

## Εισαγωγή

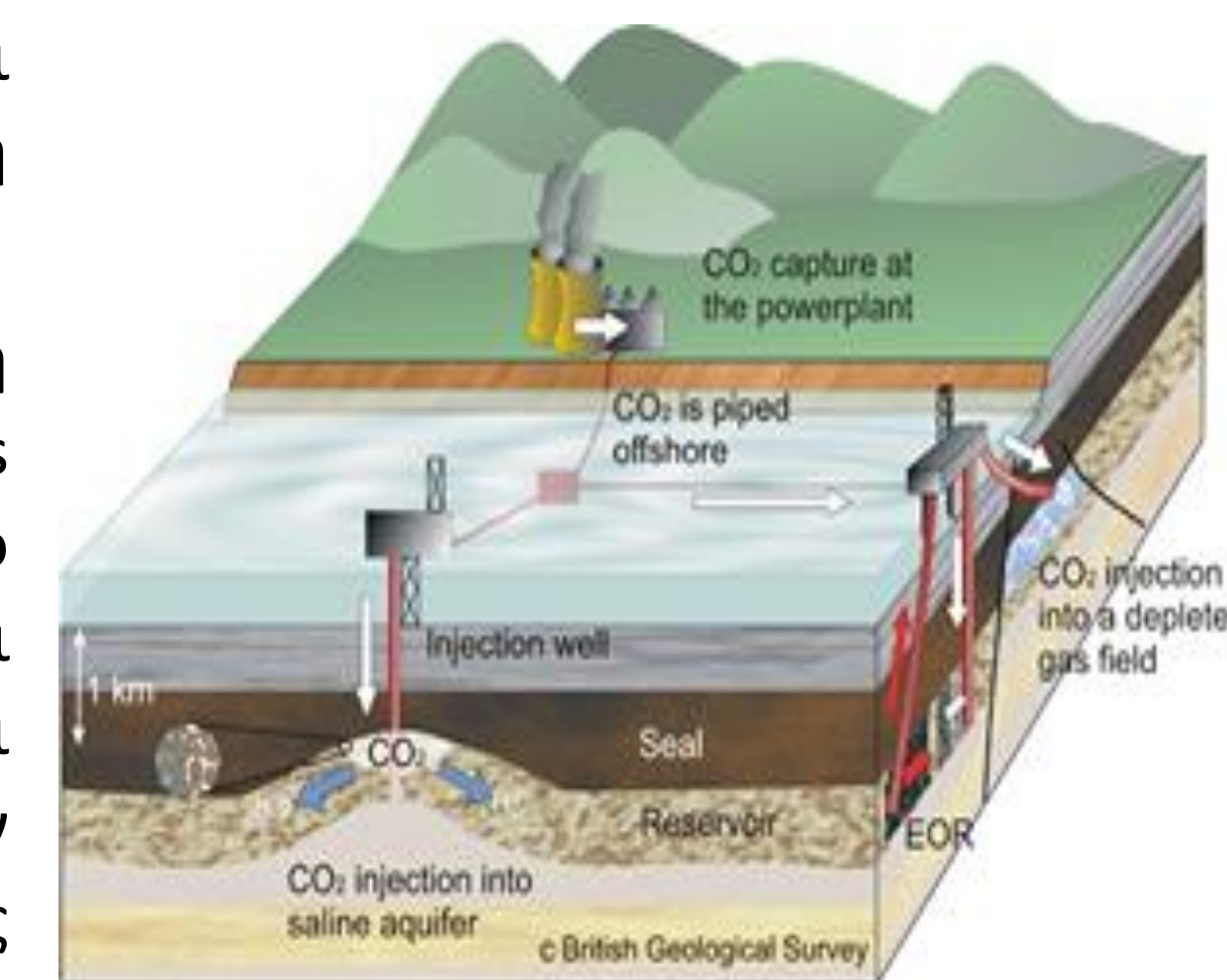
Η χρήση των ορυκτών καυσίμων έχει αναγνωριστεί ως συνυπεύθυνη για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τελικά στην αύξηση της θερμοκρασίας σε παγκόσμια κλίμακα. Η μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών CO<sub>2</sub> αποτελεί βασικό στόχο ώστε να επιβραδυνθεί η κλιματική μεταβολή.

