



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΑΜΜΙΤΙΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ PAYZONE**

ΑΛΕΞΗΣ ΚΟΥΛΙΔΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΒΑΡΟΤΣΗΣ Ν., ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΗΧ.Ο.Π. (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ Β., ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΗΧ.Ο.Π.

ΓΑΓΑΝΗΣ Β., Δρ ΜΗΧ.Ο.Π.

ΧΑΝΙΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής, έγινε με την βοήθεια ορισμένων ανθρώπων που θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κελεσίδη Βασίλειο που μου έδωσε την δυνατότητα να δουλέψω πάνω σε αυτό το αντικείμενο. Τον ευχαριστώ για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγησή του καθώς επίσης για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Βαρότση Νικόλαο για την επίβλεψη της παρούσας εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ κ. Γαγάνη Βασίλειο για την βοήθεια και τις γνώσεις που μου πρόσφερε στην παρούσα εργασία.

Περίληψη

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση διαφορών ως προς την διατηρησιμότητα των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων σε γεωτρήσεις υδρογονανθράκων με τη βοήθεια του λογισμικού Payzone. Για την σύγκριση των πετρωμάτων, πάρθηκαν τρεις σειρές δεδομένων για τα ανθρακικά πετρώματα και δύο σειρές δεδομένων για τα ψαμμιτικά από τρεις ερευνητικές γεωτρήσεις υδρογονανθράκων και ακολούθως έγινε η εισαγωγή των δεδομένων στο PayZone για να γίνει η προσομοίωση των γεωτρήσεων.

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από τα εξής επιμέρους θέματα: Αρχικά γίνεται μια γενική αναφορά ως προς τα πετρώματα που θα συγκριθούν στην εργασία, ακολούθως οι παράμετροι που επηρεάζουν την διατηρησιμότητα των πετρωμάτων. Στην συνέχεια γίνεται μια αναφορά ως προς τον τρόπο χρήσης του λογισμικού PayZone και από τα τμήματα που αποτελείται. Ακολουθούν οι γεωτρήσεις και τα δεδομένα που πάρθηκαν για τα ανθρακικά και ψαμμιτικά δεδομένα και η προσομοίωση τους με το PayZone.

Τέλος γίνεται σύγκριση των παραμέτρων που επηρεάζουν την διατηρησιμότητα των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων και τα αποτελέσματα που εξάγονται από το PayZone σχετικά με την διατηρησιμότητα και τον βαθμό δυσκολίας προσομοίωσης των συγκεκριμένων πετρωμάτων.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	ii
Πίνακας εικόνων	v
Περιεχόμενο πινάκων	vi
Πίνακας διαγραμμάτων	vi
Διάγραμμα 10.21: Μεταβολή του ρυθμού διάνοιξης με αύξηση του WOB.....	103
.....	viii
Πίνακας σχημάτων	viii
Εισαγωγή	ix
Κεφάλαιο 1 ^ο – Τα βασικά χαρακτηριστικά της εργασίας.....	1
1.1. PayZone	1
1.2. Ανθρακικά Πετρώματα.....	1
1.3. Ψαμμιτικά πετρώματα	4
Κεφάλαιο 2 ^ο – Παράμετροι που επηρεάζουν την διατρησιμότητα των πετρωμάτων.....	5
2.1. Βάρος στο κοπτικό.....	5
2.2. Περιστροφική ταχύτητα.....	7
2.3. Παροχή λάσπης.....	8
2.4. Ακροφύσια.....	9
2.5. Πυκνότητα λάσπης.....	10
2.6. Κοπτικά άκρα.....	11
2.7 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (UCS).....	13
Κεφάλαιο 3 ^ο - Διατρησιμότητα των πετρωμάτων	15
3.1. Ορισμός της αντοχής των πετρωμάτων σε διάτρηση (drilling strength of rock).....	15
3.2. Ειδική ενέργεια	16
Κεφάλαιο 4 ^ο – Οδηγίες χρήσης του λογισμικού PayZone	19
4.1. Γενικά	19
Κατώτερη συνδεσμολογία	20
Επιλογή Επένδυσης (casing).....	21
Εισαγωγή και επιλογή κοπτικών άκρων	22
Εισαγωγή Λιθολογίας	23
Τελική φάση αποθήκευσης των δεδομένων.....	25
4.2. Προσομοίωση της γεώτρησης.....	25
Κεφάλαιο 5 ^ο - Παράδειγμα χρήσης λογισμικού	29
5.1. Σκοπός της άσκησης	29

5.2. Επιλογή δεδομένων.....	30
4.3. Επιλογή των τιμών μονοαξονικής θλίψης (UCS)	32
4.4. Προετοιμασία και εισαγωγή των δεδομένων στον προσομοιωτή.....	34
4.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	39
5.6. Σχόλια και παρατηρήσεις.....	42
Κεφάλαιο 6 ^ο – Γεώτρηση της Nalcor Energy – Oil and Gas Inc στο Western Newfoundland (Well 1)	43
6.1. Πρώτα ανθρακικά δεδομένα (Section 1)	43
Δεδομένα από την γεώτρηση	44
Επιλογή του UCS.....	49
Αποτελέσματα.....	50
6.2. Δεύτερη σειρά δεδομένων για ανθρακικά πετρώματα (Section 3)	53
Δεδομένα από την γεώτρηση	53
Επιλογή UCS	57
Αποτελέσματα.....	58
Κεφάλαιο 7 ^ο - Δεύτερη Γεώτρηση της Nalcor Energy – Oil and Gas Inc στο Western Newfoundland (Well 2-Section1)	61
Τρίτη σειρά δεδομένων για ανθρακικά δεδομένα.....	61
7.1. Δεδομένα της γεώτρησης.....	62
7.2. Επιλογή UCS	65
7.3. Πιέσεις κατά την διάρκεια της γεώτρησης	67
7.4. Αποτελέσματα.....	68
Κεφάλαιο 8 ^ο – Πρώτα Ψαμμιτικά δεδομένα (Well 1-Section 2)	70
8.1. Δεδομένα της γεώτρησης.....	70
8.2. Επιλογή UCS	74
8.3. Πιέσεις στην γεώτρηση.....	75
8.4. Αποτελέσματα.....	76
Κεφάλαιο 9 ^ο – Δεύτερη σειρά δεδομένων για τα Ψαμμιτικά δεδομένα (Well 3-Section 1).....	79
9.1. Δεδομένα της γεώτρησης.....	79
9.3. Πιέσεις στην γεώτρηση.....	82
9.4. Επιλογή UCS	83
9.5. Κοπτικά άκρα.....	84
9.6. Αποτελέσματα.....	85
Κεφάλαιο 10 ^ο – Σύγκριση δεδομένων	87

10.1. Διαφορές ως το προφίλ πιέσεων	87
Πίεση ρευστών των πόρων	87
Πυκνότητα λάσπης.....	88
Πιέσεις ρωγμάτωσης.....	89
10.2. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (UCS).....	90
10.3. Σύγκριση τιμών WOB, RPM, Q-flow.....	91
10.4. Σύγκριση κοπτικών άκρων και των χαρακτηριστικών τους	93
Μέγεθος κοπτικών άκρων	94
Ακροφύσια	95
Τύποι και κατασκευαστές κοπτικών άκρων	96
10.5. Σύγκριση ROP και ROP factor	98
10.6. Σύγκριση υλοποίησης προσομοίωσης με PayZone ανθρακικά – ψαμμιτικά.....	100
10.7. Βελτιστοποίηση της γεώτρησης Well 3 – Section 1	102
10.7. Συμπεράσματα	104
10.8. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	105
Βιβλιογραφία	106

Πίνακας εικόνων

<i>Εικόνα 1.1: Ασβεστόλιθος (Φωτογραφία ασβεστόλιθου, Κω, 2013)</i>	<i>2</i>
<i>Εικόνα 1.2: Δολομίτης (Φωτογραφία δολομίτη, Giriraj Exports, 2000)</i>	<i>3</i>
<i>Εικόνα 1.3: Ψαμμίτης (Φωτογραφία ψαμμίτη, SFU Museum and Archeology, 1993).....</i>	<i>4</i>
<i>Εικόνα 2.1: Έλεγχος βάρους στο κοπτικό άκρο.....</i>	<i>6</i>
<i>Εικόνα 2.2: Τοποθέτηση ακροφυσίων στο κοπτικό άκρο</i>	<i>9</i>
<i>Εικόνα 2.3: Προφίλ πίεσης λάσπης και πόρων σε σχέση με το βάθος</i>	<i>11</i>
<i>Εικόνα 2.4: Tungsten Carbide tricone bit.....</i>	<i>12</i>
<i>Εικόνα 2.5: Milled Tooth tricone bit.....</i>	<i>12</i>
<i>Εικόνα 2.6: PDC drag bit.....</i>	<i>13</i>
<i>Εικόνα 2.7: Natural Diamond drag bit.....</i>	<i>13</i>
<i>Εικόνα 4.1: State Editor.....</i>	<i>20</i>
<i>Εικόνα 4.2: Εισαγωγή κατώτερης συνδεσμολογίας (BHA)</i>	<i>21</i>
<i>Εικόνα 4.3: Εισαγωγή επένδυσης (Casing editor).....</i>	<i>22</i>
<i>Εικόνα 4.4: Εισαγωγή κοπτικών άκρων (Drill Bit Editor).....</i>	<i>23</i>
<i>Εικόνα 4.5: Εισαγωγή Λιθολογίας (Lithology Editor).....</i>	<i>24</i>
<i>Εικόνα 4.6: Αρχικό παράθυρο PayZone.....</i>	<i>25</i>

<i>Εικόνα 4.7: Επιλογή κοπτικού άκρου και ακροφυσίων</i>	<i>26</i>
<i>Εικόνα 4.8: Κεντρικός πίνακας χειρισμού της γεώτρησης</i>	<i>28</i>
<i>Εικόνα 5.1: Γεωγραφικός χάρτης της περιοχής</i>	<i>29</i>
<i>Εικόνα 6.1: Γεωγραφικός χάρτης περιοχής</i>	<i>44</i>
<i>Εικόνα 7.1: Περιοχή που πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση</i>	<i>61</i>

Περιεχόμενο πινάκων

<i>Πίνακας 5.1: Δεδομένα της γεώτρησης.....</i>	<i>31</i>
<i>Πίνακας 5.2: Εκτίμηση της μονοαξονικής αντοχής ακεραίου πετρώματος στο πεδίο [13]</i>	<i>33</i>
<i>Πίνακας 5.3: Τιμές UCS που χρησιμοποιήθηκαν</i>	<i>34</i>
<i>Πίνακας 5.4: Πίνακας στρωμάτων και τιμών UCS</i>	<i>34</i>
<i>Πίνακας 5.5: Βάθους, αλλαγή κοπτικών άκρων και πυκνοτήτων</i>	<i>35</i>
<i>Πίνακας 5.6: Μεταβολή του ROP σύμφωνα με την έκθεση [3]</i>	<i>36</i>
<i>Πίνακας 5.7: Σύγκριση χρόνων διάτρησης προσομοίωσης με πραγματικά δεδομένα</i>	<i>40</i>
<i>Πίνακας 5.8: Σύγκριση ρυθμού διάνοιξης</i>	<i>42</i>
<i>Πίνακας 6.1: Δεδομένα από την τελική έκθεσης της εταιρίας</i>	<i>45</i>
<i>Πίνακας 6.2: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν.....</i>	<i>47</i>
<i>Πίνακας 6.3: Δεδομένα γεώτρησης.....</i>	<i>53</i>
<i>Πίνακας 6.4: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν.....</i>	<i>56</i>
<i>Πίνακας 7.1: Δεδομένα της γεώτρησης.....</i>	<i>62</i>
<i>Πίνακας 7.2: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν για την γεώτρηση</i>	<i>65</i>
<i>Πίνακας 8.1: Δεδομένα γεώτρησης.....</i>	<i>71</i>
<i>Πίνακας 8.2: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν για την γεώτρηση</i>	<i>73</i>
<i>Πίνακας 9.1: Δεδομένα της γεώτρησης.....</i>	<i>80</i>
<i>Πίνακας 9.2: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν.....</i>	<i>84</i>

Πίνακας διαγραμμάτων

<i>Διάγραμμα 5.1: Μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής με σχέση το βάθος.....</i>	<i>37</i>
<i>Διάγραμμα 5.2: Μεταβολή του βάρους στο κοπτικό σε σχέση με το βάθος</i>	<i>37</i>
<i>Διάγραμμα 5.3: Μεταβολή του ROP adjust σε σχέση με το βάθος.....</i>	<i>38</i>
<i>Διάγραμμα 5.4: Μεταβολή του ROP σε σχέση με το βάθος</i>	<i>39</i>
<i>Διάγραμμα 5.5: Καμπύλη χρόνου διάτρησης του γεωτρώπανου σε σχέση με το βάθος</i>	<i>40</i>

Διάγραμμα 5.6: Σύγκριση ROP PayZone – Report	41
Διάγραμμα 5.7: Σύγκριση βάθους με χρόνο.....	41
Διάγραμμα 6.1: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος.....	46
Διάγραμμα 6.2: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος	46
Διάγραμμα 6.3: Μεταβολή Q-flow σε σχέση με το βάθος	47
Διάγραμμα 6.4: Προφίλ πιέσεων	48
Διάγραμμα 6.5: Διακυμάνσεις των ηχητικών χρόνων διάδοσης	49
Διάγραμμα 6.6: Μεταβολή UCS σε σχέση με το βάθος με βάση την εξίσωση.....	50
Διάγραμμα 6.7: Μεταβολή ROP factor με το βάθος.....	51
Διάγραμμα 6.8: Σύγκριση ROP payzone σε σχέση με το report.....	51
Διάγραμμα 6.9: Χρόνος γεώτρησης σε σχέση με το βάθος	52
Διάγραμμα 6.10: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος	54
Διάγραμμα 6.11: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος.....	55
Διάγραμμα 6.12: Μεταβολή Q-flow σε σχέση με το βάθος	55
Διάγραμμα 6.13: Προφίλ πιέσεων	56
Διάγραμμα 6.14: Διακυμάνσεις των ηχητικών χρόνων διάδοσης	57
Διάγραμμα 6.15: Μεταβολή UCS σε σχέση με το βάθος.....	58
Διάγραμμα 6.16: Μεταβολή ROP factor adjust με το βάθος	59
Διάγραμμα 6.17: Σύγκριση ROP γεώτρησης με το PayZone.....	59
Διάγραμμα 6.18: Χρόνος γεώτρησης σε σχέση με το βάθος	60
Διάγραμμα 7.1: Μεταβολή Q-flow σε σχέση με το βάθος	63
Διάγραμμα 7.2: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος.....	64
Διάγραμμα 7.3: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος	64
Διάγραμμα 7.4: Μεταβολή sonic travel time vs Depth	66
Διάγραμμα 7.5: Μεταβολή UCS με το βάθος.....	66
Διάγραμμα 7.6: Μεταβολή πιέσεων με το βάθος	67
Διάγραμμα 7.7: Μεταβολή ROP factor με το βάθος	68
Διάγραμμα 7.8: ROP εταιρίας και PayZone σε σχέση με το βάθος.....	69
Διάγραμμα 7.9: Χρόνος γεώτρησης με σχέση τον βάθος.....	69
Διάγραμμα 8.1: Μεταβολή Q-flow σε σχέση με το βάθος	72
Διάγραμμα 8.2: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος.....	72
Διάγραμμα 8.3: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος	73
Διάγραμμα 8.4: Μεταβολή Sonic travel time σε σχέση με το βάθος	74
Διάγραμμα 8.5: Μεταβολή UCS σε σχέση με το βάθος.....	75
Διάγραμμα 8.6: Προφίλ πτώση πιέσεων	76
Διάγραμμα 8.7: Μεταβολή ROP factor σε σχέση με το βάθος	77
Διάγραμμα 8.8: ROP εταιρίας και PayZone σε σχέση με το βάθος.....	77
Διάγραμμα 8.9: Χρόνος γεώτρησης σε σχέση με το βάθος	78
Διάγραμμα 9.1: Μεταβολή Q-flow σε σχέση με το βάθος	81
Διάγραμμα 9.2: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος.....	81

