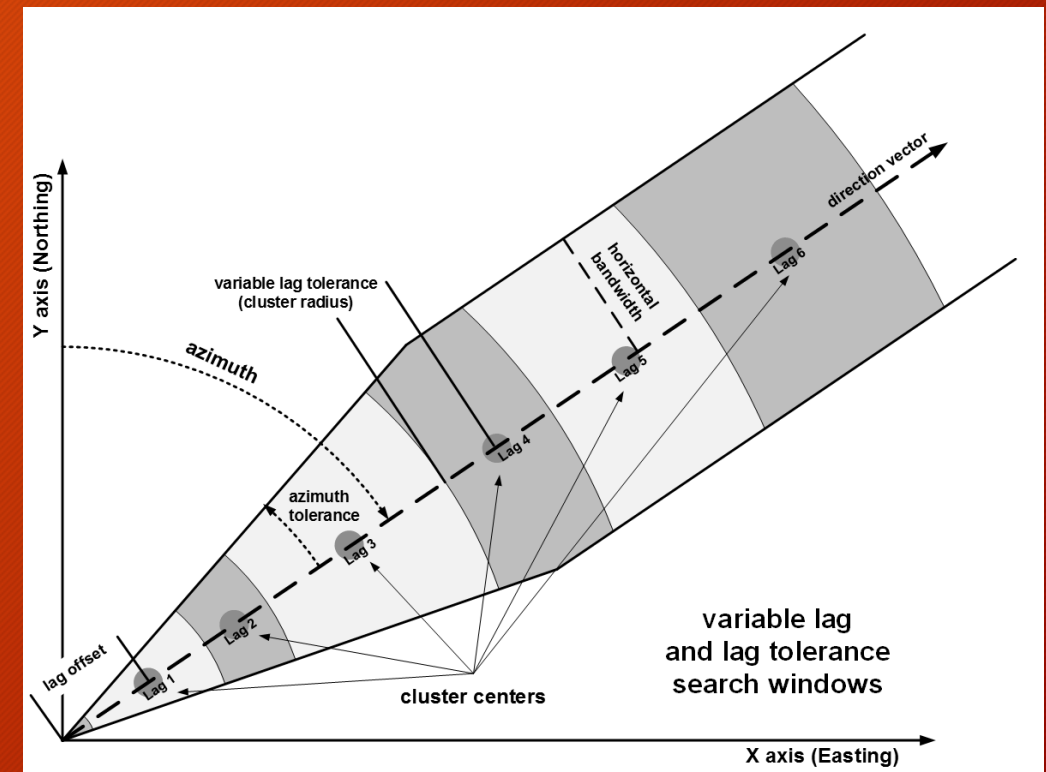
Ο ίδιος αλγόριθμος μπορεί να δώσει εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα με διαφορετικές ρυθμίσεις