Η συλλογή και υπόγεια αποθήκευση του CO<sub>2</sub> (Carbon Capture & Sequestration, CCS) αποτελεί τη σημαντικότερη, ίσως, προσπάθεια μείωσής του. Η ιδέα έγκειται στην επισπίεσή με στόχο τη μόνιμη αποθήκευσή του σε υπόγειους ταμιευτήρες νερού ή εξοφλημένων ταμιευτήρων υδρογονανθράκων. Η δεύτερη περίπτωση αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον αν λάβουμε υπόψιν ότι οι εξοφλημένοι ταμιευτήρες Υ/Α είναι ήδη ανεπτυγμένοι και σε μεγάλο βαθμό γνωστοί λόγω της πρότερης παραγωγής.

## Μεθοδολογία

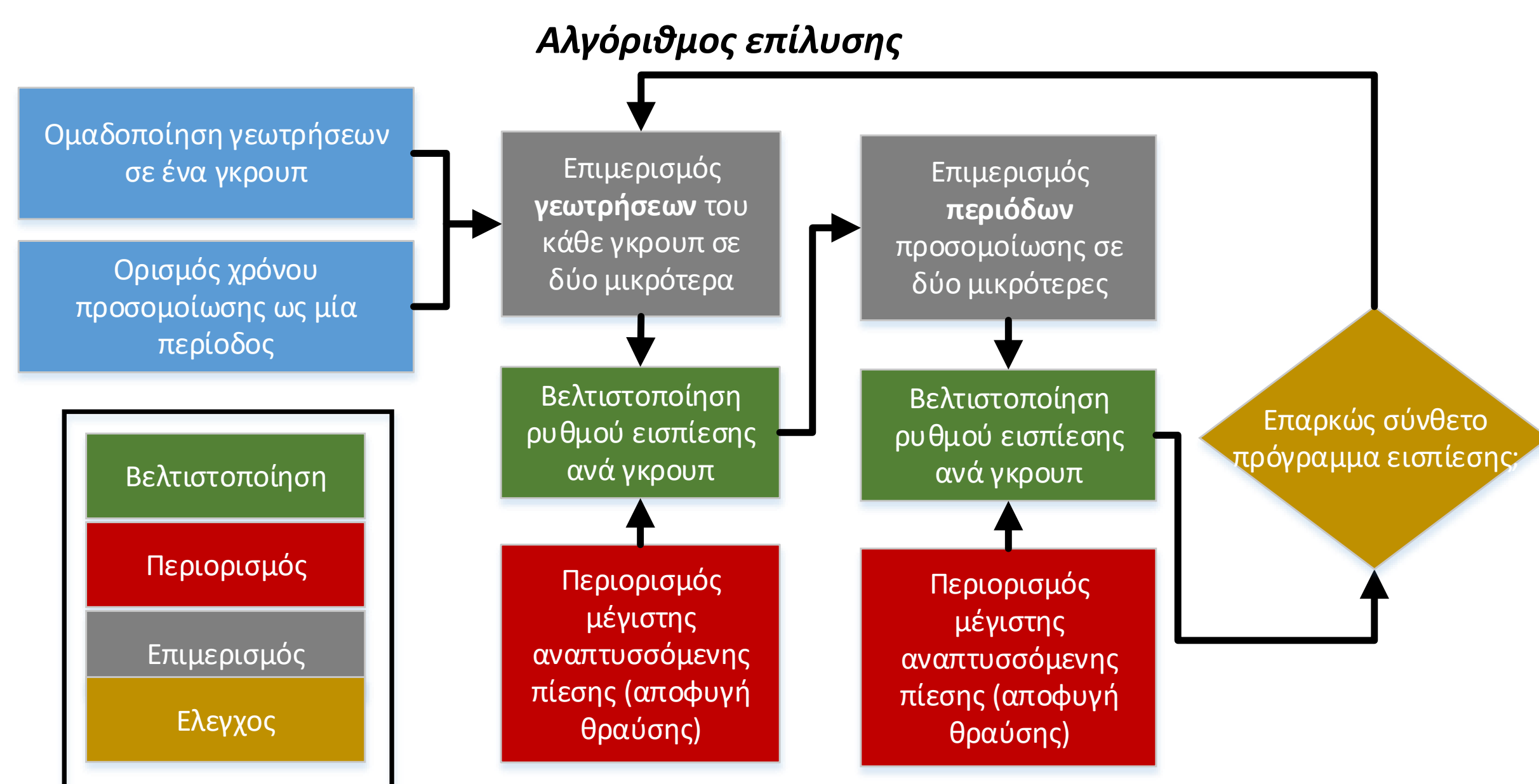
Η επιτυχία μιας διαδικασίας CCS έγκειται στη βελτιστοποίηση του προγράμματος εισπίεσης CO<sub>2</sub> με την επιλογή του ρυθμού και της πίεσης σε κάθε γεώτρηση ώστε να διασφαλιστεί η μεγιστοποίηση του CO<sub>2</sub> που θα αποθηκευτεί. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η χρήση απλών «πρακτικών κανόνων» ή ακόμη και μεθόδων optimal control δεν οδηγούν