Διάγραμμα 9.3: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος	82
Διάγραμμα 9.4: Προφίλ πτώση πιέσεων	83
Διάγραμμα 9.5: Μεταβολή τιμών UCS με το βάθος.....	84
Διάγραμμα 9.6: Μεταβολή ROP factor με το βάθος.....	85
Διάγραμμα 9.7: ROP εταιρίας και PayZone σε σχέση με το βάθος.....	86
Διάγραμμα 9.8: Χρόνος γεώτρησης σε σχέση με το βάθος	86
Διάγραμμα 10.1: Μεταβολή της πτώσης πίεσης των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων	87
Διάγραμμα 10. 2: Οι διακυμάνσεις της πίεσης των πόρων των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων.....	88
Διάγραμμα 10.3: Οι διακυμάνσεις της πυκνότητας της λάσπης των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων.....	89
Διάγραμμα 10.4: Οι διακυμάνσεις της fracture pressure των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων.....	90
Διάγραμμα 10.5: Οι διακυμάνσεις της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων	91
Διάγραμμα 10.6: Οι διακυμάνσεις του WOB των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων	92
Διάγραμμα 10.7: Οι διακυμάνσεις των RPM των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων	92
Διάγραμμα 10.8: Οι διακυμάνσεις του Q-flow των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων.....	93
Διάγραμμα 10.9: Οι διακυμάνσεις της διαμέτρου των κοπτικών άκρων σε σχέση με το βάθος	94
Διάγραμμα 10.10: Μεταβολή TFA vs Depth.....	95
Διάγραμμα 10.11: Τύποι κοπτικών άκρων για τα ανθρακικά πετρώματα	96
Διάγραμμα 10.12: Τύποι κοπτικών άκρων για τα ψαμμιτικά πετρώματα.....	96
Διάγραμμα 10.13: Κατασκευαστές των κοπτικών άκρων για τα ανθρακικά πετρώματα	97
Διάγραμμα 10.14: Κατασκευαστές των κοπτικών άκρων για τα ψαμμιτικά πετρώματα	97
Διάγραμμα 10.15: Οι διακυμάνσεις του ROP των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων	98
Διάγραμμα 10.16: Οι διακυμάνσεις των τιμών του ROP factor των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων του Well 1	99
Διάγραμμα 10.17: Οι διακυμάνσεις των τιμών UCS των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων για το Well 1	100
Διάγραμμα 10.18: Μεταβολή ROP factor σε σχέση με το βάθος για τα ανθρακικά και ψαμμιτικά πετρώματα	101
Διάγραμμα 10.19: Μεταβολή UCS σε σχέση με το βάθος για τα ανθρακικά και ψαμμιτικά πετρώματα	101
Διάγραμμα 10.20: Σύγκριση των τιμών ROP για αυξημένη παροχή.....	102
Διάγραμμα 10.21: Μεταβολή του ρυθμού διάνοιξης με αύξηση του WOB.....	103

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 2.1: Επίδραση βάρους (Weight on the bit) στον ρυθμό διάνοιξης (R) [8]	7
Σχήμα 2.2: Τυπική καμπύλη επίδρασης ταχύτητας περιστροφής στον ρυθμό διάνοιξης	7

Εισαγωγή

Έχοντας μπει στα μέσα του 21^ο αιώνα, η ανάγκη του ανθρώπινου είδους για ενέργεια αυξάνεται σημαντικά κάθε χρόνο. Σήμερα η σπουδαιότερη και ποιο σημαντική μορφή φυσικής ενέργειας είναι το πετρέλαιο. Οι χώρες που έχουν το προνόμιο της παραγωγής (Ρωσία 12.65%, Σαουδική Αραβία 11.28%, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα 3.32%) [1] αυτού του πολύτιμου υλικού ευημερούν και βρίσκονται συνέχεια στην αναζήτηση για νέα κοιτάσματα.

Είναι ξεκάθαρο ότι τα μεγάλα κοιτάσματα πετρελαίου έχουν ήδη ανακαλυφθεί και η βιομηχανία πετρελαίου χρηματοδοτεί τα τελευταία χρόνια ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια για νέες τεχνικές εξόρυξης του πετρελαίου που απαιτούν νέα τεχνογνωσία και τεχνολογία για πρόσβαση σε κοιτάσματα τα οποία βρίσκονται στα πιο αφιλόξενα μέρη του πλανήτη και βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη από τα ήδη υπάρχοντα.

Λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας για τις πιέσεις και θερμοκρασίες που υπάρχουν στα μεγαλύτερα βάθη, διάφορες εταιρίες έχουν εφεύρει λογισμικά για την σχεδίαση και προσομοίωση γεωτρήσεων όπως το PayZone που βοηθούν στην βέλτιστη προσομοίωση των γεωτρήσεων για πιο ωφέλιμα αποτελέσματα.

Παρόλες τις νέες τεχνικές και τα καινούργια προγράμματα που αναπτύχθηκαν, ένα κομμάτι το οποίο προβληματίζει τους μηχανικούς γεωτρήσεων, είναι η συμπεριφορά των πετρωμάτων σε σχέση με τον τρόπο και την τεχνική διάτρησής τους.

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν πέντε σειρές δεδομένων που θα είναι τομείς των 1000 μέτρων, τρεις σειρές για ανθρακικά πετρώματα και δύο σειρές δεδομένων ψαμμιτικών πετρωμάτων, που πάρθηκαν από τελικές εκθέσεις εταιριών [2,3,4] και ακολούθως χρησιμοποιήθηκαν στο PayZone για να γίνει προσομοίωση της γεώτρησης.

Σκοπός της εργασίας είναι να συγκριθούν τα δεδομένα των δύο πετρωμάτων με την βοήθεια του λογισμικού PayZone (A.G Cooper, University of Missouri, 2007) και ακολούθως να εξαχθούν συμπεράσματα για τις διαφορές που έχουν ως προς την διατρησιμότητα τους. Επίσης θα γίνει και μια παρουσίαση όλων των δεδομένων για μια πληρέστερη ανάλυση ως προς το πώς επηρεάζουν τα διάφορα πετρώματα την διατρησιμότητα τους.

Στην συνέχεια θα περιγραφούν περιληπτικά τα περιεχόμενα κάθε κεφαλαίου.

Κεφάλαιο 1^ο: Στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά του λογισμικού PayZone και των χαρακτηριστικών των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων.

Κεφάλαιο 2^ο: Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά των παραμέτρων που επηρεάζουν την διατρησιμότητα των πετρωμάτων.

Κεφάλαιο 3^ο: Στο τρίτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά για την διατρησιμότητα των πετρωμάτων καθώς επίσης πως ορίζεται η ενέργεια που δαπανάται για να θρυμματιστεί και να καταστραφεί συγκεκριμένος όγκος πετρώματος κατά τη διεργασία της διάτρησης,

Κεφάλαιο 4^ο: Στο τέταρτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά των οδηγιών χρήσης του PayZone και θα γίνει περιγραφή των παραμέτρων που χρησιμοποιεί το λογισμικό και του σωστού τρόπου λειτουργίας του.

Κεφάλαιο 5^ο: Στο πέμπτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά του παραδείγματος χρήσης του λογισμικού που πραγματοποιήθηκε για την εξοικείωση με το λογισμικό.

Κεφάλαιο 6^ο: Στο έκτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά των πρώτων και των δεύτερων δεδομένων των ανθρακικών δεδομένων και η προσομοίωση τους.

Κεφάλαιο 7^ο: Στο έβδομο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά των τρίτων δεδομένων των ανθρακικών δεδομένων και η προσομοίωση τους.

Κεφάλαιο 8^ο: Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται αναφορά των πρώτων δεδομένων των ψαμμιτικών πετρωμάτων και η προσομοίωση τους.

Κεφάλαιο 9^ο: Στο ένατο κεφάλαιο γίνεται αναφορά των δεύτερων δεδομένων των ψαμμιτικών πετρωμάτων και η προσομοίωση τους.

Κεφάλαιο 10^ο: Στο δέκατο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά των διαφορών και των ομοιοτήτων σχετικά με την διατρησιμότητα των δύο πετρωμάτων και τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν σχετικά με το λογισμικό και των παραμέτρων που επηρεάζουν την διατρησιμότητα των πετρωμάτων.

Παρουσιάσεις σε συνέδρια.

➤ **V.C. Kelessidis, S. Ahmed, A. Koulidis.**

An Improved Drilling Simulator for Operations, Research and Training. Paper SPE-1235-P-15MEOS will be presented to 19th Middle East Oil & Gas Show and Conf., Bahrain, 8-11 March, 2015.

Abstract

This work describes the functionalities of the drilling simulator to optimize well drilling utilizing offset data offering also training modules for novice and experienced drillers. It fully simulates the drilling process using WOB, RPM, flow, survey and lithology data and predicts ROP. It is based on Payzone simulator, introduced some years ago. The improved simulator has been tested to compare performance with drilling data from sandstone and carbonate reservoirs. The simulator has also built in functionalities like prediction of rock strength, finding optimal rheological model from viscometer data, and optimizing bit nozzle selection. The simulator determines optimum conditions for drilling new wells utilizing offset data. It allows for fine tuning of the process. Validation is by matching predicted versus actual drilling curve. Once accomplished, a new well can be drilled, in similar environmental conditions, but with optimized drilling parameters. Training is accomplished with simple and challenging exercises, teaching students the drilling process, and allowing different drilling scenarios. It can be used for research to identify the importance of drilling parameters for drilling efficiency. We have tested performance and predictions using literature field data and compared performance in primarily sandstone and carbonate reservoirs. We have identified the situations where the performance of the simulator is different and investigated why. Overall, the simulator is capable of simulating any formation type. Our results also show that the improved functionalities, stand-alone calculators for rock strength, rheological parameter determination and optimization of bit nozzle performance have significantly enhanced the simulator capabilities. The results show that the simulator is very good tool for designing new wells using offset data. It provides good interactive training tool for students and engineers allowing experimentation of parameters affecting drilling process. We compared the simulator performance with respect to formation, sandstone versus carbonate reservoir and report similarities and differences.

Κεφάλαιο 1^ο – Τα βασικά χαρακτηριστικά της εργασίας

1.1. PayZone

Το λογισμικό PayZone είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης της διαδικασίας της γεώτρησης. Ο προσομοιωτής εκτιμά τους παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό διάνοιξης (Rate of Penetration) σε συγκεκριμένο πεδίο. Χρησιμοποιεί ιστορικά δεδομένα από μια συγκεκριμένη γεώτρηση, έχοντας υπόψη τους γεωλογικούς σχηματισμούς και χαρακτηριστικά των κοπτικών και τις υπόλοιπες παραμέτρους για να δώσει αριθμητικές συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού διάνοιξης (ROP) και του χρόνου ολοκλήρωσης της γεώτρησης. Ο χρόνος αυτός μπορεί να μετρηθεί σε σχέση είτε με τις ώρες λειτουργίας του γεωτρήπανου είτε σαν συνολικός χρόνος όπου συμπεριλαμβάνεται μέσα και ο χρόνος που απαιτείται για να γίνει αλλαγή της λάσπης, αλλαγή του κοπτικού άκρου, επένδυσης, τις διαγραφίες και ο χρόνος που χρειάζεται για να ανέβει και να κατέβει η διατρητική στήλη [5].

Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει χρησιμοποιηθεί από τον Kelessidis & Dalamarinis [6], όπου μέσω παρακολούθησης των παραμέτρων του κοπτικού άκρου, βελτιστοποιήθηκαν οι τιμές διάτρησης, ενώ ο Mahmoud χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τον προσομοιωτή για γεώτρηση Casing Drilling [7]. Τα αποτελέσματα ήταν καλά τόσο για την καμπύλη βάθος χρόνου όσο και για τις τιμές του ρυθμού διάνοιξης.

1.2. Ανθρακικά Πετρώματα

Οι δύο τύποι ανθρακικών πετρωμάτων που θα μελετηθούν στην παρούσα εργασία είναι:

- Ασβεστόλιθος
- Δολομίτης

Ο ασβεστόλιθος είναι πέτρωμα με κυριότερο ορυκτό συστατικό το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Είναι ιζηματογενές πέτρωμα με πυκνότητα 2.7 gr/cm^3 και η αντοχή του κυμαίνεται

από 500 έως 1500 kg/cm². Ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε πυριτικά, αργιλικά υλικά, πυρολουσίτη και οργανικές ενώσεις, είναι δυνατό να έχουμε παραλλαγές των ασβεστόλιθων. Τα ασβεστιτικά αυτά υπολείμματα συγκολλώμενα με την διαγένεση δημιουργούν την ασβεστολιθική απόθεση. Ο ασβεστόλιθος που δημιουργείται κατ' αυτό τον τρόπο χαρακτηρίζεται ως "οργανογενής" και, όπως είναι λογικό, είναι πιο πλούσιος σε απολιθώματα. Μορφές αυτού του τύπου ασβεστόλιθου αποτελούν η κρητίς (κοινώς κιμωλία) και ο ωολιθικός ασβεστόλιθος, ο οποίος εμφανίζεται να αποτελείται από μικρά, συγκολλημένα μεταξύ τους σφαιρίδια, τους ωολίθους.

Χαρακτηριστικοί σχηματισμοί που απαντώνται στα ασβεστολιθικά φαινόμενα χαρακτηρίζονται ως καρστικά φαινόμενα (Εικόνα 1.1). Σε μεγάλες, αρχικά συμπαγείς μάζες ασβεστόλιθου παρατηρούνται κοιλώματα, σπήλαια, ποικίλα φλεβοειδή ανοίγματα, σχηματισμοί χύτρας κτλ., που οφείλονται στην διάβρωση. Οι ασβεστόλιθοι που περιέχουν ως κύριο συστατικό εκτός από [ασβεστίτη](#) και [δολομίτη](#) ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) συνιστούν τους δολομιτικούς ασβεστόλιθους. Το βασικό συστατικό του πετρώματος έχει λευκό χρώμα, γι' αυτό και ο ασβεστόλιθος είναι λευκός ή ανοικτόχρωμος γκρίζος. Ανάλογα με τις προσμίξεις του, όμως, εμφανίζεται σχεδόν σε κάθε χρώμα, συνηθέστερα γκρίζο σκούρο ή και κοκκινωπό.



Εικόνα 1.1: Ασβεστόλιθος (Φωτογραφία ασβεστόλιθου, Κω, 2013)

Ο δολομίτης είναι ανθρακικό ορυκτό του ασβεστίου και του μαγνησίου (Εικόνα 1.2). Είναι πιο βαρύς, σκληρότερος και περισσότερο εύθρυπτος από τον ασβεστόλιθο. Έχει πυκνότητα 2.8 gr/cm^3 και σχηματίστηκε από διαγένεση ή υδροθερμική μετασμάτωση του ασβεστίτη σε υπεραλατούχες ιζηματογενείς αποθέσεις. Ανευρίσκεται, όμως, και σε αρκετά μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως το μάρμαρο και ως σχηματισμός σε υδροθερμικές φλέβες. Επίσης σε καρμωνατίτες και υπερβασικά πετρώματα. Το πορώδες του κυμαίνεται από 0.3 έως 4.0 % και είναι ανάλογο με το βάθος που βρίσκεται το πέτρωμα.

Η μεγαλύτερη ανθεκτικότητα των δολομιτών (σε σύγκριση με τους ασβεστόλιθους) στη διαβρωτική ενέργεια των ατμοσφαιρικών παραγόντων, σε συνδυασμό με τον μεγαλύτερο βαθμό σκληρότητας, ευνοεί τον σχηματισμό ενός πολυσύνθετου συνόλου από ρωγμές μέσα στις δολομιτικές μάζες, που δίνει συχνά μία τραχιά και ανώμαλη επιφάνεια, πλούσια σε πύργους, πρόπυργους, πυραμίδες ή κατακόρυφους τοίχους, στη βάση των οποίων συγκεντρώνονται μεγάλες μάζες από γωνιώδες υλικό (χαρακτηριστικό δολομιτικό τοπίο).



