

ΑΚΜΩΝ

**Υπηρεσίες προσομοίωσης ιχνηθετών
σε υπόγειους πορώδεις γεωλογικούς
σηματισμούς:**

Επίδειξη σε κλίμακα ταμειυτήρα

1. Εισαγωγή

Η τεχνολογία ιχνηθετών χρησιμοποιείται ευρέως από την επιστημονική κοινότητα και τη βιομηχανία για το χαρακτηρισμό υπόγειων γεωλογικών σχηματισμών και την περιγραφή πολυφασικής ροής σ' αυτούς τους σχηματισμούς. Πιο συγκεκριμένα οι ιχνηθέτες χρησιμοποιούνται:

- Στην Υδρογεωλογία για τον καθορισμό της κατεύθυνσης και της ταχύτητας ροής των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων.
- Στην Περιβαλλοντική Μηχανική για τον εντοπισμό και ποσοτικοποίηση οργανικών και ανόργανων ρύπων στο υπέδαφος.
- Στην Γεωθερμία για τον καθορισμό της επικοινωνίας των γεωτρήσεων, και
- στη Βιομηχανία Πετρελαίου για το στατικό και δυναμικό χαρακτηρισμό ενός ταμειυτήρα, όπως στην επικοινωνία των γεωτρήσεων, ανίχνευση διατμήσεων και ρηγματώσεων, προσδιορισμό των ενεργών καναλιών ροής, εκτίμηση μεθόδων EOR (Enhanced Oil Recovery) κ.α.

Ωστόσο, η εκτίμηση και ανάλυση των ιχνηθετικών δεδομένων (tracer data) λόγω της πολυπλοκότητας της ροής και του μεγάλου αριθμού των παραμέτρων που την επηρεάζουν εξαρτάται από τη χρήση ενός λογισμικού συστήματος ικανού να προσομοιώνει με ακρίβεια τη ροή των ιχνηθετών μέσα σε ένα υπόγειο σχηματισμό.

Το ΕΠΕΡ προσφέρει υπηρεσίες στο σχεδιασμό χρήσης των ιχνηθετών και στην ανάλυση των αποξεσμάτων χρησιμοποιώντας μια σειρά εξειδικευμένων προγραμμάτων λογισμικού.

Στη συνέχεια περιγράφεται μία εφαρμογή ανάλυσης ιχνηθετικών δεδομένων που εκπονήθηκε για τον πετρελαϊκό ταμειυτήρα Gullfaks στη Βόρεια Θάλασσα.

2. Ανάλυση Ιχνηθετικών Δεδομένων στο Gullfaks Field

2.1. Περιγραφή ταμειυτήρα

Το πεδίο Gullfaks εντοπίζεται στο νορβηγικό τομέα της Βόρειας Θάλασσας, στο block 34/10. Οι μονάδες του ταμειυτήρα είναι ψαμμιτικά πετρώματα της κάτω και μέσης Ιουρασικής περιόδου, περίπου 2000 μέτρα κάτω από τη θάλασσα, έχοντας πάχος αρκετές εκατοντάδες μέτρα. Η ποιότητα του ταμειυτήρα είναι γενικά πολύ υψηλή, με

διαπερατότητα που κυμαίνεται από μερικές δεκάδες mD σε δεκάδες Darcys ανάλογα με το στρώμα και την τοποθεσία.

Το Gullfaks δημιουργείται από τρεις βασικές ψαμμιτικές μονάδες: Brent Group, Cook Formation & Statfjord Formation. Η ανώτατη ακολουθία Brent περιέχει περίπου 80% των αποθεμάτων, με τους βαθύτερους σχηματισμούς Cook και Statfjord να συνεισφέρουν στο υπόλοιπο ποσοστό.

Το πεδίο χαρακτηρίζεται από ένα σύμπλεγμα ρηγμάτων, τα οποία υποδιαιρούν τις διάφορες μονάδες σε μικρότερα blocks με διάφορους βαθμούς επικοινωνίας. Το Brent Group αποτελεί τον στόχο για εξόρυξη. Ένα φράγμα πίεσης σχιστόλιθου (shale pressure barrier) διαιρεί το Brent Group σε δύο διαφορετικούς ταμιευτήρες, τον Upper Brent και τον Lower Brent. Ο Lower Brent ταμιευτήρας αποτελείται από τον σχηματισμό Etive ο οποίος βρίσκεται πάνω από τον σχηματισμό Rannoch. Η διαπερατότητα του Lower Brent μειώνεται προς τα κάτω και η κάθετη συνέχεια του ταμιευτήρα αναμένεται ικανή για αποτελεσματική έγχυση νερού. Στην παρούσα μελέτη μόνο το χείλος ρήγματος H-1 στο Lower Brent εξετάζεται, **σχήμα 1**.