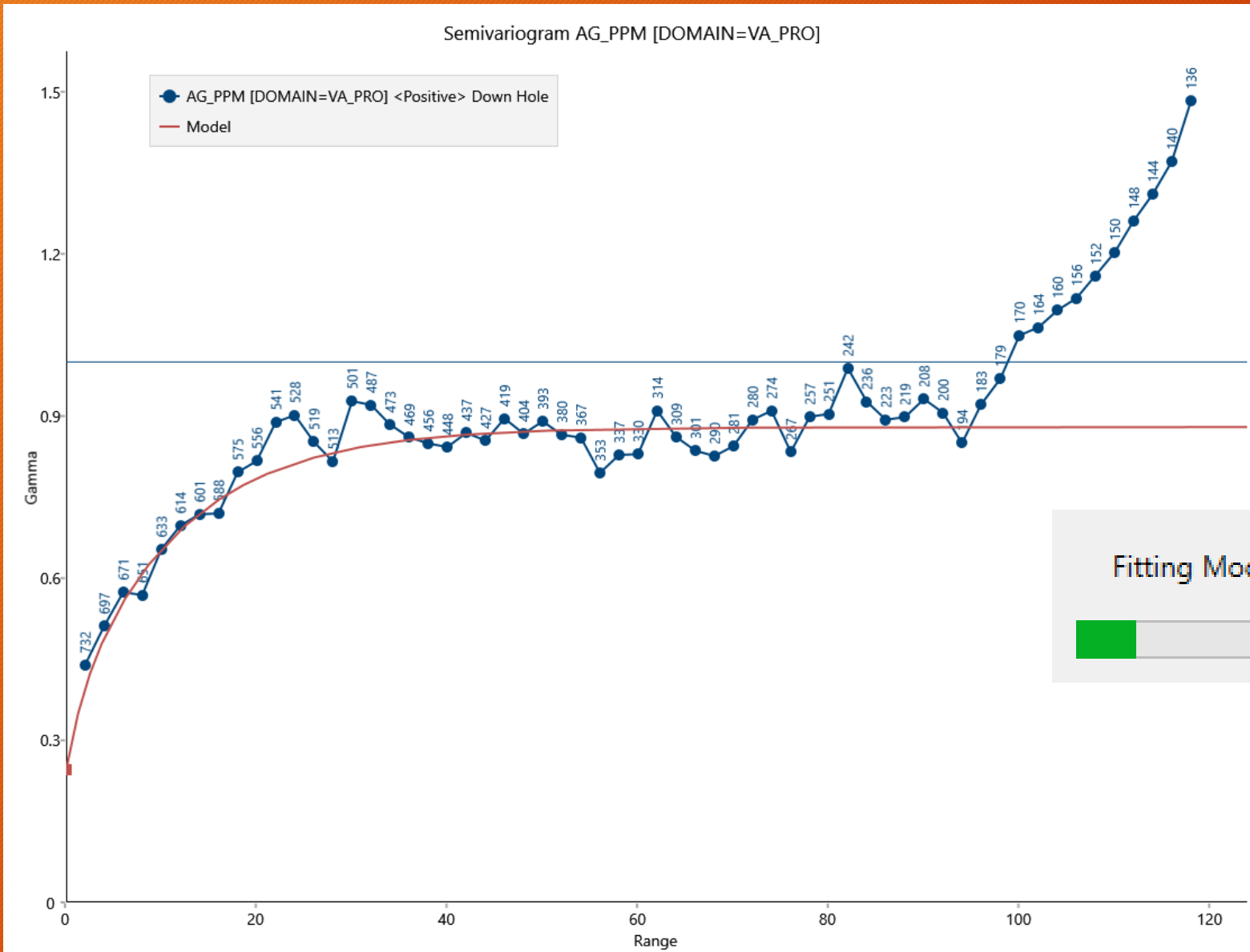


Βαριογραφία και Προσαρμογή Μοντέλων Βαριογράμματος



- Ίσως από τις πιο παλιές εφαρμογές ΜΜ στην εκτίμηση αποθεμάτων, αποτελεί η αυτόματη προσαρμογή μοντέλων βαριογραμμάτων.
- Χρησιμοποιούνται διάφορες μορφές της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων καθώς και άλλες μέθοδοι που εμπίπτουν στη ΜΜ.
- Μια σχετικά πιο πρόσφατη εφαρμογή αποτελεί η χρήση μεθόδων συσταδοποίησης για την επιλογή των διαστημάτων στα οποία υπολογίζεται το πειραματικό βαριόγραμμα καθώς και του εύρους τους με βάση τις αποστάσεις των ζευγών των δειγμάτων.