Εικόνα 1.2: Δολομίτης (Φωτογραφία δολομίτη, Giriraj Exports, 2000)

Τα ασβεστολιθικά πετρώματα αποδίδουν πολύ περισσότερο νερό σε σχέση με τα ψαμμιτικά, όταν δεν βρίσκονται στην επιφάνεια.

1.3. Ψαμμιτικά πετρώματα

Ο ψαμμίτης είναι ιζηματογενές πέτρωμα. Οι κόκκοι του είναι από χαλαζία και άστριους επειδή είναι άφθονοι στον φλοιό της γης και επίσης κόκκοι καολινίτη ή μοσχοβίτη οι οποίοι δίνουν αντίστοιχα τον καολινικό ψαμμίτη και τον μαρμαρυγιακό ψαμμίτη. Το συνδετικό υλικό ποικίλει και μπορεί να είναι άργιλος ή αργιλικός σχιστόλιθος ή ανθρακικό ορυκτό όπως ο ασβεστίτης ή σπανιότερα ο δολομίτης. Οι ψαμμίτες πλούσιοι σε κόκκους αστρίου λέγονται αρκόζες. Ο ψαμμίτης, όπως και η άμμος έχει πολλά χρώματα, αλλά συνήθως είναι καφέ, κόκκινος, κίτρινος, γκρι, ροζ ή μαύρος. Ο ψαμμίτης είναι πορώδης και έχει την ιδιότητα να φιλτράρει και να αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες υγρών και για αυτό είναι πολύτιμος για την δημιουργία αποθεμάτων πετρελαίου.

Οι ψαμμίτες παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντοχή σε θλίψη 1700 έως 2600 kg/cm² όταν το συνθετικό υλικό πυριτικό ή ασβεστιτικό. Όταν το συνθετικό υλικό έχει υποστεί διαγένεση έχει αντοχή μικρότερη από 500 kg/cm².



Εικόνα 1.3: Ψαμμίτης (Φωτογραφία ψαμμίτη, SFU Museum and Archeology, 1993)

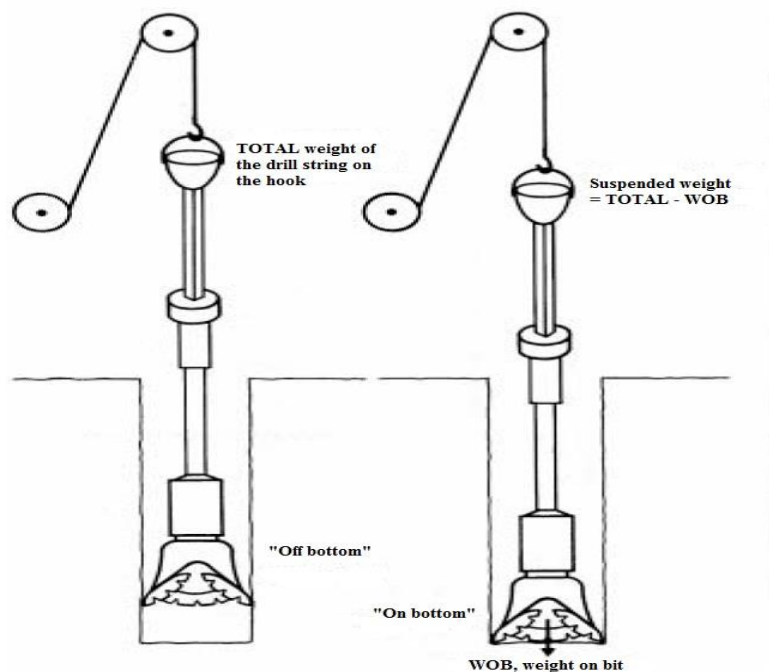
Κεφάλαιο 2^ο – Παράμετροι που επηρεάζουν την διατρησιμότητα των πετρωμάτων

Σε όλες τις γεωτρήσεις πετρελαίου, υπάρχουν ουσιαστικοί παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στον σωστό σχεδιασμό της γεώτρησης. Οι παράγοντες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Παράγοντες γεωτρήσανου/γεώτρησης όπως είναι: το βάρος που εφαρμόζεται στο κοπτικό άκρο, η περιστροφική ταχύτητα, η πυκνότητα του διατρητικού ρευστού (weight in English jargon), ο τύπος του κοπτικού άκρου, η παροχή λάσπης, ο αριθμός και το μέγεθος των ακροφυσίων, το ιξώδες.
- Παράγοντες πετρωμάτων όπως τις ιδιότητες των πετρωμάτων και τις ιδιότητες του περιβάλλοντος διάτρησης. Συμπεριλαμβάνονται οι τοπικές τάσεις, η συμπίκνωση των πετρωμάτων, η ορυκτολογική σύσταση, η πίεση των ρευστών των πόρων.

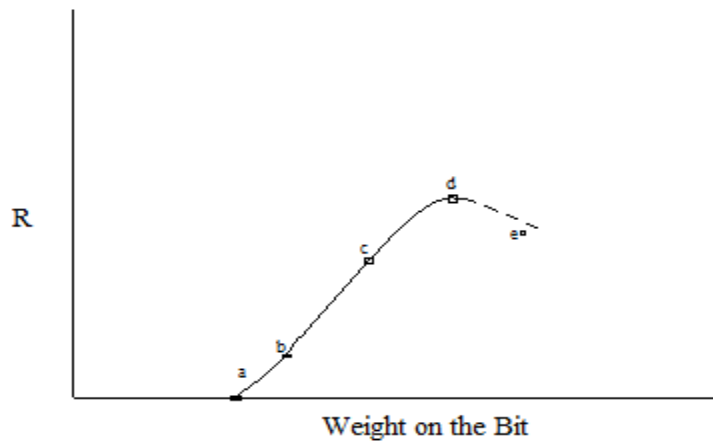
2.1. Βάρος στο κοπτικό

Η επίδραση του βάρους στο κοπτικό άκρο (Weight on bit) στον ρυθμό διάνοιξης (Rate of Penetration) είναι η κύρια μελέτη πολλών ερευνητών. Δοκιμές δείχνουν ότι εάν το βάρος στο κοπτικό άκρο αυξάνει, τότε ο ρυθμός διάνοιξης αυξάνει. Η αύξηση αυτή είναι επίσης ανάλογη εάν η λάσπη καθαρίζει επαρκώς τα θραύσματα στο κοπτικό άκρο. Από όλη την διατρητική στήλη η οποία αποτελείται κυρίως από όλα τα διατρητικά στελέχη, τα κολάρα (drill collars), την κατώτερη συνδεσμολογία (BHA) και το κοπτικό άκρο (drill bit), τα κολάρα είναι που εφαρμόζουν το βάρος στο κοπτικό άκρο. Στην παρακάτω Εικόνα 2.1, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο ο γεωτρυπανιστής υπολογίζει το βάρος που θα εφαρμοστεί στο κοπτικό άκρο.



Εικόνα 2.1: Έλεγχος βάρους στο κοπτικό άκρο

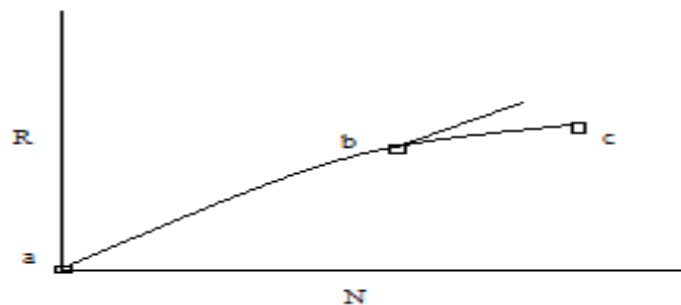
Η καμπύλη επίδρασης του βάρους στον ρυθμό διάνοιξης (R) δίδεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 2.1), διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές. Ο ρυθμός διάνοιξης (ROP) αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του βάρους (τμήμα ab), για χαμηλές τιμές του βάρους. Συνήθως παρατηρούμε μια σχεδόν γραμμική μεταβολή (τμήμα bc). Περαιτέρω αύξηση του βάρους δίδει μια μικρότερη αύξηση του ρυθμού διάνοιξης (τμήμα cd). Όταν παρατηρείται μια μείωση του ROP (τμήμα de), η μείωση αυτή οφείλεται στην μη ικανότητα καλού καθαρισμού των θραυσμάτων που παράγονται με μεγάλο ρυθμό ή την πλήρη διείσδυση των δοντιών του κοπτικού άκρου στο πέτρωμα.



Σχήμα 2.1: Επίδραση βάρους (Weight on the bit) στον ρυθμό διάνοιξης (R) [8]

2.2. Περιστροφική ταχύτητα

Η περιστροφική ταχύτητα συνδέεται άμεσα με το βάρος που εφαρμόζεται στο κοπτικό άκρο. Και οι δύο παράμετροι δεν μπορούν να αυξάνονται συνέχεια και ταυτόχρονα χωρίς να δημιουργούν προβλήματα στην διατηρητική στήλη και στο κοπτικό άκρο. Μια τυπική καμπύλη του ρυθμού διάνοιξης (R) σε σχέση με την περιστροφική ταχύτητα (N) δίδεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 2.2) [8].



Σχήμα 2.2: Τυπική καμπύλη επίδρασης ταχύτητας περιστροφής στον ρυθμό διάνοιξης

Ο ρυθμός διάνοιξης αυξάνεται συνήθως γραμμικά με την ταχύτητα περιστροφής, για χαμηλές τιμές. Σε υψηλότερες τιμές της ταχύτητας περιστροφής η αύξηση αυτή μειώνεται. Η μείωση επίσης οφείλεται στην μη ικανοποιητική απομάκρυνση των θραυσμάτων από την επιφάνεια του κοπτικού άκρου. Μελέτες δείχνουν ότι ο ρυθμός διάνοιξης αυξάνεται ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής για μαλακά πετρώματα και όχι για σκληρά. Στα σκληρά πετρώματα δεν αυξάνει πάνω από μια βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής. Η ταχύτητα περιστροφής περιορίζεται από :

- Τους κραδασμούς της διατρητικής στήλης
- Τον τύπο του κοπτικού άκρου
- Αντίσταση τριβής σε κεκλιμένα φρέατα

2.3. Παροχή λάσπης

Αναφέρθηκε ανωτέρω ότι ο ρυθμός διάνοιξης αυξάνει όταν το εφαρμοζόμενο βάρος στο κοπτικό άκρο αυξάνει για δεδομένη παροχή λάσπης (GPM) έως ένα όριο βάρους. Πάνω από το όριο αυτό μπορεί να παρατηρήσουμε ελάττωση του ROP με την αύξηση του βάρους. Όταν φτάσουμε σε αυτό το σημείο το φαινόμενο ονομάζεται balling up σημείο. Πέραν του σημείου αυτού δεν υπάρχει ικανή παροχή λάσπης για να καθαρισθεί ο πυθμένας από τα παραγόμενα θραύσματα. Μπορούμε να επεκτείνουμε το σημείο αυτό αν αυξήσουμε την παροχή και επιτύχουμε καλύτερο καθαρισμό. Άρα η παροχή επηρεάζει τον ρυθμό διάνοιξης, άλλα ως ένα σημείο. Η βάση για τον υπολογισμό της παροχής είναι η ταχύτητα καθίζησης των στερεών στην λάσπη εντός του δακτυλίου. Υπάρχει όμως μεγάλη δυσκολία στον υπολογισμό της ταχύτητας καθίζησης επειδή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

- Το σχήμα και την ισοδύναμη διάμετρο των θραυσμάτων
- Το είδος της ροής (στρωτή ή τυρβώδης)
- Ρεολογικοί παράμετροι της λάσπης

Χρειαζόμαστε την πίεση της αντλίας (pumping pressure) για να ξέρουμε :

- Για να ελέγχουμε τις συνθήκες λειτουργίας
- Να γνωρίζουμε την κίνηση της λάσπης στην γεώτρηση
- Να ελέγχουμε την σταθεροποίηση των τοιχωμάτων (wall stability)

2.4. Ακροφύσια

Τα ακροφύσια βοηθούν στον καθαρισμό του πυθμένα του φρέατος και στην δημιουργία δινών, για τον καθαρισμό των κοπτικών άκρων. Όταν μειώνουμε το μέγεθος των ακροφυσίων και την παροχή της λάσπης, ταυτόχρονα μειώνεται την πίεση που χάνεται από τις τριβές και αυξάνεται η πτώση πίεσης λίγο πριν τα ακροφύσια ενώ διατηρείται σταθερή η ισχύς της αντλίας. Ως εκ τούτο μεγαλύτερο ποσοστό της διαθέσιμης ισχύος θα πάει στο κοπτικό, παρά θα χαθεί λόγω τριβών.

Με την μείωση της διαμέτρου των ακροφυσίων, επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη ταχύτητα εξόδου της λάσπης (mud) από το κοπτικό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη δύναμη πρόσπτωσης της λάσπης ως προς το πέτρωμα και υποβοήθηση της διήθησης του ρευστού στον σχηματισμό όπου έχει σαν αποτέλεσμα την πιθανή ρηγμάτωση του πετρώματος για να είναι πιο εύκολη η διάτρησή του. Η παροχή της λάσπης δεν πρέπει να μειωθεί πολύ, γιατί πρέπει να μεταφέρει τα θραύσματα στην επιφάνεια.



Εικόνα 2.2: Τοποθέτηση ακροφυσίων στο κοπτικό άκρο (Κοπτικό άκρο, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2014)

Για τον καλύτερο συνδυασμό, πρέπει να είναι γνωστά τα όρια του συστήματος ισχύος και ιδίως της μέγιστης ισχύος και πίεσης. Όσο μειώνεται το μέγεθος των ακροφυσίων τόσο η ταχύτητα και η δύναμη με την οποία προσκρούει το διατρητικό ρευστό στο πέτρωμα αυξάνεται.

2.5. Πυκνότητα λάσπης

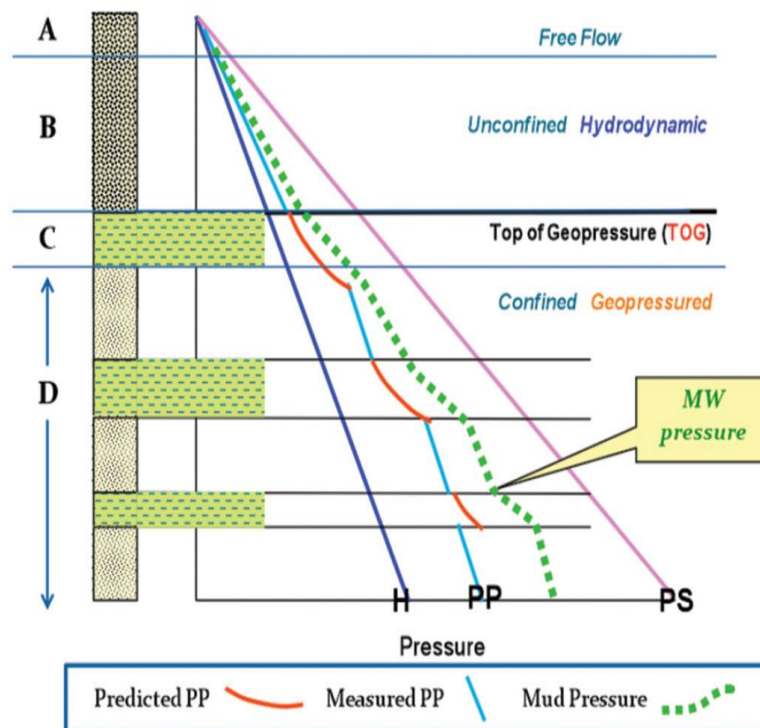
Η αύξηση της πυκνότητας της λάσπης μειώνει τον ρυθμό διάνοιξης διότι είναι πιο δύσκολο να σπάσουν τα πετρώματα όταν η υδροστατική πίεση που δρα επί των πετρωμάτων αυξάνει όπως επίσης και λόγω της κατακράτησης των θραυσμάτων στο μέτωπο του γεωτρυπάνου (chip hold down effect). Η ιδανική πυκνότητα λάσπης είναι ίση με την πυκνότητα του νερού για τον βέλτιστο ρυθμό διάνοιξης και για να ελαττωθεί η πιθανότητα να σπάσει ο σχηματισμός. Στην πράξη η πυκνότητα της λάσπης μπορεί να είναι και διπλάσια από του νερού όταν υπάρχει ο κίνδυνος για ζώνες ανώμαλης πίεσης (abnormal pressures).