Ένα συνηθισμένο φαινόμενο στο Lower Brent είναι ότι το νερό υπερισχύει (override), δηλαδή το νερό τείνει να ρέει από τις γεωτρήσεις εγχύσεως προς τις παραγωγικές γεωτρήσεις κυρίως μέσω των πιο διαπερατών στρωμάτων, Etive και Upper Rannoch. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, η κάθετη εκτόπιση είναι φτωχή, το νερό φτάνει στην παραγωγική γεώτρηση σχετικά γρήγορα και το πετρέλαιο αφήνεται πίσω από την πλημμυρισμένη περιοχή, με αποτέλεσμα το φαινόμενο αυτό να επιδρά σε μεγάλο βαθμό στην συνολική ροή.

2.2. Περιγραφή γεωτρήσεων

Στον τομέα H-1 του ταμιευτήρα βρίσκονται δύο γεωτρήσεις εγχύσεως, I-A5H και I-A38, και πέντε παραγωγικές, P-A1H, P-A2AH, P-A17, P-A35 και P-A39:

- P-A1H, P-A2AH και P-A17 διατρύπουν κυρίως το Rannoch σχηματισμό και με μετάπτωση ανάμεσα στους Rannoch και Etive.
- P-A35 είναι ο νοτιότερη παραγωγική γεώτρηση του τομέα H-1. Διατρύπα το στρώμα RA1, αλλά εξαιτίας σπασιμάτων στην πραγματικότητα αντλεί από τα στρώματα RA2 – RA1.
- P-A39A είναι μια οριζόντια γεώτρηση που αντλεί από τα στρώματα RA1 και RA2.
- I-A5H διατρύπα τον Etive σχηματισμό.
- I-A38 διατρύπα τα στρώματα RA1 και RA2.

2.3. Πρόγραμμα Ιχνηθετών

Τρία εκτοπίσματα (slugs) παθητικών ιχνηθετών εγχύθηκαν στον τομέα H-1. Το πρώτο slug με HTO εγχύθηκε από τη γεώτρηση I-A5H στις 15 Απριλίου του 1987, 20 μέρες μετά το ξεκίνημα της έγχυσης ύδατος. Ουσιαστικά το slug αυτό χάθηκε λόγω απορροφήσεώς του σε μικρής διαπερατότητας sands, με αποτέλεσμα ένα δεύτερο slug με HTO να εγχυθεί στις 16 Απριλίου του 1988. Ο τρίτος ιχνηθέτης (NaSCN) εγχύθηκε από τη γεώτρηση I-A38 τον Αύγουστο του 1996.

2.4. Προσομοίωση

2.4.1. Ανάλυση ευαισθησίας

Το βασικό στον συγκεκριμένο ταμειυτήρα είναι το κτίσιμο ενός μοντέλου το οποίο να συλλαμβάνει το φαινόμενο του water override. Για το λόγο αυτό, σαν πρώτο βήμα ήταν η διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας για την αποτίμηση της επίδρασης των ακόλουθων θεμάτων στην παραγωγή νερού και ιχνηθετών:

- Γεωλογική ζώνωση
- Ετερογένεια
- Παρουσία ρηγμάτων
- Εφαρμογή ενός cut-off στην κάθετη διαπερατότητα αντί της φραγής πίεσης
- Αριθμός στρωμάτων προσομοίωσης

Ο **Πίνακας 1** καταγράφει τις διάφορες μετρήσεις ευαισθησίας που έλαβαν χώρα για 12 στρώματα προσομοίωσης. Κάποιες από τις περιπτώσεις επαναλήφθηκαν και για 6 και 9 στρώματα προσομοίωσης. Το **σχήμα 2** παρουσιάζει κάποια από τα αποτελέσματα τα οποία μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- Η παρουσία φραγμάτων είναι απαραίτητη για την σύλληψη του water override φαινομένου.
- Η ετερογένεια είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Η απόκριση των ιχνηθετών είναι πολύ ευαίσθητη σε διάφορα realizations.
- Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των στρωμάτων προσομοίωσης τόσο καλύτερη είναι και η συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και των δεδομένων του πεδίου.