Configure Autofit

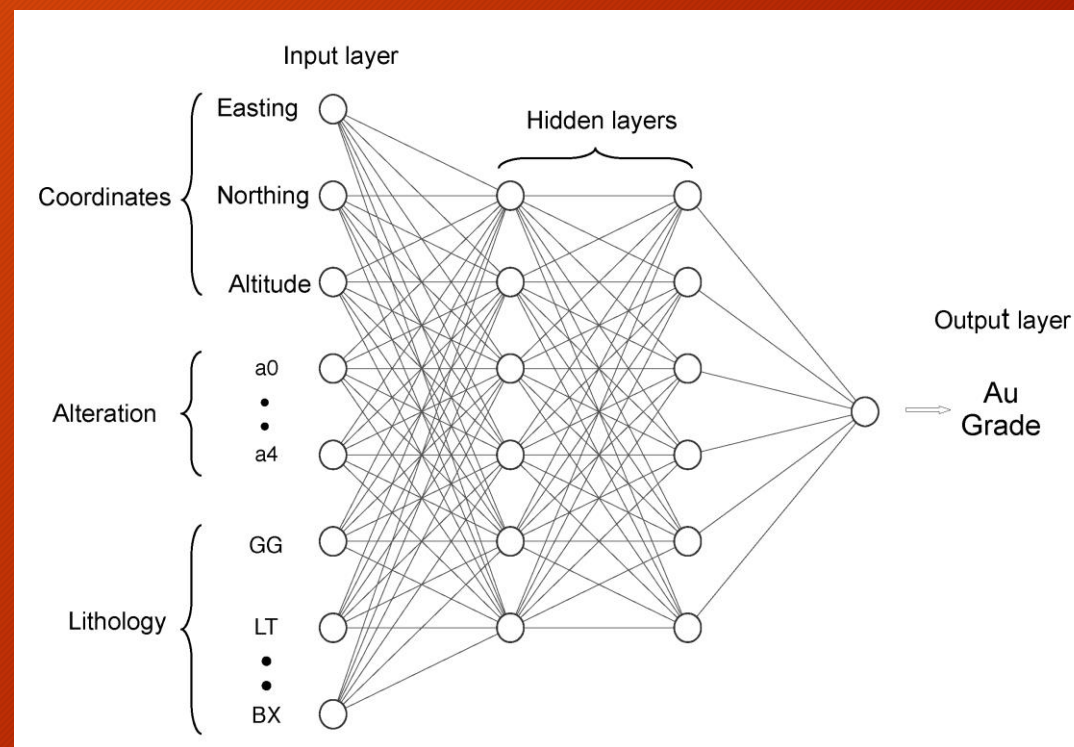
Total sill	0.87976	<input type="button" value="d-b"/>	Round to integer
Min Max	0	1.4	<input checked="" type="checkbox"/> Weight pairs
Nugget	0.24576	<input type="button" value="d-b"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Weight distance inverse
Min Max	0	1.4	