σε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια νέα τεχνική αυτοματοποιημένης βελτιστοποίησης του προγράμματος εισπίεσης η οποία καταρχάς μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε προσομοιωτή χρησιμοποιώντας τον απλά για forward runs αποφεύγοντας οποιαδήποτε παρέμβαση στο εσωτερικό του κώδικα. Κατά δεύτερο, λειτουργεί ιεραρχικά ως προς το χώρο και το χρόνο καθώς σε κάθε επανάληψη ο χρόνος προσομοίωσης διαχωρίζεται σε ολόένα μικρότερα τμήματα (περίοδους) και οι γεωτρήσεις ομαδοποιούνται σε ολόένα περισσότερα και μικρότερα γκρουπ έτσι ώστε όλες τις γεωτρήσεις του ίδιου γκρουπ και για την ίδια περίοδο να ακολουθούν ένα κοινό ρυθμό εισπίεσης. Οι ρυθμοί εισπίεσης στην εκάστοτε επανάληψη προκύπτουν επιλύοντας το πρόβλημα βελτιστοποίησης της αποθηκευτικότητας χωρίς τη χρήση παραγώγων (derivative-free). Ο προτεινόμενος αλγόριθμος αποτελεί μια «λαίμαργη» (greedy) τεχνική και διακόπτεται πριν το πρόγραμμα καταστεί απαράδεκτα σύνθετο.