Βασιζόμενοι στην ανάλυση ευαισθησίας, ένα 6-zone μοντέλο με 12 στρώματα θεωρήθηκε ότι ισχύει για την παρούσα μελέτη.

2.4.2. Ιστορική εναρμόνιση (history matching)

Συνήθως, για την ιστορική εναρμόνιση ενός ταμειυτήρα λαμβάνονται υπόψη η πίεση και τα παραγόμενα ρευστά (νερό, πετρέλαιο, αέριο). Εδώ, η συγκέντρωση των ιχνηθετών στο παραγόμενο νερό προστέθηκε ως μία επιπλέον παράμετρος κατά την ιστορική εναρμόνιση. Η ιστορική εναρμόνιση του τομέα H-1 του πεδίου Gullfaks διεξήχθη με επιτυχία χρησιμοποιώντας τον προσομοιωτή ταμειυτήρα Eclipse με την ιχνηθετική του επιλογή καθώς και τον προσομοιωτή ταμειυτήρα STARS συζευγμένο με το Tracer Module. Θα συζητήσουμε μόνο την επίδραση των ιχνηθετικών δεδομένων στην ιστορική εναρμόνιση.

Απορρόφηση

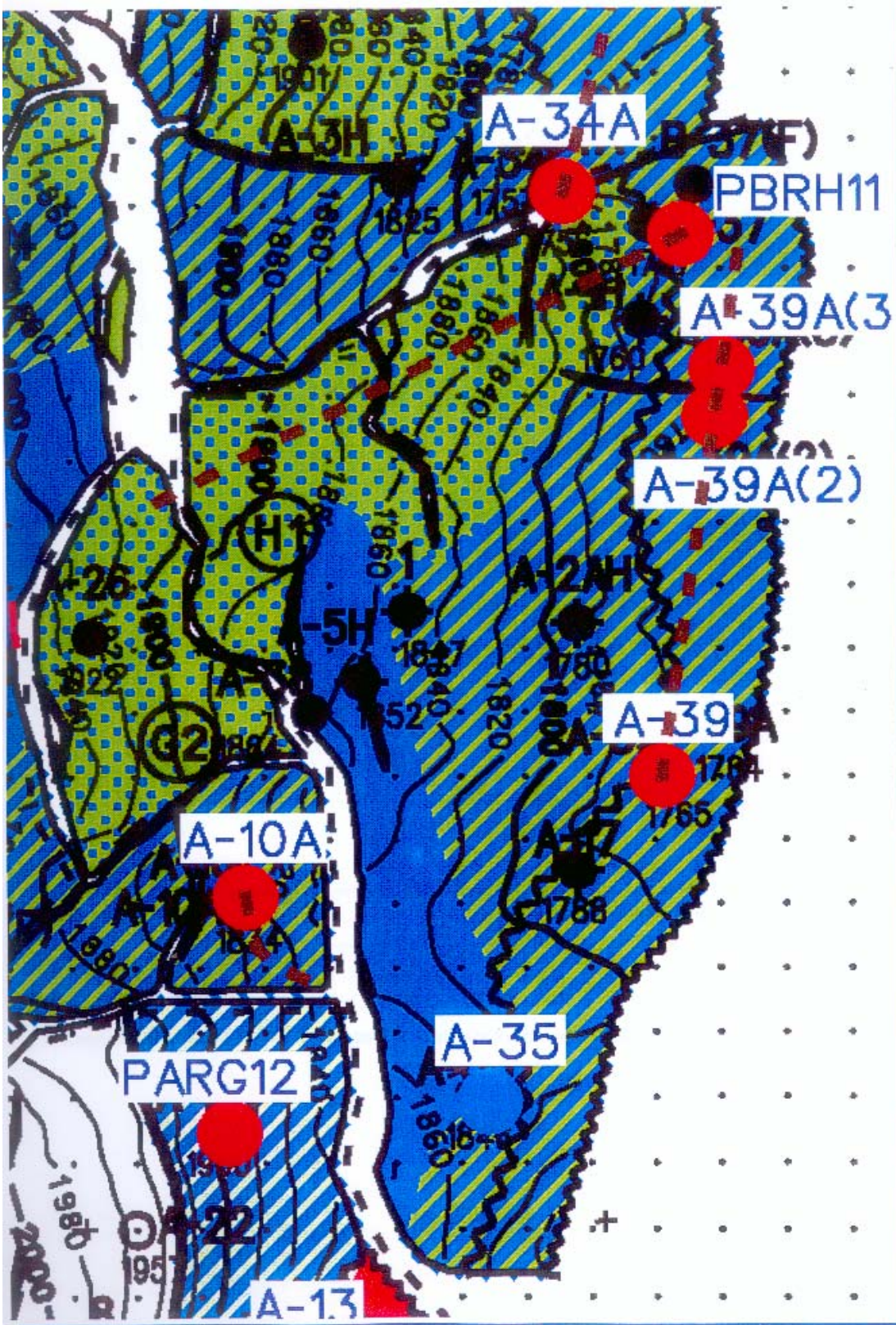
Όπως γράψαμε και προηγούμενα, μια ποσότητα νερού από το υδατικό μέτωπο, περιλαμβανομένου και του πρώτου tracer slug, απορροφήθηκε στους μικρής διαπερατότητας ψαμμίτες του ταμειυτήρα και παρατηρήθηκε κυρίως στις γεωτρήσεις P-A1H και P-A2AH. Το φαινόμενο αυτό δεν το συνέλαβε το υπάρχον μοντέλο ταμειυτήρα, με αποτέλεσμα την εσφαλμένη προσομοίωση της υδατικής προσπέλασης. Έτσι, κατά τη διάρκεια της ιστορικής εναρμόνισης, ο χρόνος προσπέλασης του νερού αγνοούταν και η μελέτη εστιάζεται στην εναρμόνιση του χρόνου προσπέλασης του δεύτερου tracer slug, το οποίο δεν επηρεάστηκε από την απορρόφηση, **σχήματα 3 & 4**. Για την ορθή λοιπόν προσομοίωση της διεργασίας απορροφήσεως πρέπει να εναρμονίζονται τόσο οι χρόνοι προσπέλασης νερού όσο και των ιχνηθετών.