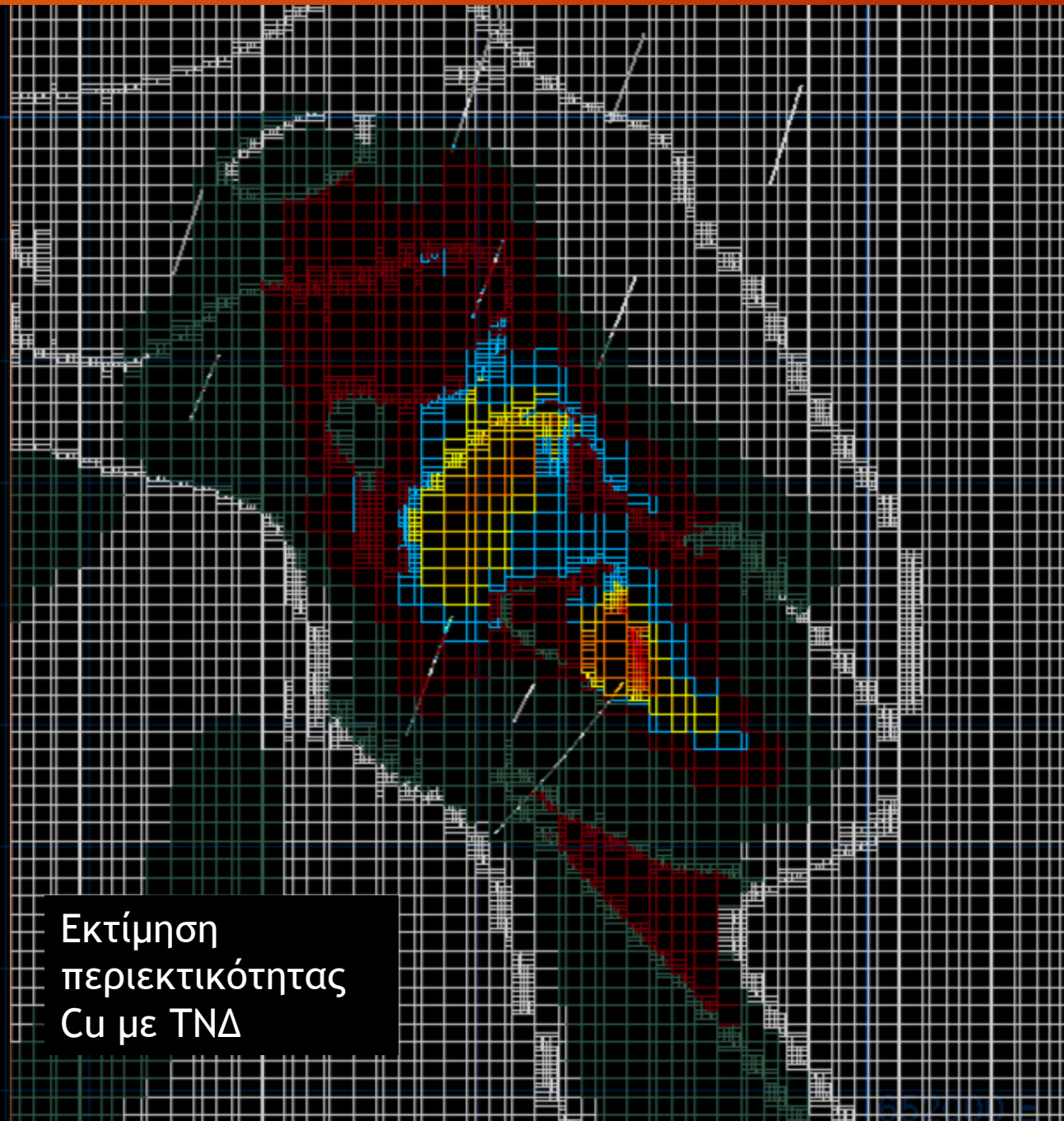
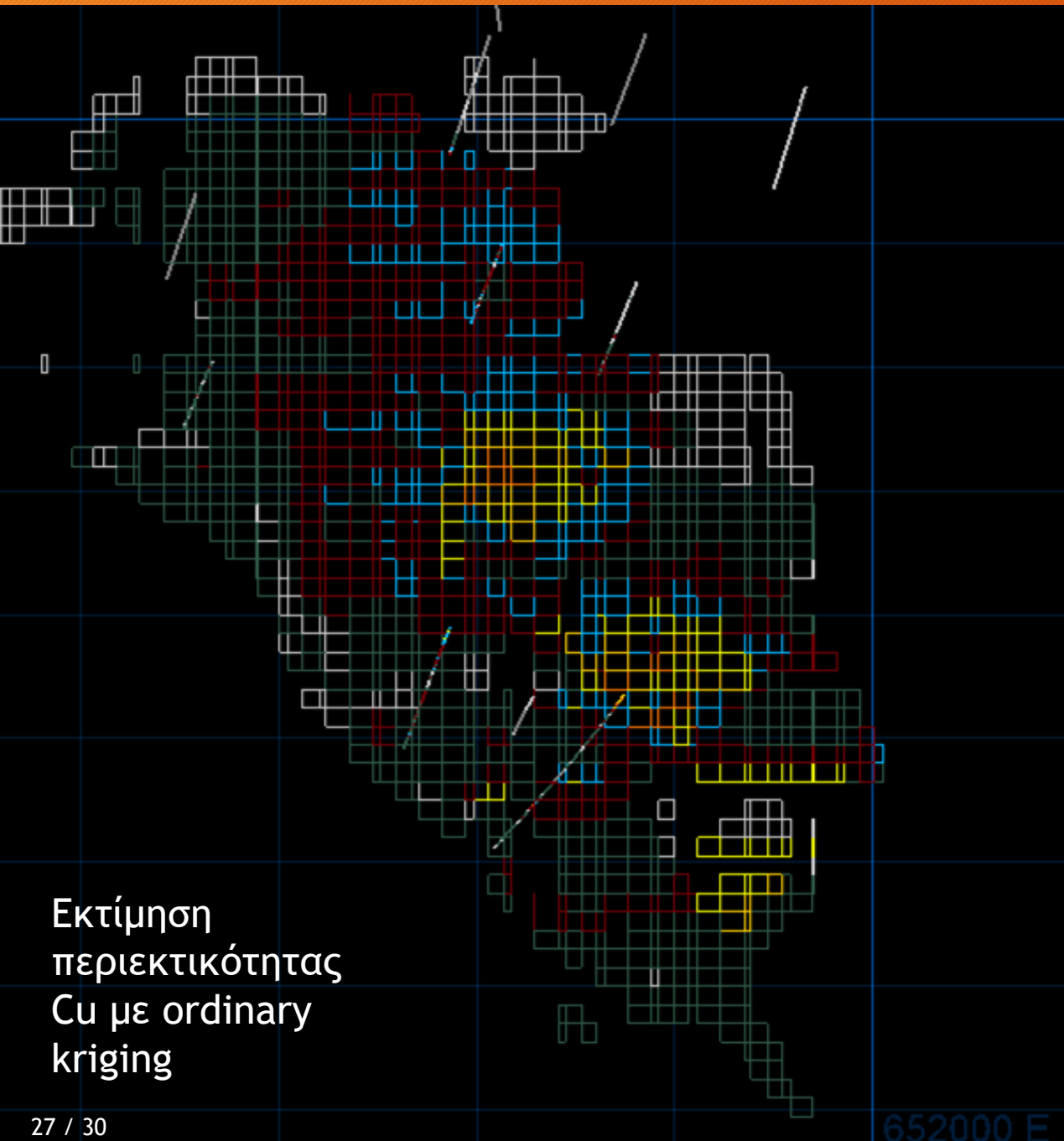
	Structure 1	Structure 2
Sill	0.0966	0.5374
Min Max	0	1.5
Major	5.31	34.655
Min Max	0	250
Semi	5.31	34.655
Minor	5.31	34.655
Bearing	0	0
Plunge	0	0
Dip	0	0