Η πίεση που ασκεί η λάσπη σε ένα βάθος D είναι υδροστατική και ισούται :

$$p_{mud}=0.052*\rho_{mud}*D \quad (1)$$

Όπου ρ_{mud} η πυκνότητα της λάσπης σε lb/gal, p_{mud} σε psi και D σε ft

Η πίεση της λάσπης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την πίεση των ρευστών των πόρων (pore pressure) καθ' όλη την διάρκεια της γεώτρησης για να αποφύγουμε την εισροή των ρευστών των πετρωμάτων μέσα στην γεώτρηση. Επίσης πρέπει να είναι και μικρότερη από την πίεση που σπάει ο σχηματισμός (fracture pressure) για να μην έχουμε διαρροή των ρευστών της γεώτρησης. Το προφίλ της πίεσης της λάσπης (mud pressure) σε σχέση με την πίεση των πόρων και την πίεση που σπάει ο σχηματισμός, φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 2.3). Οι κανονικές πιέσεις ή αλλιώς πίεση των πόρων για συγκεκριμένη περιοχή δίδονται ως βαθμίδα πίεσης (pressure gradient).



Εικόνα 2.3: Προφίλ πίεσης λάσπης και πόρων σε σχέση με το βάθος

2.6. Κοπτικά άκρα

Ένα από τα θεμελιώδη καθήκοντα που εκπληρώνονται από τον μηχανικό γεωτρήσεων είναι η επιλογή, η λειτουργία και η αξιολόγηση της απόδοσης του κοπτικού άκρου (Azar and Samuel, 2007). Υπάρχει ένα μεγάλο εύρος επιλογής κοπτικών άκρων. Το διαφορετικό φάσμα κοπτικών άκρων οφείλεται στις διαφορετικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες ως προς την μηχανική κοπή των πετρωμάτων.

Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει μια ακριβής επιστημονική προσέγγιση για την πιο κατάλληλη επιλογή κοπτικού άκρου, οι παρακάτω παράγοντες είναι οι μέθοδοι που παρέχουν την πιο κοντινή προσέγγιση για το κοπτικό άκρο που θα διατηρήσει ένα σχηματισμό.

- Εξίσωση ειδικής ενέργειας
- Διεξοδική αξιολόγηση και σύγκριση με άλλα αρχεία γεωτρήσεων
- Η απόδοσης της γεώτρησης κατά την διάρκεια ενός κύκλου του κοπτικού άκρου
- Κόστος της γεώτρησης ανά πόδι (ft)

Τα κοπτικά άκρα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Με περιστρεφόμενους κώνους (roller cone bits) που αποτελούνται από κοπτικά στοιχεία τοποθετημένα σε κώνους που περιστρέφονται σε ρουλεμάν γύρω από τον δικό τους άξονα καθώς το κοπτικό περιστρέφεται. Δύο είναι οι βασικοί τύποι :
 - Οδοντωτά χαλύβδινα (Milled tooth)
 - Καρβίδια τανγκστεν (Tungsten carbide)
- Κοπτικά τριβής (drag bits) που είναι ένα με το σώμα του κοπτικού και περιστρέφονται απευθείας με την περιστροφή του κοπτικού άκρου. Οι δύο βασικοί τύποι είναι:
 - Συμπαγή πολυκρυσταλλικά διαμάντια (PDC)
 - Φυσικά διαμάντια (Natural diamond)



Εικόνα 2.4: Tungsten Carbide tricone bit



Εικόνα 2.5: Milled Tooth tricone bit



Εικόνα 2.6: PDC drag bit



Εικόνα 2.7: Natural Diamond drag bit

Η αύξηση του WOB σε συνάρτηση με την περιστροφική ταχύτητα, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ROP, υποθέτοντας ότι τα υδραυλικά του κοπτικού είναι τα καταλληλότερα. Αν το επίπεδο των υδραυλικών δεν είναι υψηλό, μια μείωση του ROP μπορεί να προκληθεί από την αύξηση του WOB και της περιστροφικής ταχύτητας. Σε γενικές γραμμές για τα μαλακά πετρώματα συνιστάται χαμηλό WOB και υψηλή ταχύτητα περιστροφής, σε αντίθεση με τα σκληρά πετρώματα όπου έχουμε χαμηλή ταχύτητα περιστροφής και υψηλό WOB.

Η επιλογή του κοπτικού άκρου είναι βασισμένη στο κοπτικό που παρέχει το λιγότερο κόστος ανά πόδι κατά την διάρκεια της γεώτρησης [9]. Αυτό το κόστος εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$C_f = [C_b + C_r (t_b + t_c + t_t)] / \Delta D \quad (2)$$

Όπου C_f είναι το κόστος γεώτρησης ανά πόδι, C_b το κόστος του κοπτικού άκρου, C_r είναι το κόστος του γεωτρυπάνου ανά ημέρα, ο συνολικός χρόνος για να διατηρηθεί το βάθος ΔD εκφράζεται ως το άθροισμα του χρόνου t_b που είναι ο χρόνος που περιστρέφεται το κοπτικό, τον χρόνο t_c που δεν περιστρέφεται η διατηρητική στήλη και τον χρόνο t_t που χρειάζεται για να αφαιρεθεί ή να προστεθεί διατηρητικό στέλεχος (trip time).

2.7 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (UCS)

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή του κοπτικού είναι η αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη. Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη είναι το φορτίο ανά

μονάδα επιφανείας που μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση ή θραύση του πετρώματος υπό διατμητική τάση συμπίεσης και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το μέγεθος των κρυστάλλων, των βαθμό εξαλλοίωσης και διαρρήξεως του πετρώματος. Οποιοδήποτε πέτρωμα στην επιφάνεια έχει κατά κανόνα μικρότερη τιμή UCS με ένα ίδιο πέτρωμα σε βάθος 1000 ft, διότι στο πέτρωμα που βρίσκεται στα 1000 ft ασκούνται πιέσεις, λόγω υπερκείμενου βάρους και θερμοκρασίες μεγαλύτερες σε σχέση με την επιφάνεια με αποτέλεσμα να το καθιστά πιο σκληρό και αυτό σημαίνει μεγαλύτερη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη.

Ο προσδιορισμός της αντοχής του πετρώματος γίνεται με την βοήθεια διαγραφιών που μετράνε τον χρόνο μετάδοσης του ήχου στον σχηματισμό (sonic travel time). Υπάρχουν εμπειρικές εξισώσεις που συνδυάζουν την τιμή UCS με τα ηχητικά δεδομένα (sonic data). Οι εξισώσεις διαφέρουν από σχηματισμό σε σχηματισμό. Για παράδειγμα, για τον προσδιορισμό του UCS για ανθρακικά πετρώματα προτείνεται η παρακάτω εξίσωση [10] :

$$UCS=570,808*e^{-0.031*\Delta t} \quad (3)$$

Σε αυτή την εξίσωση, το UCS είναι σε MPa και το Δt είναι οι ηχητικού χρόνοι διάδοσης σε ms/ft.

Πρώτα γίνεται εκτίμηση των τιμών UCS και έπειτα μέσω των κωδικών IADC των κοπτικών άκρων, γίνεται η επιλογή κοπτικού άκρου για τον συγκεκριμένο σχηματισμό.

Κεφάλαιο 3^ο - Διατρησιμότητα των πετρωμάτων

Η πρόβλεψη της ταχύτητας διάτρησης κάτω από διαφορετικές συνθήκες υπεδάφους αλλά και με διαφορετικού τύπου διατρητικό εξοπλισμό είναι απαραίτητη τόσο για την εκτίμηση του κόστους των γεωτρήσεων όσο και για τον ασφαλή σχεδιασμό τους [11].

Στην αναζήτηση κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης της διατρησιμότητας των πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν αρχικά παράμετροι των πετρωμάτων και ιδιαίτερα οι τιμές αντοχής σε θλίψη. Αλλά η παρατήρηση και η περαιτέρω έρευνα έδωσε αποτελέσματα, που έδειχναν ότι πετρώματα διαφορετικού τύπου αλλά με ίδιες περίπου τιμές αντοχής σε θλίψη, όπως για παράδειγμα ένα εκρηξιγενές πέτρωμα και ασβεστόλιθος, έδιδαν τελείως διαφορετική συμπεριφορά στη διάτρηση, που μετράται φυσικά ένας ρυθμός διάτρησης [18]. Κατά συνέπεια, υπεισέρχονταν και άλλες παράμετροι του πετρώματος στην εξίσωση, όπως για παράδειγμα αντοχή σε εφελκυσμό, αντοχή σε διάτμηση, αντοχή σε πρόσπτωση. Φυσικά, πέραν των ιδιοτήτων των πετρωμάτων, σημαντικό παράγοντα αποτελούν τόσο το γεωτρώπανο, όσο και το κοπτικό που χρησιμοποιούνται, που έχουν να κάνουν με τη μηχανική ενέργεια που παράγεται από το γεωτρώπανο και μεταφέρεται στο πέτρωμα μέσω του κοπτικού και του συστήματος διάτρησης. Τα προταθέντα μοντέλα, τόσο για τα κωνικά, όσο και για τα κοπτικά τριβής, είναι πολύ παραμετρικά και συνεπώς πολυσύνθετα, αλλά δεν λαμβάνουν υπόψη τη συνέργεια των υδραυλικών παραμέτρων, καθώς είναι γνωστό ότι ένας επιπρόσθετος παράγοντας είναι, φυσικά, και το ρευστό που χρησιμοποιείται και μεταφέρει στο πέτρωμα υδραυλική ισχύ [24].

3.1. Ορισμός της αντοχής των πετρωμάτων σε διάτρηση (drilling strength of rock)

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες ορισμού της αντοχής των πετρωμάτων σε διάτρηση (drilling strength of rock) κατά το σύνθημα του ορισμού της αντοχής σε θλίψη και της αντοχής σε εφελκυσμό. Δυστυχώς όμως ο τρόπος υπολογισμού της αντοχής σε διάτρηση δεν έχει ακόμη βρεθεί, διότι δεν έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει μοναδιαία παράμετρος ή ιδιότητα του πετρώματος, που μπορεί να περιγράψει την αντοχή των πετρωμάτων σε διάτρηση [18] παρά το γεγονός ότι έχουν προταθεί πολλοί τρόποι εκτίμησης μίας αντοχής του πετρώματος σε [19, 20, 21, 22].

Το μεγαλύτερο ποσοστό των μοντέλων λαμβάνουν υπόψη συγκεκριμένα δεδομένα από ομάδα γεωτρήσεων έτσι ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία τέτοιων μοντέλων για τον σχεδιασμό νέων γεωτρήσεων στην ίδια περιοχή.

Χρήση των συσχετίσεων επιτρέπει τον σχεδιασμό νέων γεωτρήσεων με προτάσεις για χρήση συγκεκριμένων κοπτικών, αλλά και εφαρμογής συγκεκριμένων τιμών παραμέτρων διάτρησης, όπως για παράδειγμα βάρος στο κοπτικό (W), ταχύτητα περιστροφής (N) και εφαρμοζόμενη ροπή (T). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η χρήση δεδομένων πεδίου και όχι εργαστηριακών δεδομένων για τη δημιουργία συσχετίσεων.

Ένα τέτοιο μοντέλο διατρησιμότητας πετρωμάτων προτάθηκε από τον Teale (1965) [23] που παρουσίασε τον συσχετισμό της ειδικής ενέργειας, την ενέργεια που χρειάζεται το γεωτρήπανο για να διατρήσει έναν όγκο πετρώματος. Το μοντέλο δίδεται από την παρακάτω εξίσωση (4):

$$ROP = \frac{(8)(RPM)(\mu D)\left(\frac{WOB}{Abit}\right)}{\frac{UCS}{eff} - \frac{WOB}{Abit}} \quad (4)$$

Όπου (Abit) είναι η επιφάνεια του κοπτικού, (μ) ο συντελεστής τριβής μεταξύ της διατρητικής στήλης και του σχηματισμού και (eff) είναι η απόδοση της μεταφοράς της καταστρεπτικής δύναμης από την διατρητική στήλη στο πέτρωμα.

3.2. Ειδική ενέργεια

Ως ειδική ενέργεια ορίζεται το υπολογισμένο έργο που δαπανάται για να θρυμματιστεί και να καταστραφεί συγκεκριμένος όγκος πετρώματος κατά τη διεργασία της διάτρησης.

Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να ορίσουν την ειδική ενέργεια ως ιδιότητα των πετρωμάτων, αλλά τούτο δεν είναι σωστό, διότι η ειδική ενέργεια, όπως ορίζεται, είναι μία γεωτρητική παράμετρος που χρησιμοποιείται στο πεδίο για προσαρμογή των γεωτρητικών δεδομένων με στόχο να διατηρηθεί στην ελάχιστη τιμή για βελτιστοποίηση της διατρητικής διεργασίας. Οι πιθανές προσαρμογές της γεωτρητικής διαδικασίας αφορούν σε αλλαγές στο εφαρμοζόμενο βάρος και συνεπώς στην εφαρμοζόμενη ροπή στο κοπτικό, σε διαφορετική ταχύτητα περιστροφής ή και σε χρήση διαφορετικού κοπτικού [23].

Ο προσδιορισμός της ειδικής ενέργειας για τις περιστροφικές διατρήσεις γίνεται, εάν θεωρήσουμε το έργο, που παράγει το εφαρμοζόμενο βάρος W και η εφαρμοζόμενη ροπή T , από το γεωτρύπανο στο κοπτικό και το ανάγουμε στη μονάδα όγκου παραγόμενων τριμμάτων. Σημειώνεται ότι μέρος της δαπανώμενης ενέργειας αναλίσκεται στην υπερνίκηση των τριβών, συνεπώς δεν μεταφέρεται στο σύνολό της στο πέτρωμα.

Το βάρος W κατά την προώθηση κατά Δh παράγει έργο:

$$E_w = W * \Delta h \quad (5)$$

συνεπώς η ενέργεια ανά μονάδα όγκου, SE_w , που μεταφέρεται λόγω του βάρους στο πέτρωμα δίδεται από την εξίσωση (5):

$$SE_w = \frac{W * \Delta h}{A * \Delta h} = \frac{W}{A} \quad (6)$$

όπου A είναι η επιφάνεια διάτρησης.

Με περιστροφικό συστήματα, λόγω του εφαρμοζόμενου βάρους W , αναπτύσσεται ροπή T , που είναι και το κυρίως έργο που δαπανάται παράγοντας έτσι έργο στη μονάδα του χρόνου

$$\frac{\text{Ενέργεια}}{\text{Χρόνο}} = \omega T$$

(7)

όπου ω η ταχύτητα περιστροφής, σε rad/s. Ο όγκος στερεών που παράγεται στη μονάδα του χρόνου δίδεται από:

$$\frac{\text{Ογκος}}{\text{Χρόνο}} = R * A \quad (8)$$

όπου R ο ρυθμός διάτρησης. Συνεπώς, η ειδική ενέργεια λόγω περιστροφής SE_T , δίδεται από:

$$SE_T = \omega * T / R * A \quad (9)$$

και με την T σε $N*m$, A σε m^2 , R σε m/s , η SE_T είναι σε N/m^2 δηλαδή Pa

Άρα η συνολική ειδική ενέργεια, SE_t , ορίζεται ως:

$$SE_t = \frac{W}{A} + \frac{\omega T}{R A} \quad (10)$$

Η ειδική ενέργεια που δαπανάται από το γεωτρύπανο μπορεί να εκτιμηθεί αλλά δεν είναι γνωστό όμως το ποσοστό από την ενέργεια που μεταφέρεται στο πέτρωμα και εν τέλει συνεισφέρει πραγματικά στη διάτρηση, ήτοι αγνοείται η αποδοτικότητα μεταφοράς της ενέργειας.