Πρόελευση παραγόμενου νερού

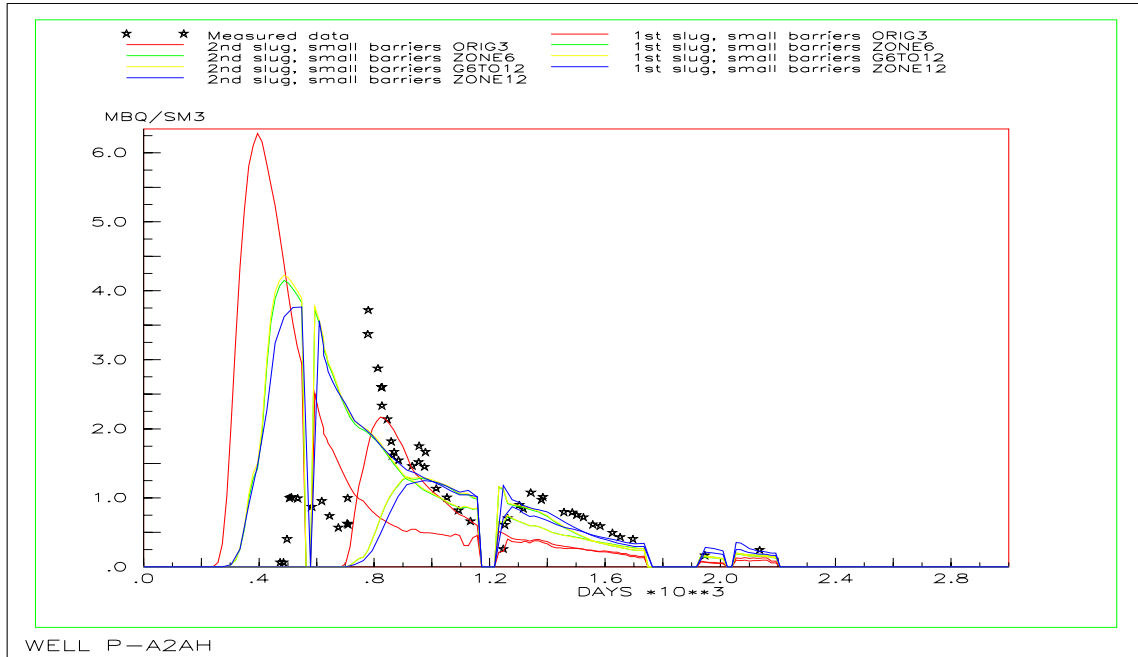
Οι ιχνηθέτες παρείχαν την μόνη πηγή πληροφοριών για την γεώτρηση P-A35 για τον διαχωρισμό του νερού που εγχύθηκε από τις γεωτρήσεις I-A5H και I-A38. όταν άνοιξε η γεώτρηση P-A35, ξεκίνησε να παράγει νερό που μπορεί να προερχόταν από οποιαδήποτε από τις δύο αυτές γεωτρήσεις. Ο ιστορικός εναρμονισμός θα ήταν σχετικά εύκολος και χωρίς την χρήση των ιχνηθετικών δεδομένων. Ωστόσο, για την ορθή εναρμόνιση της αναλογίας του νερού που φθάνει από κάθε γεώτρηση είναι απαραίτητα τα ιχνηθετικά δεδομένα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όταν η γεώτρηση τέθηκε σε παραγωγή μόνο ο ΗΤΟ ιχνηθέτης συλλεγόταν, υποδεικνύοντας ότι το νερό που προέρχεται από τη γεώτρηση I-A5 είναι το μόνο που παράγεται. Η προσπέλαση του ιχνηθέτη NaSCN υποδεικνύει τότε το νερό από τη γεώτρηση I-A38 φθάνει στη γεώτρηση P-A35.