Χωρική Παρεμβολή / Εκτίμηση Περιεκτικότητας



- Μάλλον η πιο «ευαίσθητη» περιοχή εφαρμογής μεθόδων ΜΜ στην εκτίμηση αποθεμάτων.
- Τα δεδομένα εισόδου έρχονται συνήθως υπό μορφή δειγμάτων με γνωστές θέσεις στο τρισδιάστατο χώρο.
- Η πιο κοινή πρακτική είναι η εκπαίδευση ενός ΤΝΔ, με παραδείγματα εισόδου-εξόδου, όπου η είσοδος είναι η θέση των δειγμάτων, και η επιθυμητή έξοδος είναι η τιμή της εκτιμώμενης παραμέτρου σε εκείνη την θέση.
- Ουσιαστικά, η εκτίμηση περιεκτικότητας αντιμετωπίζεται στην περίπτωση αυτή ως ένα πρόβλημα παλινδρόμησης στον τρισδιάστατο χώρο.

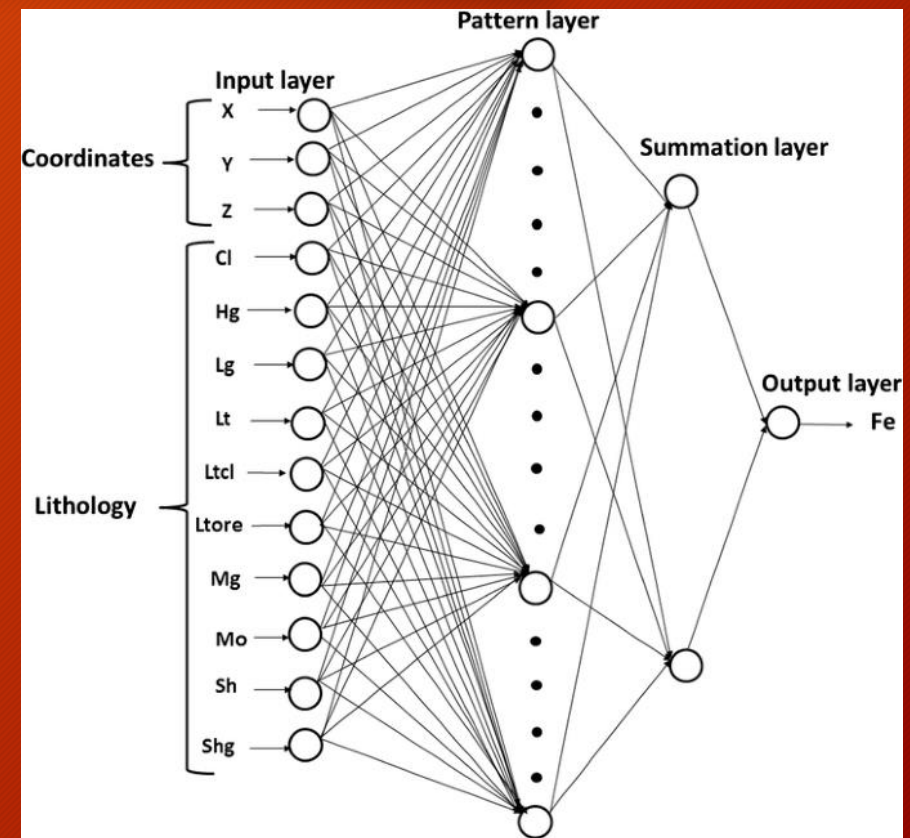




Διαφορετικές Προσεγγίσεις στην Εκτίμηση



- Οι προσεγγίσεις με ΤΝΔ στο πρόβλημα εκτίμησης περιεκτικότητας παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς χρησιμοποιούν διαφορετικές παραμέτρους εισόδου, πέρα φυσικά από τις πολλές διαφορές στην αρχιτεκτονική των ΤΝΔ που χρησιμοποιούν και στους αλγόριθμους εκπαίδευσης.
- Διαφορές υπάρχουν επίσης και στο πλήθος και την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση και επικύρωση των ΤΝΔ.
- Σε κάθε περίπτωση, ένα μέρος του συνόλου δεδομένων χρησιμοποιείται για την επικύρωση του εκπαιδευμένου συστήματος, και η επιλογή των δειγμάτων που συμμετέχουν σε αυτό είναι κρίσιμη.



Επιλογές Παραμέτρων Εισόδου



Χώροι εισόδου δειγμάτων 2Δ

- **Χώρος Συντεταγμένων Δείγματος X-Y:** απλή περίπτωση όπου το δείγμα εκπροσωπείται από τις συντεταγμένες του.
- **Χώρος Γειτονικών Δειγμάτων Τριγωνισμού:** επιλέγονται οι τιμές τριών γειτονικών δειγμάτων με την μέθοδο Delaunay.
- **Χώρος Γειτονικών Δειγμάτων Τετάρτων / Ογδών:** επιλέγονται οι τιμές τεσσάρων ή οκτώ γειτονικών δειγμάτων που βρίσκονται σε αζιμουθιακά ορισμένους τομείς καθώς και οι αποστάσεις τους από το σημείο εκπαίδευσης ή εκτίμησης.

Χώροι εισόδου δειγμάτων 3Δ

- **Χώρος Συντεταγμένων Δείγματος X-Y-Z:** απλή περίπτωση όπου το δείγμα εκπροσωπείται από τις συντεταγμένες του. Ως τέταρτη είσοδος μπορεί να συμπεριλαμβάνεται ο όγκος του δείγματος.
- **Χώρος Γειτονικών Δειγμάτων σε Διάφορους Τομείς Διεύθυνσης και Κλίσης:** επιλέγονται τιμές δειγμάτων από διαφορετικούς τομείς γύρω από το σημείο εκπαίδευσης / εκτίμησης καθώς και οι αποστάσεις τους από αυτό.