Κεφάλαιο 4^ο – Οδηγίες χρήσης του λογισμικού PayZone

Το λογισμικό PayZone επιτρέπει να οριστούν διαφορετικές λιθολογίες καθ' όλο το μήκος της γεώτρησης για διαφορετικό τύπο πετρώματος, αντοχής και τραχύτητας. Τα δεδομένα για τα πετρώματα, συνήθως είναι διαθέσιμα σε LAS αρχεία. Τα δεδομένα για την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη κατά κανόνα δεν δίδονται από τις εταιρίες. Εάν δεν δίδονται μπορούν να εκτιμηθούν από τα ηχητικά δεδομένα (sonic data) της γεώτρησης. Μόλις όλα τα δεδομένα φορτωθούν, το λογισμικό προσαρμόζεται για να αναπαραστήσει την γεώτρηση.

Το PayZone έχει αναπτυχθεί για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς [5,12] και είναι εύκολο στην χρήση. Το κύριο χαρακτηριστικό είναι η πρόβλεψη του ρυθμού διάνοιξης (ROP) με την παρακάτω εξίσωση (11) :

$$ROP=(\text{flow_factor})(C)(\text{aggressivity})(RPM)(\text{Tooth_length})(G)$$

$$\text{Όπου } G=1-\exp\left[-\left(\frac{WOB}{UCS}\right)^{\text{curv}}\left(\frac{12}{D^{2.5}(0.4*\text{tooth_length})}\right)\right] \quad (11)$$

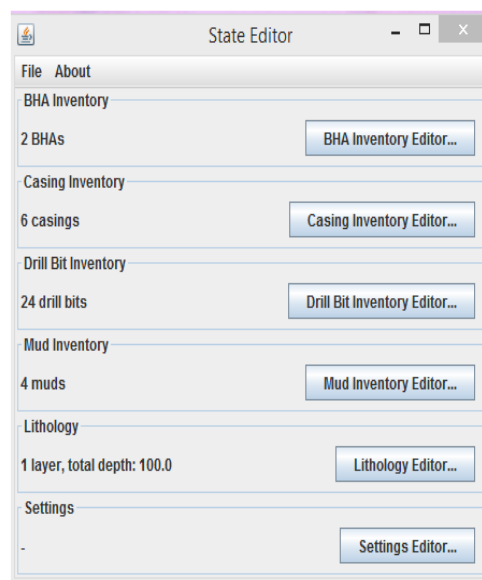
C είναι μια σταθερά, tooth length το μέγεθος των δοντιών του κοπτικού άκρου, D η επιφάνεια του κοπτικού άκρου, aggressivity είναι μια χαρακτηριστική σταθερά του κοπτικού και του σχηματισμού που παίρνει τιμές από 20-100% και πιο συχνά παίρνει την τιμή 35% και WOB το βάρος που εφαρμόζεται στο κοπτικό άκρο. Το flow_factor είναι μια σταθερά που παίρνει τιμές από 50-100% και καθορίζει την ικανότητα του συστήματος να καθαρίζει επαρκώς το κοπτικό άκρο από τα θραύσματα. Το curve είναι μια σταθερά αλληλεπίδρασης του σχηματισμού και του WOB όπου συνήθως παίρνει την τιμή 1.5.

4.1. Γενικά

Το λογισμικό PayZone είναι κατασκευασμένο σε περιβάλλον Java. Για την εγκατάσταση του δεν απαιτείται κάποια διαδικασία, μόνο η σωστή έκδοση της Java να είναι εγκατεστημένη στον ηλεκτρονικό υπολογιστή [6].

Η χρήση του λογισμικού γίνεται με δύο βήματα 1) την εισαγωγή δεδομένων και 2) την προσομοίωση και εξαγωγή αποτελεσμάτων. Για την εισαγωγή των δεδομένων χρησιμοποιείται το

“**state editor**” στο οποίο έπειτα εμφανίζεται μια σειρά εντολών (Εικόνα 4.1). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι είναι δυνατή και η φόρτωση παλιότερων δεδομένων με την επιλογή του “**File**” και έπειτα “**Open**”. Από το λογισμικό δίδεται η δυνατότητα εισαγωγής όλων των δεδομένων που παίρνουν μέρος κατά την διάρκεια της γεώτρησης.

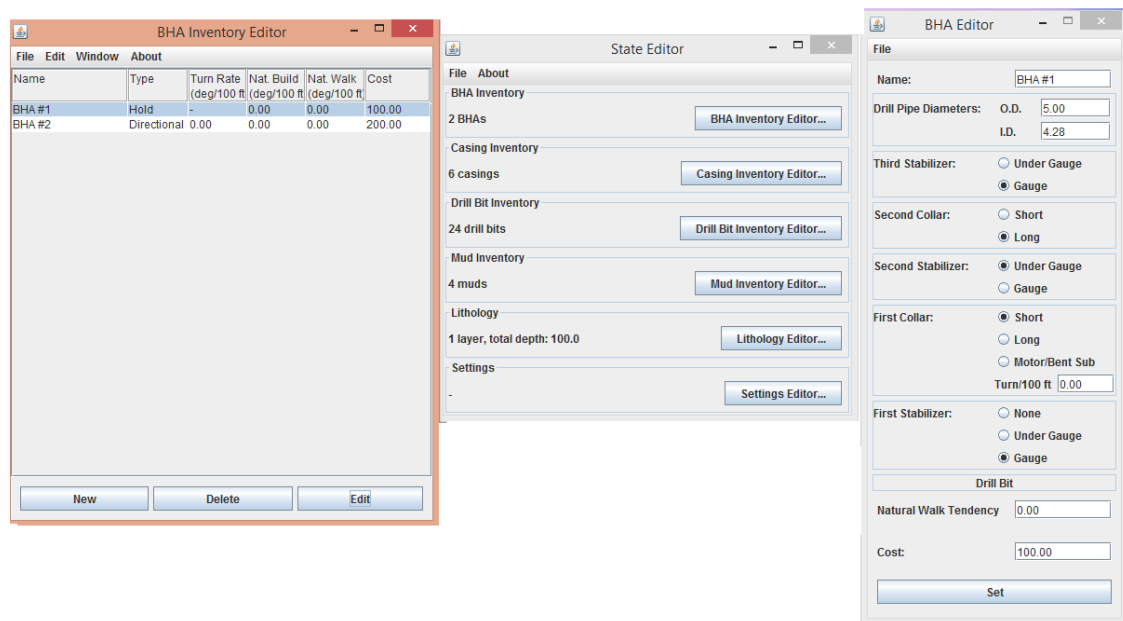


Εικόνα 4.1: State Editor

Κατώτερη συνδεσμολογία

Για την επιλογή του τύπου της κατώτερης συνδεσμολογίας είναι το πλήκτρο “**BHA Inventory**”. Μέσω αυτού του πλήκτρου υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής της κατώτερης συνδεσμολογίας και ανταποκρίνεται σε όλους τους τύπους δεδομένων που έχουν σχέση με το BHA. Αρχικά για την εισαγωγή του ονόματος είναι το πλήκτρο “**Name**”. Επόμενο βήμα είναι η επιλογή μεγέθους εσωτερικής και εξωτερικής διαμέτρου (I.D and O.D) της διατηρητικής στήλης από το πλήκτρο “**Drill Pipe Diameters**”. Οι δύο τύποι BHA που χρησιμοποιούνται είναι για

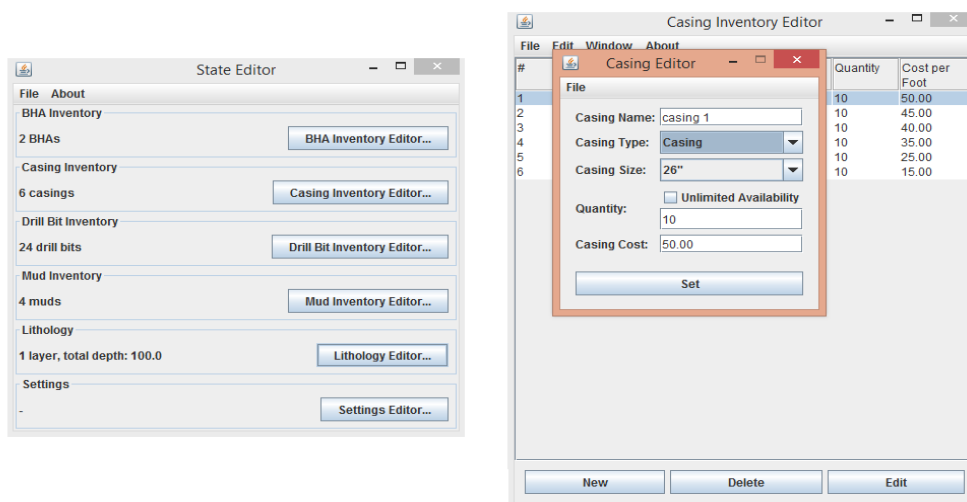
κατακόρυφες γεωτρήσεις και για κεκλιμένες. Για την επιλογή BHA για κεκλιμένες γεωτρήσεις, πρέπει να επιλεγεί το πλήκτρο “**Motor/Bent Sub**” και να ρυθμιστεί η τιμή της γωνίας που πρέπει να παίρνει τη διατηρητική στήλη ανά 100 πόδια. Έχοντας γίνει όλες οι απαραίτητες διαδικασίες για την εισαγωγή των δεδομένων, χρησιμοποιείται το πλήκτρο “**File**” και έπειτα το πλήκτρο “**Save as**” για την αποθήκευση του συγκεκριμένου σταδίου.



Εικόνα 4.2: Εισαγωγή κατώτερης συνδεσμολογίας (BHA)

Επιλογή Επένδυσης (casing)

Για την επιλογή της επένδυσής (casing) χρησιμοποιείται το πλήκτρο “ **Casing Inventory**”. Η διαδικασία επιλογής του casing είναι απλή. Αρχικά πρέπει να εισαχθεί ένα όνομα στο πλήκτρο “**Casing Name**” και έπειτα το επιθυμητό μέγεθος της επένδυσης που θα χρησιμοποιηθεί μέσω του πλήκτρου “**Casing Size**”. Έχοντας γίνει όλες οι απαραίτητες διαδικασίες για την εισαγωγή των δεδομένων, χρησιμοποιείται το πλήκτρο “**File**” και έπειτα το πλήκτρο “**Save as**” για την αποθήκευση του συγκεκριμένου σταδίου.



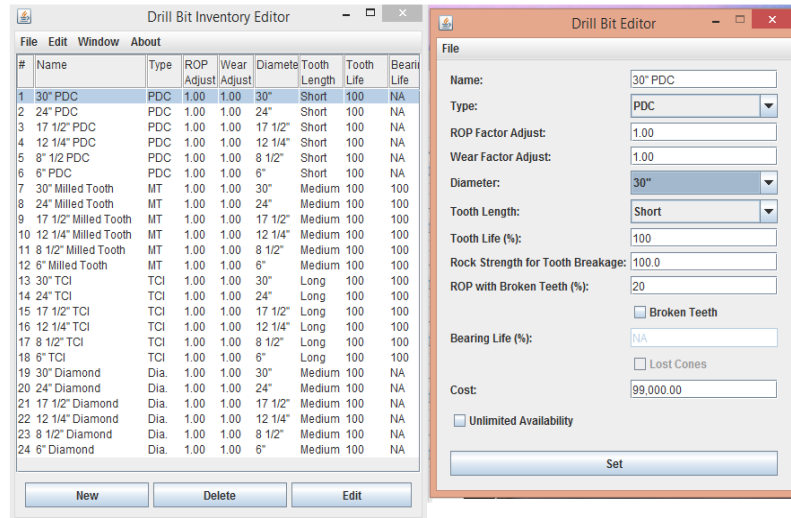
Εικόνα 4.3: Εισαγωγή επένδυσης (Casing editor)

Εισαγωγή και επιλογή κοπτικών άκρων

Για την εισαγωγή και επιλογή των κοπτικών άκρων είναι η εντολή **“Drill bit inventory editor”** το οποίο εμφανίζει το παράθυρο **“Drill bit editor”** (Εικόνα 4.4). Καταρχήν πρέπει να οριστεί το όνομα του αρχείου θα αποθηκευτούν τα δεδομένα για τα κοπτικά άκρα. Το όνομα του πεδίου δίδεται στο πεδίο **“Name”**. Στην συνέχεια είναι δυνατή η επιλογή τεσσάρων τύπων κοπτικών άκρων (Milled Tooth, Tungsten Carbine, PDC and Natural Diamond) από το πεδίο **“Type”**. Επίσης για να οριστεί το μέγεθος του κοπτικού άκρου (διάμετρος) η επιλογή αυτή βρίσκεται στο πεδίο **“Diameter”** όπου υπάρχει ένα φάσμα επιλογών μεγέθους. Τέλος στο πεδίο **“Tooth Length”** ορίζεται το μήκος των δοντιών του κοπτικού άκρου (Short, Medium, Long).

Το λογισμικό δεν παρέχει την δυνατότητα επιλογής της κατασκευαστικής εταιρίας που κατασκευάζει κοπτικά άκρα ή τα μοντέλα κοπτικών άκρων. Για παράδειγμα ένα μοντέλο Milled Tooth τύπου SDGH της Smith έχει συγκεκριμένες παραμέτρους λειτουργίας όπως ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών βάρους στο κοπτικό άκρο, ταχύτητάς περιστροφής και αντοχή του πετρώματος. Για αυτό το λόγο υπάρχει η παράμετρος **“RoP factor adjust”** όπου η σημαντικότερη λειτουργία για την καλύτερη δυνατή προσομοίωση του κοπτικού που χρησιμοποιήθηκε και παίρνει τιμές από το 0 έως την μέγιστη το δέκα. Έχοντας γίνει όλες οι

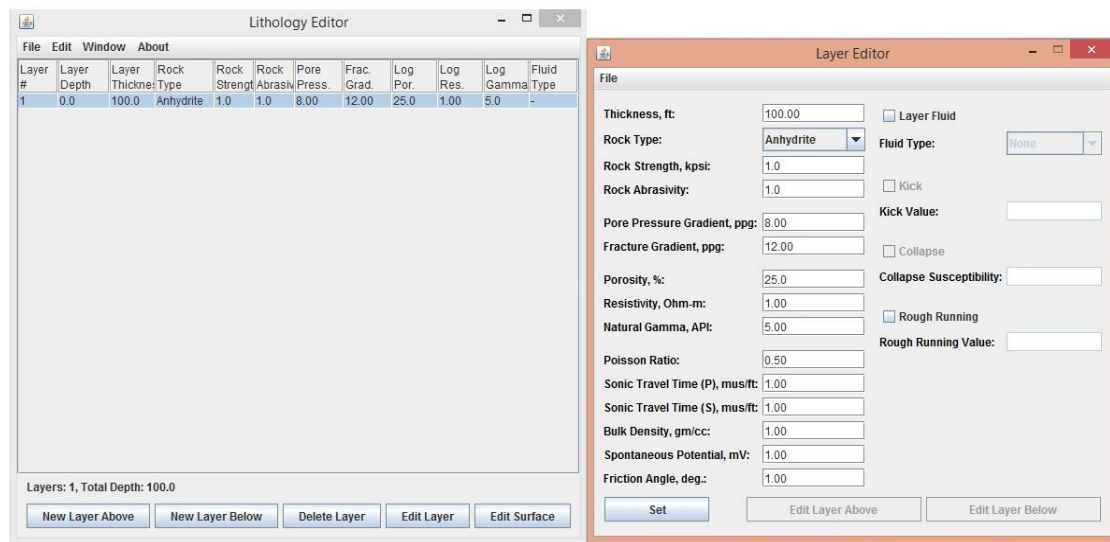
απαραίτητες διαδικασίες για την εισαγωγή των δεδομένων, χρησιμοποιείται το πλήκτρο ‘**File**’ και έπειτα το πλήκτρο ‘**Save as**’ για την αποθήκευση του συγκεκριμένου σταδίου.