Πίνακας 1 – Διάφορες μετρήσεις ευαισθησίας. Η σειρά αντιστοιχεί σε μία γεωλογική ζώνωση και η στήλη σε ένα μοντέλο πετροφυσικής καταχώρησης.

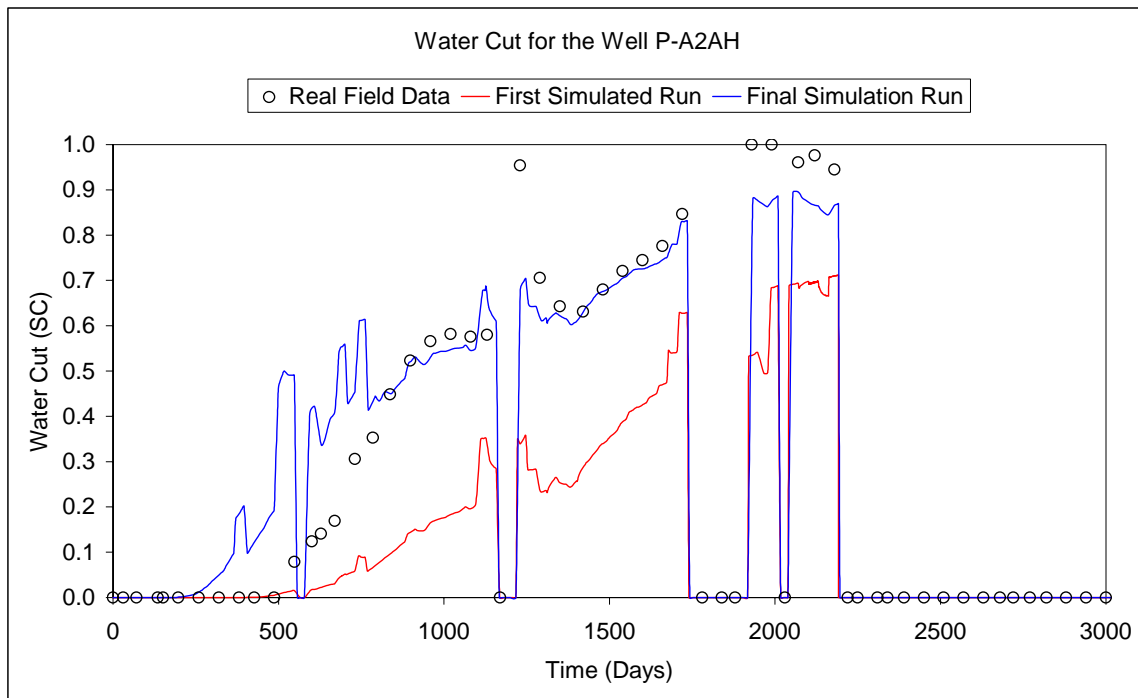
	I	II	III	IV	V	VI
All grids have 12 eclipse layers	constant petrophysics within each eclipse layer	6-zone simulated petrophysics <u>without</u> barriers	6-zone simulated petrophysics <u>with</u> barriers	6-zone simulated petrophysics <u>with</u> barriers	12-zone simulated petrophysics <u>without</u> barriers	6-zone simulated petrophysics, cutoff on permz
ORIG3 Grid Extracted from the full field model	*	c1	c1 + b1	c1 + b'1		
6-ZONE grid based on new zonation	*	c1	c1 + b1	c1 + c'1		c1
12-ZONE grid from refined new zonation	*	c1 c2	c1 + b1 c1 + b2 c2 + b1 c2 + b2		c'1 c'2	
G6TO12 grid based on new zonation, split acc. to refined	*	c1	c1 + b1	c1 + b'1		