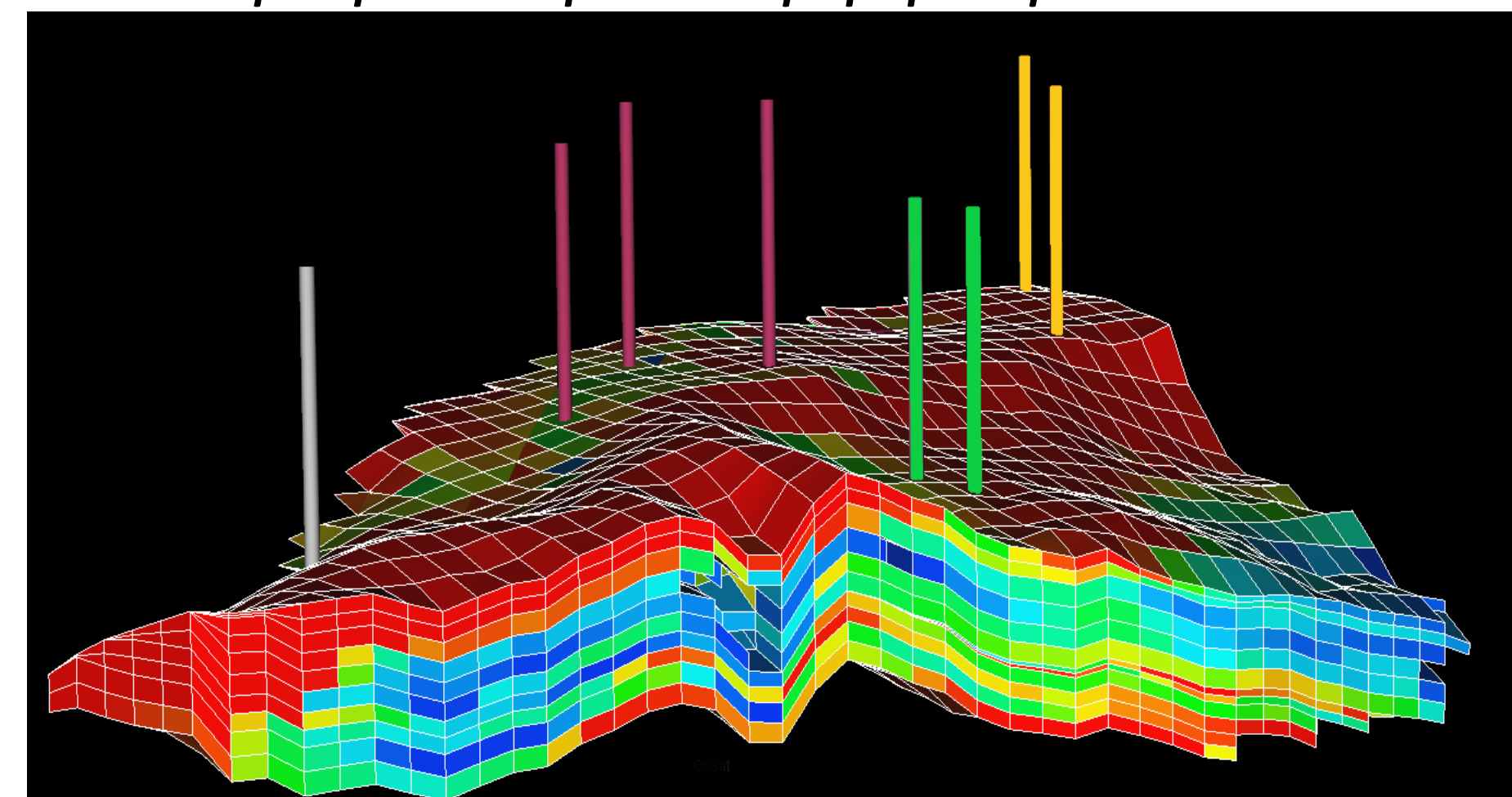


## Αποτελέσματα

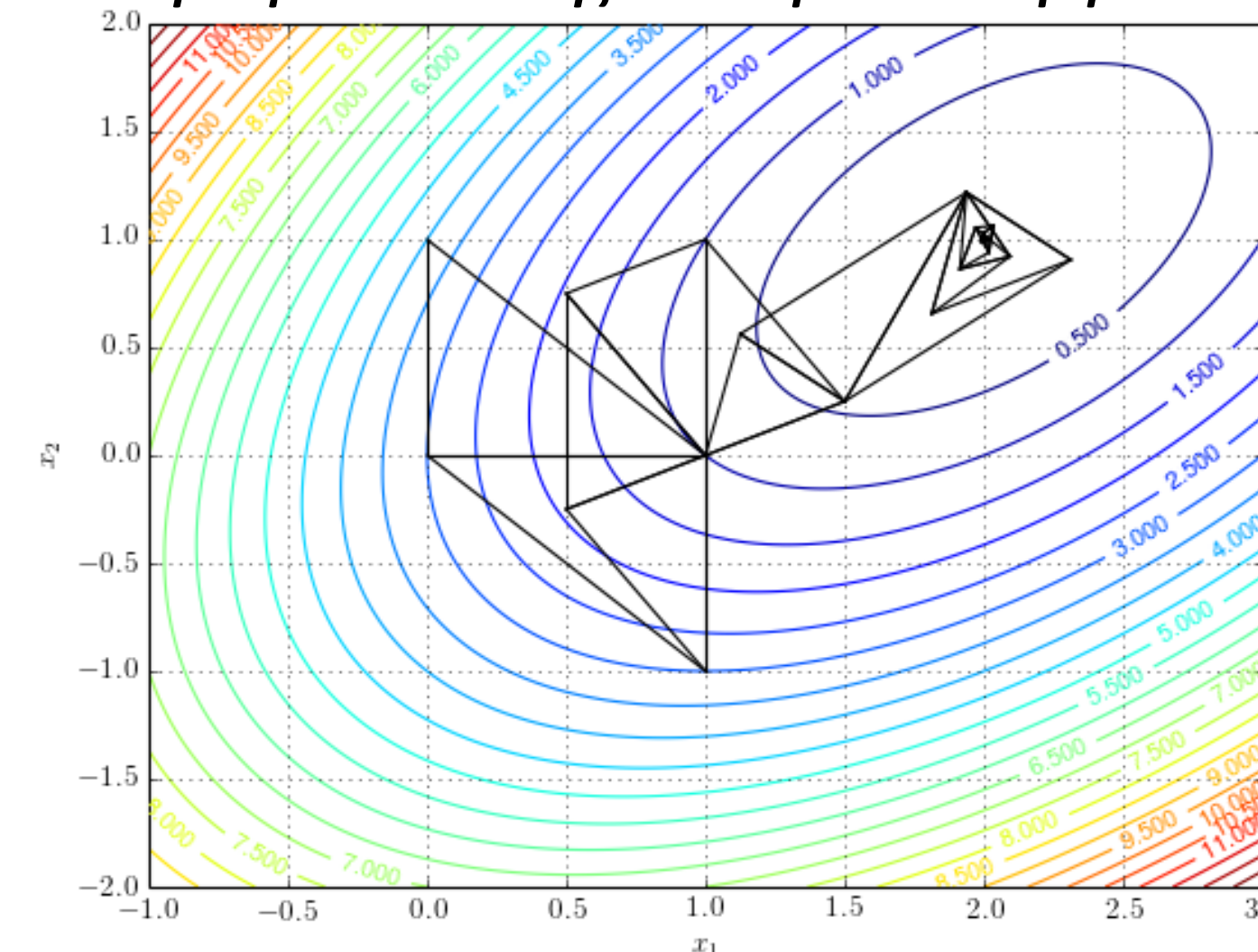
Οι πρώτες «χειρωνακτικές» δοκιμές σε απλούς ταμιευτήρες έχουν δείξει ότι τα παραγόμενα προγράμματα εισπίεσης είναι απλά, ομαλά, άμεσα εφαρμόσιμα και οδηγούν σε λύσεις με ιδιαίτερα αυξημένη αποθηκευόμενη ποσότητα CO<sub>2</sub>. Η έρευνα προχωρά στη βελτίωση των μεθοδολογιών ομαδοποίησης των γεωτρήσεων, διαίρεσης των χρονικών περιόδων και εύρεσης των κατάλληλων ρυθμών εισπίεσης.