Εικόνα 4.4: Εισαγωγή κοπτικών άκρων (Drill Bit Editor)

Εισαγωγή Λιθολογίας

Το βασικότερο τμήμα για την σωστή προσομοίωση, είναι το κομμάτι της λιθολογίας. Για να εισαχθούν τα λιθολογικά δεδομένα, χρησιμοποιείται το πλήκτρο ‘**Lithology Editor**’. Με το άνοιγμα αυτού του παραθύρου εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο (Εικόνα 4.5) όπου δίδεται η δυνατότητα να εισαχθεί ένα καινούργιο στρώμα με την βοήθεια του πλήκτρου ‘**Edit Layer**’.



Εικόνα 4.5: Εισαγωγή Λιθολογίας (Lithology Editor)

Με το άνοιγμα του “**Edit Layer**”, γίνεται εισαγωγή δεδομένων με κύριες τις παρακάτω (Εικόνα 4.5) :

- Πάχος στρώματος (Thickness)
- Είδος του πετρώματος (Rock type)
- Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (Rock strength)
- Τραχύτητα (Abrasivity)
- Πίεση πόρων (Pore Pressure)
- Πίεση που <<σπάει>> το πέτρωμα (Fracture Pressure)
- Πορώδες (Porosity)

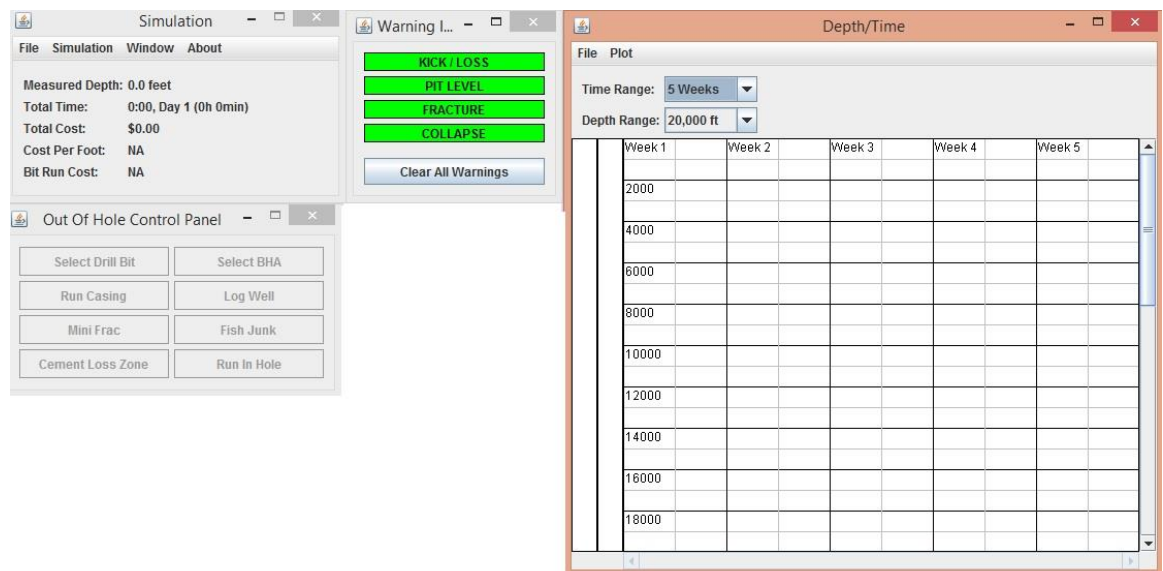
Στην συνέχεια χρησιμοποιείται το πλήκτρο “**Set**” για να οριστικοποιηθούν τα δεδομένα. Έχοντας γίνει όλες οι απαραίτητες διαδικασίες για την εισαγωγή των δεδομένων, χρησιμοποιείται το πλήκτρο “**File**” και έπειτα το πλήκτρο “**Save as**” για την αποθήκευση του συγκεκριμένου σταδίου.

Τελική φάση αποθήκευσης των δεδομένων

Μόλις ολοκληρωθεί η αποθήκευση των παραπάνω σταδίων, για να διαβαστεί και για να μπορέσει μετέπειτα να γίνει η προσομοίωση από το PayZone, πρέπει να γίνει η αποθήκευση του σαν ένα αρχείο. Για να επιτευχθεί, χρησιμοποιείται η εντολή του προγράμματος **“File”**, και μετέπειτα **“Save as”**.

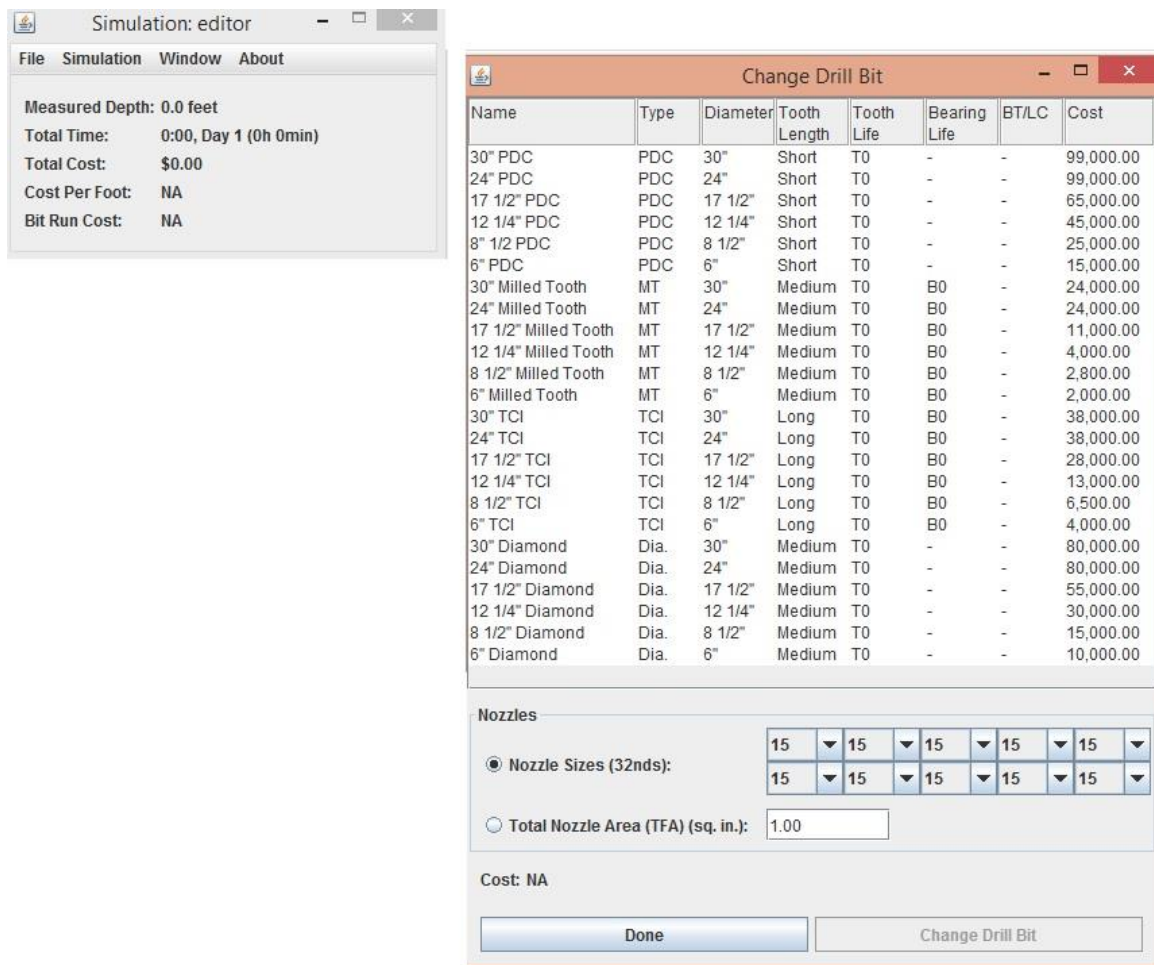
4.2. Προσομοίωση της γεώτρησης

Για την προσομοίωση της γεώτρησης, χρησιμοποιείται το αρχείο **“payzone”**. Στο νέο παράθυρο που θα εμφανιστεί (Εικόνα 4.6), για την επιλογή του αρχείου όπου έγινε η αποθήκευση όλων των δεδομένων, χρησιμοποιείται το πλήκτρο **“File”**, στην συνέχεια **“Open State”** και έπειτα επιλογή το αρχείο και άνοιγμα.



Εικόνα 4.6: Αρχικό παράθυρο PayZone

Με το άνοιγμα του αρχείου, αυτόματα οι επιλογές γίνονται έντονες και είναι δυνατή η επιλογή τους. Χρησιμοποιώντας το πλήκτρο “**Select Drill Bit**” (Εικόνα 4.7), υπάρχει η δυνατότητα επιλογής των κοπτικών άκρων τα οποία είχαν εισαχθεί μέσω του “**Drill bit editor**”. Για την επιλογή των ακροφυσίων, επιλέγεται το πλήκτρο “**Nozzles Size**”. Μετέπειτα για το μέγεθος και για τον επιθυμητό αριθμό οι διπλανές επιλογές. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για την επιλογή της κατώτερης συνδεσμολογίας, μέσω του πλήκτρου “**Select BHA**”.



Εικόνα 4.7: Επιλογή κοπτικού άκρου και ακροφυσίων

Έχοντας έχει πραγματοποιηθεί η επιλογή των κοπτικών άκρων και της κατώτερης συνδεσμολογίας, γίνεται η επιλογή του πλήκτρου “**Run in Hole**”. Το λογισμικό έπειτα εμφανίζει τον κεντρικό πίνακα για τον χειρισμό της γεώτρησης (Εικόνα 4.8) .

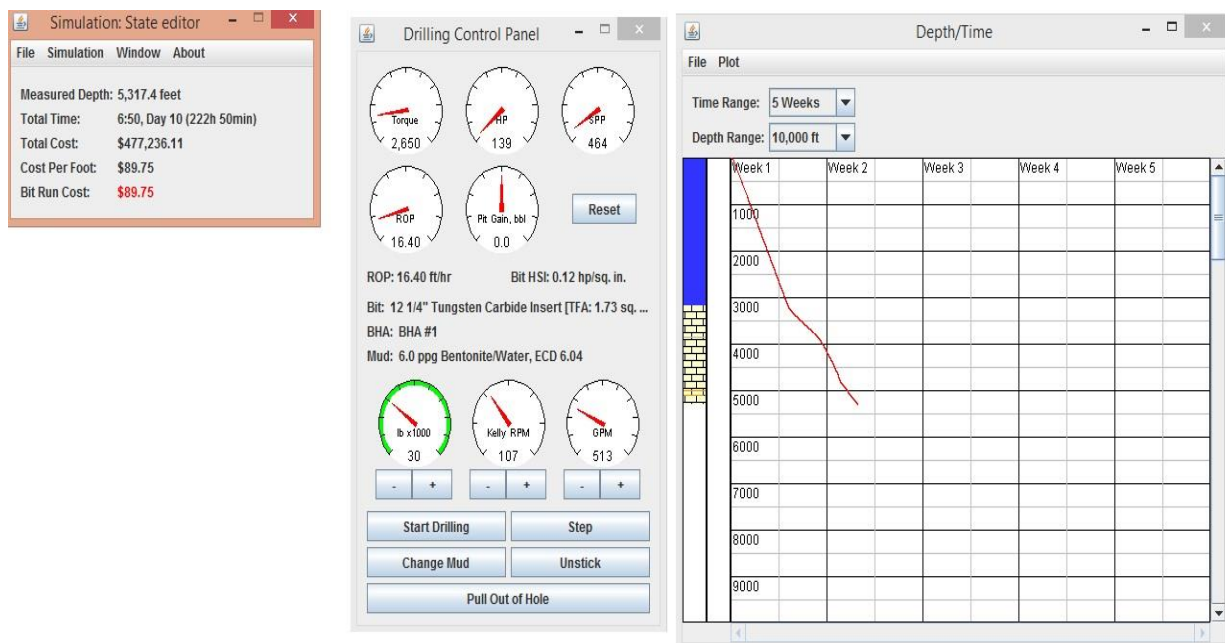
Στο αρχικό παράθυρο είναι διαθέσιμα καθ’ όλη την διάρκεια της γεώτρησης τα εξής στοιχεία :

- Μετρούμενο βάθος (Measured depth)
- Συνολικές ώρες γεώτρησης (Total time)
- Συνολικό κόστος (Total cost)
- Κόστος ανά πόδι (Cost per foot)
- Κόστος για να εισαχθεί το κοπτικό (Bit run cost)

Αρχικά εισάγεται η πυκνότητα και το είδος του ρευστού που θα χρησιμοποιηθεί στην γεώτρηση με την βοήθεια του πλήκτρου “**Change Mud**”. Στην συνέχεια τοποθετούνται τα δεδομένα για το βάρος στο κοπτικό άκρο (WOB), για την περιστροφική ταχύτητα (RPM) και για την παροχή του ρευστού της γεώτρησης (GPM).

Καθ’ όλη την διάρκεια της γεώτρησης με την βοήθεια των πινάκων παρουσιάζονται οι τιμές για:

- τον ρυθμός διάνοιξης (ROP)
- της ροπής που έχει το κοπτικό άκρο (Torque)
- της σταθερής πίεσης της διατρητικής στήλης (SPP)



Εικόνα 4.8: Κεντρικός πίνακας χειρισμού της γεώτρησης

Μόλις έχουν εισαχθεί όλα τα δεδομένα, στην συνέχεια χρησιμοποιείται το κουμπί “**Start Drilling**” για να ξεκινήσει η γεώτρηση. Επιλέγοντας το πλήκτρο “**Window**” και έπειτα “**New Window**”, εμφανίζεται μια σειρά επιλογών που βοηθάνε στην καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων της γεώτρησης.

Όταν χρειαστεί να γίνει αλλαγή κοπτικού άκρου, “**Stop Drilling**” έπειτα “**Pull Out Of The Hole**” και μετά επιλογή του πλήκτρου “**Drill Bits**” και ακολουθείται η ίδια διαδικασία.

Έχοντας φτάσει στο επιθυμητό βάθος, για να αποθηκευτεί η πορεία της γεώτρησης σε σχέση με τους σχηματισμούς που διατρήθηκαν, το βάθος και τον χρόνο, χρησιμοποιείται το πλήκτρο “**File**”, έπειτα “**Save as**”. Όταν φορτωθούν τα επόμενα δεδομένα και η προσομοίωση είναι έτοιμη να ξεκινήσει, για να γίνει σύγκριση με τα προηγούμενα αποτελέσματα, χρησιμοποιείται το πλήκτρο “**File**” και ακολούθως “**Overlay**” για να εμφανιστεί το προηγούμενο διάγραμμα.

Κεφάλαιο 5^ο- Παράδειγμα χρήσης λογισμικού

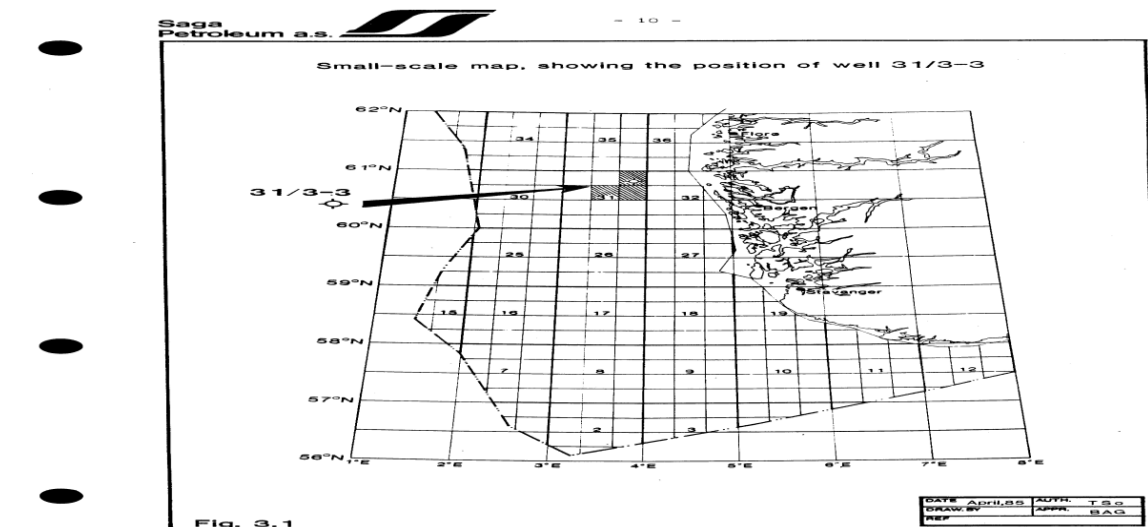
5.1. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η εξοικείωση με το PayZone, αλλά και η σωστή γνώση και χρήση του. Επίσης στο τελευταίο κεφάλαιο θα συγκριθούν τα αποτελέσματα της τελικής έκθεσης της εταιρίας με αυτά από το PayZone.