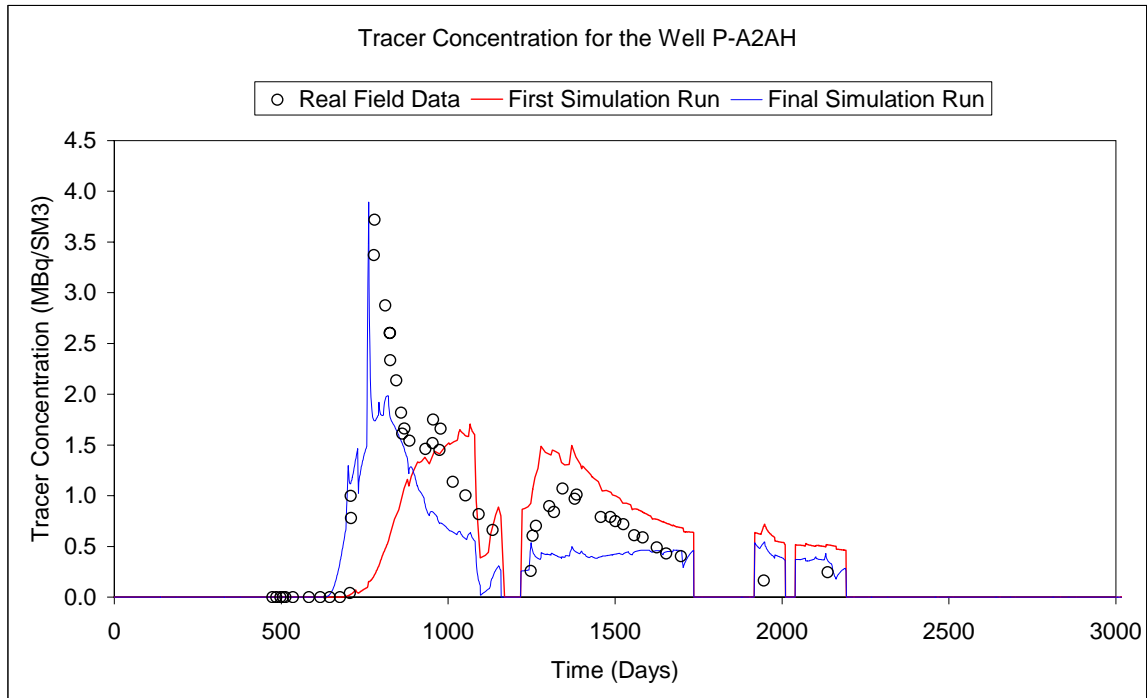
Σχήμα 1: Ο ταμιευτήρας Gullfaks



Σχήμα 2: Σύγκριση συγκεντρώσεων ιζηθетών ανάμεσα στις διάφορες ζώνες για τη γεώτρηση A-2AH (Gullfaks Field - Small size barriers).



Σχήμα 3 – Ιστορικός εναρμονισμός του Water Cut για τη γεώτρηση P-A2AH.



Σχήμα 4 – Ιστορικός εναρμονισμός της Συγκέντρωσης Ιχνηθέτη για τη γεώτρηση P-A2AH.