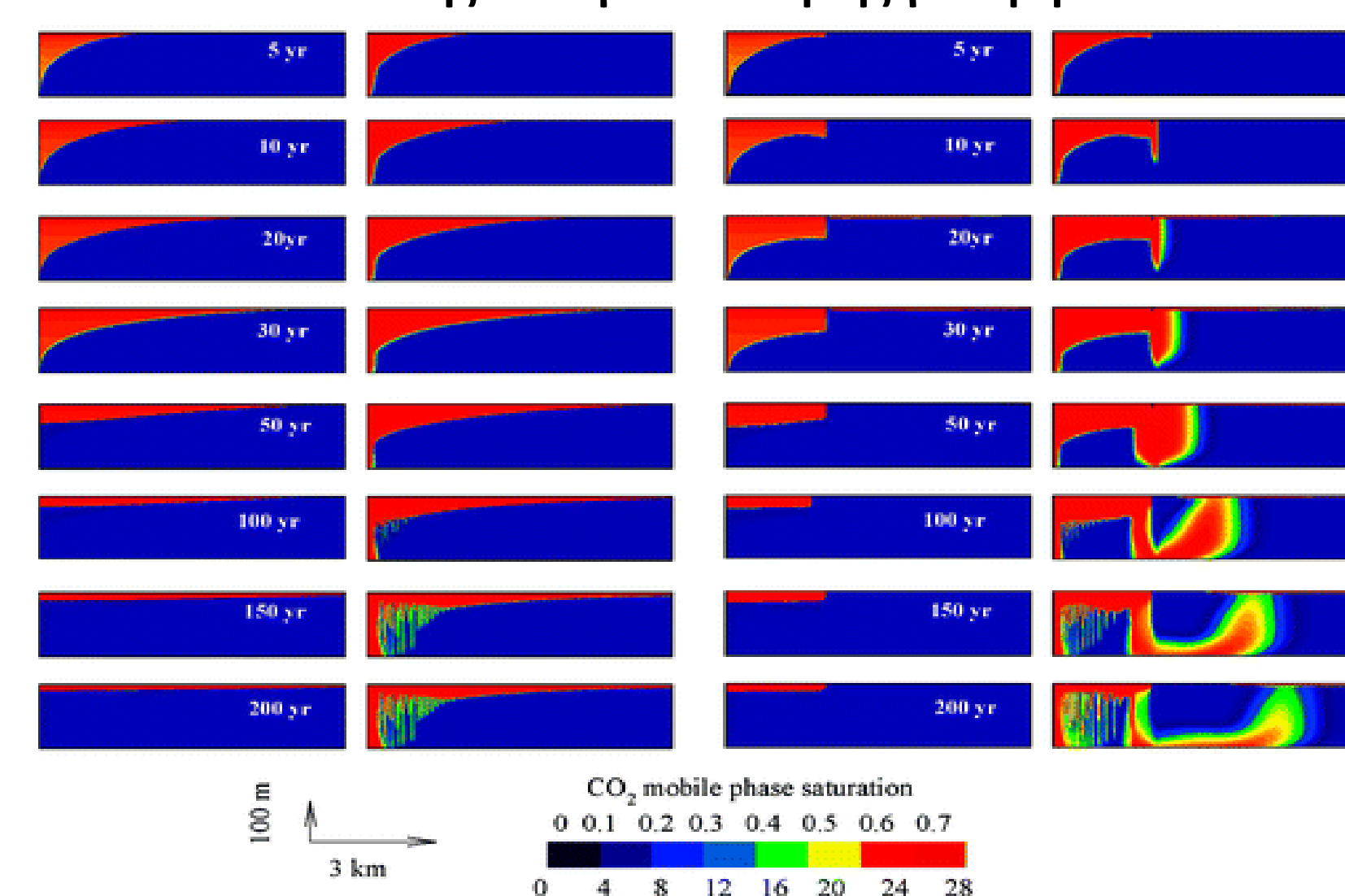
Επιμερισμός των γεωτρήσεων σε τέσσερις ομάδες ανάλογα με την τοπολογία και παραγωγικότητα



Μέθοδος Nelder-Mead για την εύρεση του βέλτιστου ρυθμού εισπίεσης ανά περίοδο και γκρουπ



Μετακίνηση θυσάνου CO<sub>2</sub> για διαφορετικά σενάρια ρυθμών εισπίεσης και ομαδοποίησης γεωτρήσεων



## Αναφορές

- Jansen J.D. 2011, Adjoint-based optimization of multi-phase flow through porous media – A review, Computers & fluids, 46, 40-51.
- Jin M. et al. 2012, Evaluation of the CO<sub>2</sub> storage Capacity of the Captain Sandstone Formation, SPE paper 154539 presented at the EAGE Annual Conference and Exhibition incorporating SPE Europec, Copenhagen, Denmark.
- Kourounis D. et al. 2014, Adjoint formulation and constraint handling for gradient-based optimization of compositional reservoir flow, Computation Geoscience, 18, 117-137.
- Riestedberg D.E. et al. 2008, Using Reservoir Architecture to maximize CO<sub>2</sub> Storage Capacity, SPE paper 118939 presented at the SPE Eastern Regional/AAPG Eastern Section Joint Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

Η παρούσα αποτελεί μέρος της έρευνας του κ. Ismail Ismail για την εκπόνηση της διδακτορικής του διατριβής στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του ΕΜΠ. Η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη και τα επόμενα βήματα στοχεύουν στην εφαρμογή των παρουσιαζόμενων στην παρούσα σε μεγάλη κλίμακα ενός πραγματικού ταμιευτήρα (π.χ. κοίτασμα Πρίνος)