Ο κύριος σκοπός της γεώτρησης ήταν να εξεταστεί το ανώτερο τμήμα Ιουρασικής περιόδου ψαμμιτών που ανήκουν στον Sognefjord σχηματισμό. Αναλύονται τα δεδομένα που προέρχονται από την τελική έκθεση της υποθαλάσσιας γεώτρησης που υλοποιήθηκε το 1984 από τη Νορβηγική εταιρία Saga Petroleum.

Στην γεώτρηση δεν βρέθηκαν υδρογονάνθρακες και χαρακτηρίστηκε ως drywell. Ακολούθως η γεώτρηση τσιμεντώθηκε και εγκαταλείφθηκε.

Ο πυθμένας βρισκόταν στα 358 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και ο στόχος ήταν τα 2573 m. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.1) παρουσιάζεται ένας γεωγραφικός χάρτης της περιοχής όπου έγινε η γεώτρηση.



Εικόνα 5.1: Γεωγραφικός χάρτης της περιοχής

5.2. Επιλογή δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στον προσομοιωτή επιλέχθηκαν σε μεγάλο βαθμό από την τελική έκθεση της εταιρίας, εκτός από τις τιμές της αντοχής των πετρωμάτων σε μονοαξονική θλίψη (Unconfined Compressive Strength “UCS”) για κάθε σχηματισμό, οι οποίες δεν δίνονται στην έκθεση. Για τις τιμές UCS έγινε μια εκτίμηση λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές που υπάρχουν στην βιβλιογραφία για κάθε σχηματισμό και σε τι βάθος βρίσκονται αντίστοιχα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στον προσομοιωτή είναι τα παρακάτω:

- Λιθολογία (Lithology)
- Κοπτικά άκρα, μέγεθος κοπτικών και ακροφύσια
- Πυκνότητα λάσπης
- Βάρος άσκησης στο κοπτικό
- Περιστροφές του γεωτρύπανου ανά λεπτό
- Παροχή πολφού
- Εκτίμησης αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη

Η λιθολογία δινόταν πολύ αναλυτικά για δύο λόγους:

- Να υπάρχει γνώση για τους σχηματισμούς και τα πετρώματα που θα συναντηθούν, τι χαρακτηριστικά έχει ο σχηματισμός και τι εναλλαγές άλλων πετρωμάτων υπάρχουν μέσα σε έναν σχηματισμό.
- Κάποιοι σχηματισμοί είχαν διαχωρίσει σε ανώτερο (upper) και κατώτερο (lower) μέρος. Αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία, γιατί μεταφράζεται στον προσομοιωτή σαν δύο διαφορετικά στρώματα και κατά συνέπεια διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Στο λογισμικό PayZone, εισήχθησαν 26 στρώματα (layers). Μέχρι τα πρώτα 1747 μέτρα τα πετρώματα ήταν κατά βάση αργιόλιθος με εναλλαγές μικρού πάχους στρωμάτων ασβεστόλιθου. Έπειτα κυριαρχούσε ο ψαμμίτης μέχρι το τελικό βάθος των 2573 m.

Το φρέαρ διανοίχτηκε με την χρήση περιστρεφόμενων κοπτικών άκρων, τρίκωνα, τύπου οδοντωτά χαλύβδινα (Milled Tooth). Το μέγεθος των κοπτικών που χρησιμοποιήθηκαν ποικίλει από 24 έως 12 ¼ ίντσες. Επισημαίνεται ότι σύνολο των κοπτικών άκρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 21. Στην συγκεκριμένη εργασία ο αριθμός των ακροφυσίων σε κάθε κοπτικό ήταν τρία. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 15/32 έως 24/32.

Το βάρος στο κοπτικό που χρησιμοποιήθηκε, οι περιστροφές του γεωτρώπανου ανά λεπτό, ο ρυθμός άντλησης (Pump Rate) σε κάθε σημείο της γεώτρησης, δίνονται αναλυτικά στον παρακάτω Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Δεδομένα της γεώτρησης

No	Κοπτικό Size- ίντσες	Maker	Type	Jets (δίδονται ως 32α)	WOB(lb x1000)	RPM	Pump Rate(lt/min)
1	26	Varel	L3A	24 24 24	18	90	4133
2	26	Smith	DSJ	24 24 24	18	90	4133
3	17 ½	HTC	OSC BAJ	24 24 24	14	150	4133
4	17 ½	Smith	SDGH	22 22 22	14	150	3690
5	17 ½	HTC	Y3A	22 22 22	35	120	3278
6	17 ½	Smith	SDGH	22 22 22	36	120	3278
7	12 ¼	DB	CB 303	22 22 22	22	110	1211
8	17 ½	Smith	SDGH	22 22 22	40	120	3312
9	12 ¼	Smith	SDGH	16 16 16	28	110	2460
10	12 ¼	DB	CD 504	16 16 16	20	110	1249
11	12 ¼	DB	CD 504	16 16 16	18	110	1249
12	12 ¼	DB	CD 504	16 16 16	19	110	1306
13	12 ¼	DB	CD 504	16 16 16	20	110	1306
14	12 ¼	DB	CB 303	16 16 16	32	110	1173
15	12 ¼	DB	CB 303	16 16 16	32	110	1249
16	12 ¼	HTC	J 11	16 16 16	36	80	2460
17	12 ¼	Smith	SDGH	16 16 16	22	150	2460
18	12 ¼	Smith	F2	16 16 16	40	80	2441
19	12 ¼	Smith	SVH	16 16 16	36	100	2366
20	12 ¼	Smith	SVH	15 15 15	46	80	2403
21	12 ¼	Security	S 84	15 15 15	46	85	2441

4.3. Επιλογή των τιμών μονοαξονικής θλίψης (UCS)

Η σωστή επιλογή τιμών UCS για κάθε σχηματισμό παίζει σημαντικό ρόλο στην προσομοίωση της γεώτρησης με το PayZone. Για τον σωστό προσδιορισμό και επιλογή των τιμών UCS για κάθε πέτρωμα στο λογισμικό PayZone, πρέπει να είναι γνωστά τα ηχητικά δεδομένα (sonic travel time) ή οι κωδικοί IADC των κοπτικών άκρων. Λόγω του ότι δεν υπήρχαν σαν δεδομένα τίποτα από τα παραπάνω, ο προσδιορισμός για την επιλογή των τιμών UCS έγινε με την βοήθεια του Πίνακα 5.2, εφόσον δεν υπήρχαν δεδομένα από την γεώτρηση.

Πίνακας 5.2: Εκτίμηση της μονοαξονικής αντοχής ακεραίου πετρώματος στο πεδίο [13]

Χαρακτηρισμός	Μονοαξονική αντοχή(MPa)	Παραδείγματα
R6 Εξαιρετικά σκληρό	1 250	Υγιής βασάλτης, διαβάσης, γνεύσιος, γρανίτης, χαλαζίτης
R5 Πολύ σκληρό	100–250	Αμφιβολίτης, ψαμμίτης, βασάλτης, γάββρος, γνεύσιος, γρανοδιορίτης, ασβεστόλιθος, μάρμαρο, ρυόλιθος, υφαιστειακός τόφος
R4 Σκληρό	50–100	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο, φυλλίτης, ψαμμίτης, σχιστόλιθος
R3 Μέσης σκληρότητας	25–50	Αργιλικός σχηματισμός, ιλυόλιθος, λιγνίτης, σκυρόδεμα, αργιλικός σχιστόλιθος
R2 Μαλακό	5–25	Κιμωλία, ορυκτό άλας.
R1 Πολύ μαλακό	1–5	Πολύ αποσαθρωμένα, διαβρωμένα πετρώματα
R0 Εξαιρετικά μαλακό	0.25–1	Βαθύ αυλάκι με σκαρπέλο

Οι σχηματισμοί που απαντήθηκαν ήταν κατά κανόνα αργιλόλιθος και ψαμμίτης και σε μικρότερο ποσοστό ασβεστόλιθος. Οι διακυμάνσεις των τιμών UCS για τον ψαμμίτη είναι πιο έντονες λόγω του ότι υπάρχει μαλακός, κανονικός και σκληρός ψαμμίτης. Έπειτα σύμφωνα με την

βοήθεια του παραπάνω πίνακα, προσδιορίστηκαν οι τιμές UCS για κάθε πέτρωμα σε σχέση με το βάθος που βρίσκεται όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5. 3: Τιμές UCS που χρησιμοποιήθηκαν

Πέτρωμα	UCS (kpsi)	UCS (βιβλιογραφίας) [13]
Αργιλόλιθος	1,3-20	3,63-7,25
Ασβεστόλιθος	7-7,3	7,25-14,5
Ψαμμίτης	11,2-27	14,5-36,26

4.4. Προετοιμασία και εισαγωγή των δεδομένων στον προσομοιωτή

Σχεδόν όλα τα μεγέθη είχαν διαφορετικές μονάδες και για αυτό κατασκευάστηκε ένας πίνακας για τον ακριβή τρόπο και προσδιορισμό με τον οποίον έπρεπε να γίνει η γεώτρηση, στο οποίο έχει γίνει μετατροπή όλων των μονάδων της έκθεσης στις μονάδες μέτρησης του PayZone για γίνει ύστερα η εισαγωγή των δεδομένων. Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι μετατροπές των δεδομένων της τεχνικής έκθεσης.

Πίνακας 5.4: Πίνακας στρωμάτων και τιμών UCS

Lithology	Layer Depth (ft)	Layer Thickness (ft)	Layer depth (m)	Layer Thickness (m)	UCS (Kpsi)
Water	0	1171.2	0	357.0	0
Claystone	1171.2	597	358.1	182.0	1.9
Claystone	1771.2	938	540.2	285.9	3.3
Claystone	2709.2	288.6	826.3	87.9	2.3
Claystone	2997.8	560	914.3	170.7	2.3
Claystone	3557.8	475.6	1085.1	145	2.1
Limestone	4033.4	393.6	1230.1	120	7
Claystone	4427	91.8	1350.2	27.9	2.9
Limestone	4518.8	646.2	1378.2	197.0	7.3

Claystone	5165	190.2	1575.3	57.9	8.5
Claystone	5355.2	373.9	1633.3	113.9	11
Sand hard	5729.1	19.7	1747.3	6.0	10.2
Sand soft	5748.8	170.5	1753.3	51.9	4.9
Sand hard	5919.3	328	1805.3	100	13.4
Sand soft	6247.3	85.2	1905.4	25.9	12
Sand hard	6332.5	478.8	1931.4	145.7	4.5
Sand hard	6811.3	186.9	2077.4	56.9	4.2
Sand hard	6998.2	95	2134.4	28.9	8.6
Sand hard	7093.2	150.8	2163.4	45.9	4.2
Sand hard	7244	150.8	2209.4	45.9	13.8
Claystone	7394.8	124.6	2255.4	37.9	18
Sand hard	7519.4	42.6	2293.4	12.9	18.1
Sand hard	7562	331.5	2306.4	101.0	18.2
Sand soft	7893.5	49.2	2407.5	15	18.4
Sand hard	7942.7	32.8	2422.5	10	22
Sand hard	7975.5	462.4	2432.5	140.9	27
	8437.9		2573		

Πίνακας 5.5: Βάθη αλλαγών κοπτικών άκρων και πυκνοτήτων

Drill Depth (m)	Drill Depth (ft)	Διάμετρος κοπτικού (in)	Mud Density (ppg)
358	1173.7	24	8.8
446	1462.2	24	8.8
486	1593.4	17 ½	9.3
815	2672.1	17 ½	9.5
1143	3747.5	17 ½	10.0
1145	3754.0	17 ½	10.0
1580	5180.3	12 ¼	10.0
1596	5232.7	17 ½	10.0
1630	5344.2	12 ¼	9.8
1764	5783.6	12 ¼	9.8
1782	5842.6	12 ¼	9.8
1810	5934.4	12 ¼	9.8
1837.5	6024.6	12 ¼	9.8
1861	6101.6	12 ¼	9.8
1888.5	6191.8	12 ¼	10.0
1916.5	6283.6	12 ¼	10.0
2070	6786.8	12 ¼	9.7
2141	7019.6	12 ¼	9.7

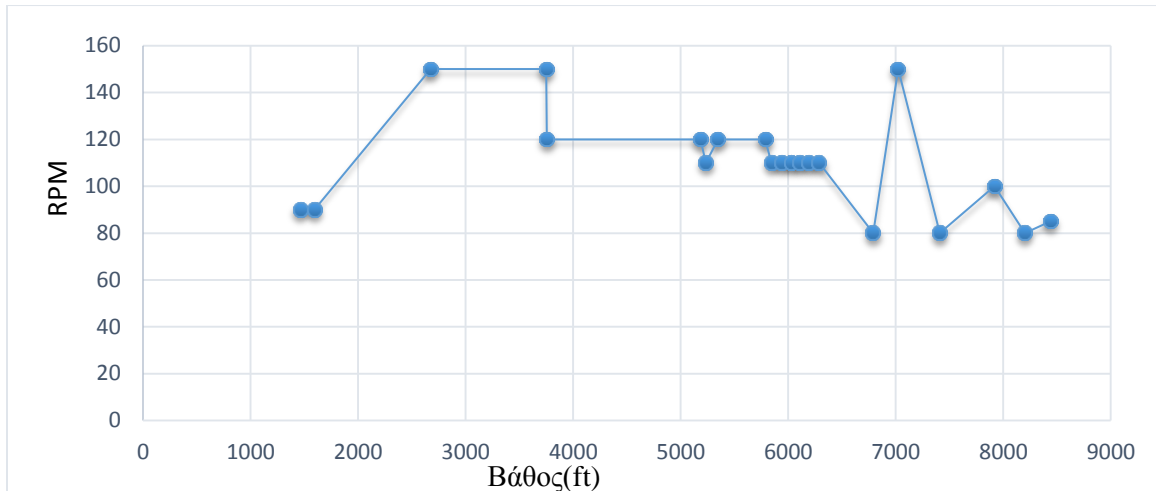
2259	7406.5	12 ¼	9.7
2414	7914.7	12 ¼	9.7
2500	8196.7	12 ¼	9.7
2573	8436.0	12 ¼	9.7

Σε αυτό το σημείο να γίνει αναφορά ότι η μονάδα μέτρησης της πυκνότητας lb/gal (ppg). Ο ρυθμός διάνοιξης (ROP) είναι η ταχύτητα με την οποία το κοπτικό σπάει τον βράχο, εκφράζει την προχώρηση της γεώτρησης και μετριέται σε πόδια (ft) ή m ανά ώρα (h). Η μεταβολή του ρυθμού διάνοιξης επηρεάζεται κατά κανόνα από την επίδραση του βάρους στο κοπτικό (WOB) και την ταχύτητα περιστροφής (N). Στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 5.6) παρουσιάζεται η μεταβολή του ROP σε σχέση με το βάθος, το βάρος στο κοπτικό και την περιστροφική ταχύτητα.