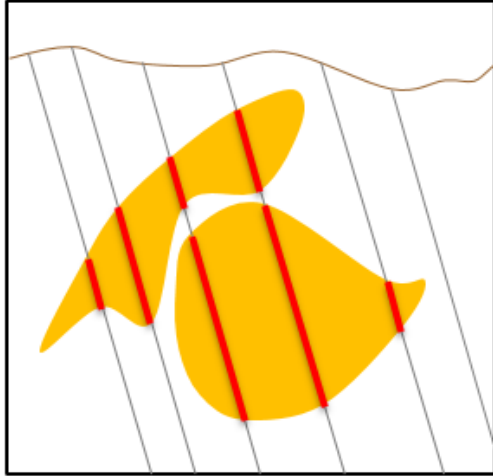
Η έξοδος του δικτύου μπορεί να είναι η περιεκτικότητα, ένας δείκτης ή κάποιος κωδικός ζώνης.

Σύνοψη

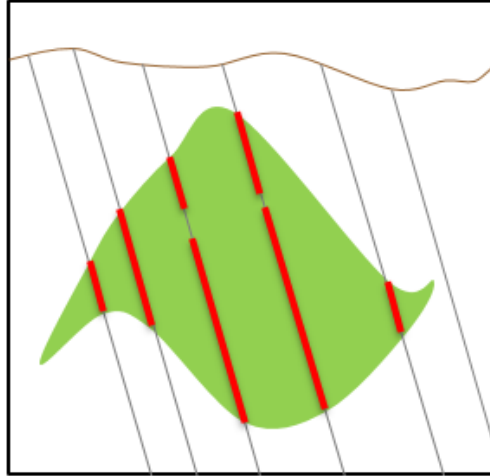


- Η ανάγκη για παραγωγή αποτελεσμάτων εκτίμησης σε μικρότερο χρόνο, με περισσότερη αντικειμενικότητα, επαναληψιμότητα και χαμηλότερο κόστος, ωθεί όσους ασχολούνται με την εκτίμηση αποθεμάτων προς μεθόδους με μεγαλύτερο βαθμό αυτοματοποίησης και μικρότερη εξάρτηση από τον ανθρώπινο παράγοντα.
- Η ταχύτητα και επεξεργαστική δυνατότητα των σύγχρονων υπολογιστικών συστημάτων, προσωπικών αλλά και διαδικτυακών, έχει επιτρέψει την ανάπτυξη πολύπλοκων μοντέλων με χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μέσα σε μερικά λεπτά, ενσωματώνοντας μεγάλο όγκο δεδομένων και πληροφοριών.
- Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στην ανάπτυξη διαφόρων εμπορικών εφαρμογών για την εκτίμηση αποθεμάτων, στην ευρεία χρήση τους, και στην αποδοχή τους ως αξιόπιστα συστήματα.

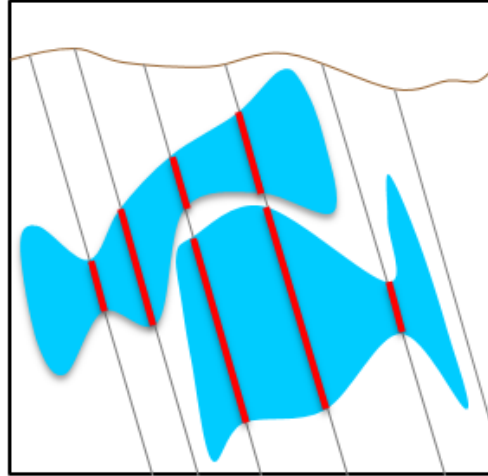
The Pessimistic Geologist



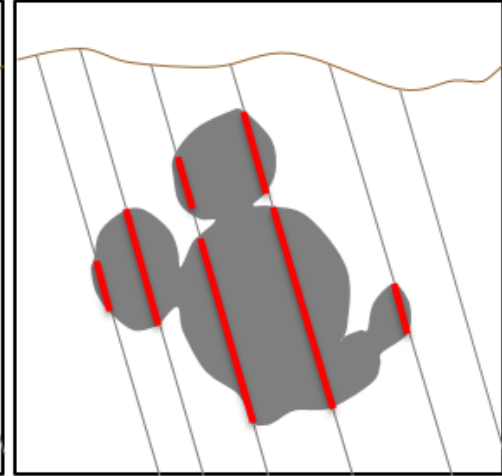
The Optimistic Geologist



The Geophysicist



The Mining Engineer



“Essentially, all models are wrong, ...but some are useful.”



George Box

Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!