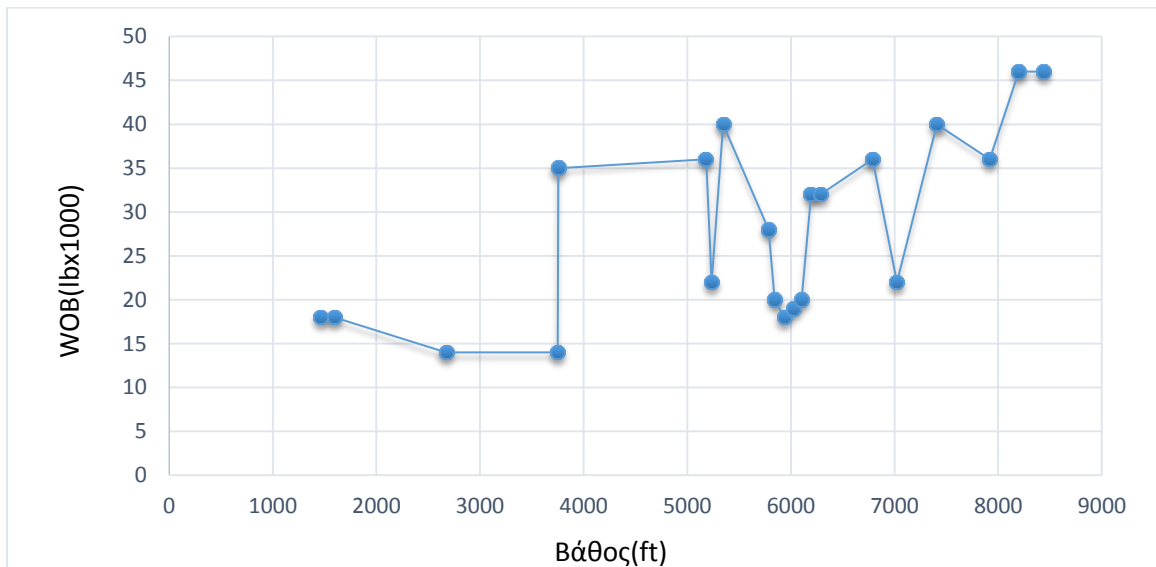
Πίνακας 5.6: Μεταβολή του ROP σύμφωνα με την έκθεση [3]

Depth(m)	Drill depth (m)	Depth (ft)	Drill Depth (ft)	RPM	WOB(lbx1000)	ROP(ft/h)
358	358	1173.7	1174.24	-----	-----	-----
446	88	1462.2	288.64	90	18	17.05
486	40	1593.4	131.2	90	18	28.2
815	329	2672.1	1079.12	150	14	83.45
1143	328	3747.5	1075.84	150	14	49.5
1145	302	3754.0	990.56	120	36	38.68
1580	135	5180.3	442.8	120	36	13.54
1596	16	5232.7	52.48	110	22	4.7
1630	34	5344.2	111.52	120	40	19.9
1764	134	5783.6	439.52	120	28	37.4
1782	18	5842.6	59.04	110	20	10.1
1810	28	5934.4	91.84	110	18	10.5
1837.5	27.5	6024.6	90.2	110	20	8.7
1861	23.5	6101.6	77.08	110	20	8.6
1888.5	27.5	6191.8	90.2	110	32	12.78
1916.5	28	6283.6	91.84	110	32	12.85
2070	153.5	6786.8	503.48	80	36	43.0
2141	71	7019.6	232.88	150	22	22.25
2259	118	7406.5	387.04	80	40	8.6
2414	155	7914.7	508.4	110	36	11.0
2500	86	8196.7	282.08	80	46	10.5
2573	73	8436.0	239.44	85	46	8.6

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα (Πίνακας 5.6) εφαρμόστηκαν οι τιμές WOB και RPM, που οι διακυμάνσεις τους σε σχέση με το βάθος παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 5.1 και 5.2)



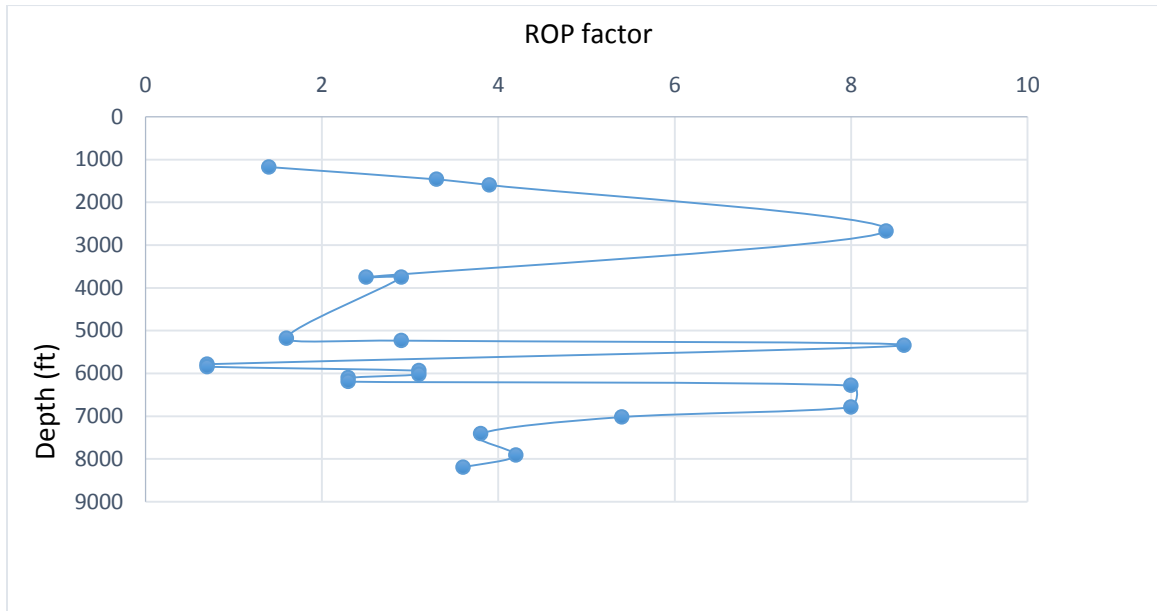
Διάγραμμα 5.1: Μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής με σχέση το βάθος



Διάγραμμα 5.2: Μεταβολή του βάρους στο κοπτικό σε σχέση με το βάθος

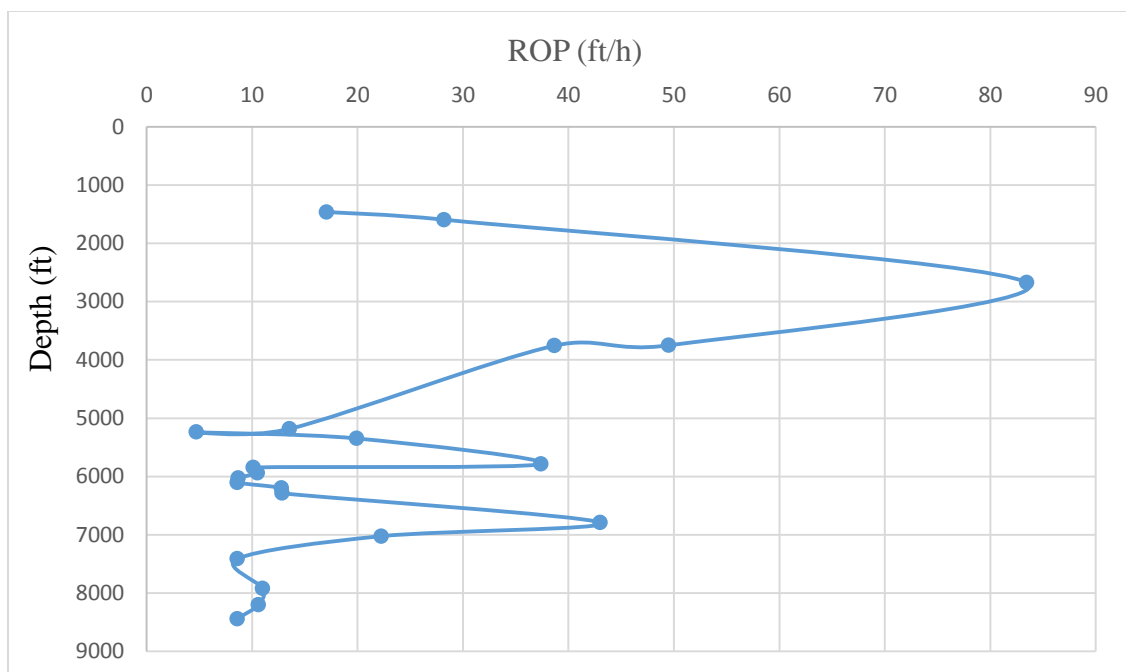
Η παράμετρος αυτή, το ROP adjust factor, είναι που αλλάζει (προσαρμόσιμη παράμετρος) για να πετύχουμε την ίδια ταχύτητα διείδυσης (ROP) και χρόνο εκτέλεσης της γεώτρησης όταν έχουμε προηγούμενα δεδομένα γεώτρησης. Ο στόχος είναι να πετύχουμε προσομοίωση της προηγούμενης γεώτρησης και όταν το πετύχουμε, έχοντας βρει τις κατάλληλες τιμές του ROP

adjust, τότε μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε την νέα γεώτρηση που μπορεί να γίνει στην ίδια περιοχή με τα ίδια δεδομένα πετρωμάτων και γεωτρυπάνου. Σύμφωνα με τα στοιχεία των Διαγραμμάτων 5.1, 5.2 δίδονται οι τιμές του ROP adjust (Διάγραμμα 5.3).



Διάγραμμα 5.3: Μεταβολή του ROP adjust σε σχέση με το βάθος

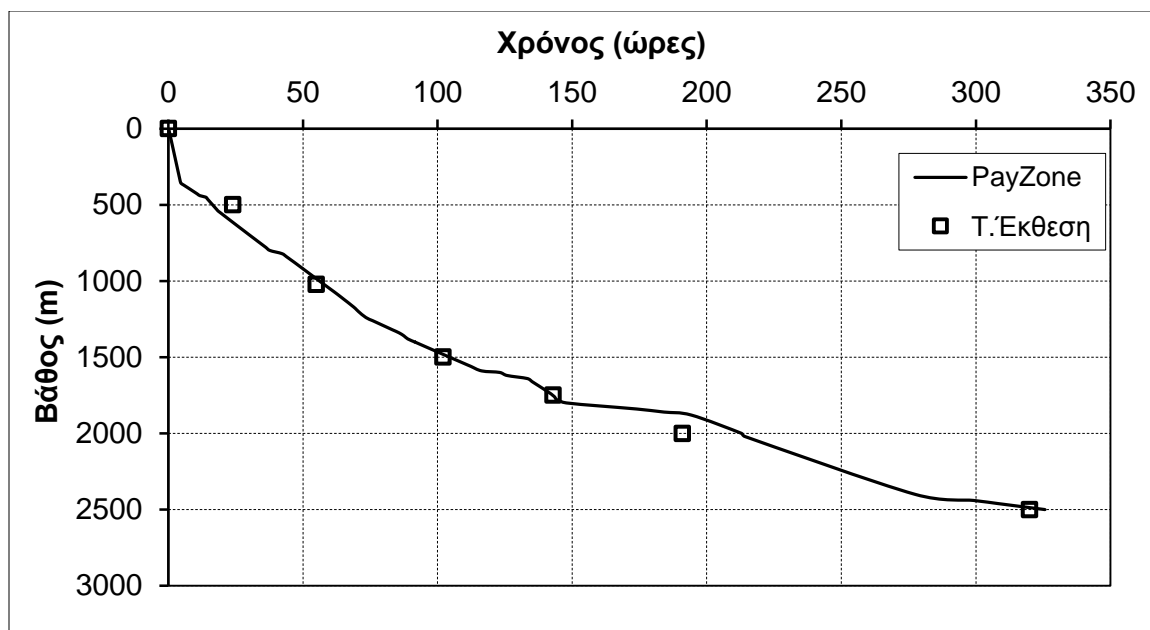
Εκτελώντας το πρόγραμμα και χρησιμοποιώντας ως εργαλείο το ROP adjust, επιτεύχθηκε ένας ρυθμό διάνοιξης που φαίνεται στο Διάγραμμα 5.4 ενώ ο χρόνος εκτέλεσης της γεώτρησης παρουσιάζεται στο διάγραμμα όπου συγκρίνεται με τον πραγματικό (Διάγραμμα 5.5).



Διάγραμμα 5.4: Μεταβολή του ROP σε σχέση με το βάθος

4.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων

Από το Διάγραμμα 5.5 παρατηρείται ότι έχει γίνει αρκετά καλή προσέγγιση του χρόνου διάνοιξης της γεώτρησης όπου η απόκλιση διατηρείται μικρή σε όλα τα τμήματα της γεώτρησης. Η επίτευξη του αποτελέσματος απαιτήσε πολλές επαναλήψεις. Αρχικά εισάχθηκαν κάποιες λογικές τιμές UCS σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2 έτσι ώστε να υπάρχει μια πρώτη εικόνα για το μέγεθος της απόκλισης από το πρότυπο διάγραμμα (Διάγραμμα 5.6). Ακολούθως έχοντας μια πρώτη εικόνα της όλης γεώτρησης, χωρίστηκε το πρότυπο διάγραμμα σε τμήματα έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η υλοποίηση του. Σαν τελικό στάδιο αποφασίστηκαν οι τελικές τιμές UCS και στην συνέχεια έγιναν οι αλλαγές του ROP adjust για να προσεγγιστούν τα αποτελέσματα του ROP του PayZone με αυτά της εταιρίας (Πίνακας 5.6).

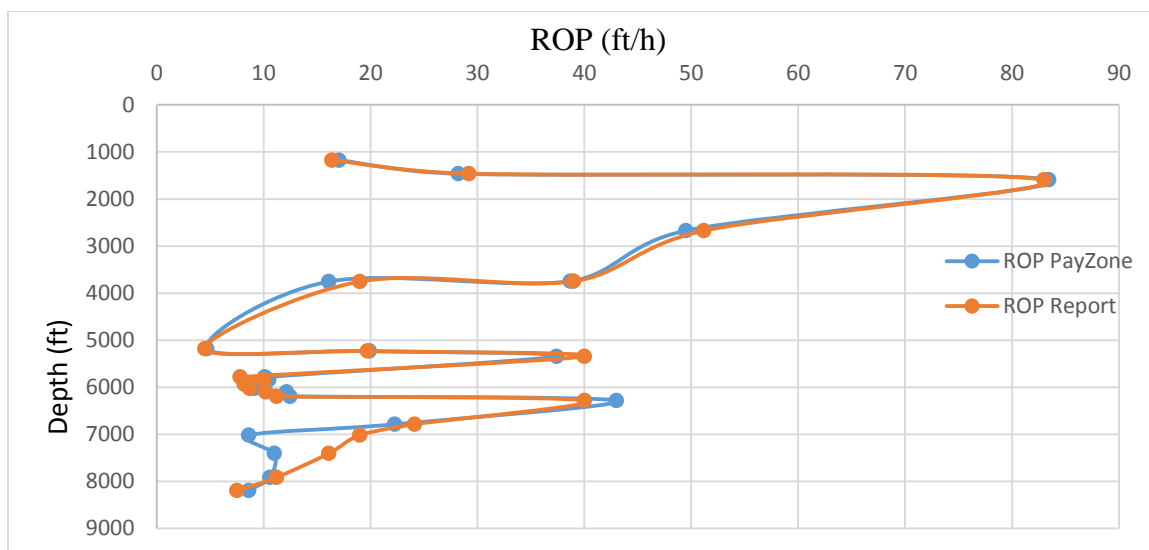


Διάγραμμα 5. 5: Καμπύλη χρόνου διάτρησης του γεωτρύπανου σε σχέση με το βάθος

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίνονται με τα πραγματικά δεδομένα παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα ο Πίνακας 5.7 παρουσιάζει τους χρόνους του PayZone με τους πραγματικούς χρόνους σύμφωνα με το παραπάνω Διάγραμμα 5.5. Συγκρίνοντας τους χρόνους, παρατηρείται ότι μέχρι τα 1750 μέτρα η προσέγγιση ήταν αρκετά καλή με απόκλιση λίγες ώρες. Έπειτα στα επόμενα μέτρα η διαφορά άρχισε να αυξάνεται λόγω του ότι ή οι τιμές UCS ήταν λίγο μεγαλύτερες ή το ROP adjust για τα συγκεκριμένα μέτρα θα έπρεπε να έχει λίγο μεγαλύτερη τιμή. Με σιγουριά δεν μπορεί να απαντηθεί αυτό το ερώτημα διότι δεν υπήρχαν ηχητικά δεδομένα (sonic data) από την εταιρία για να γίνει καλύτερη προσέγγιση του UCS.

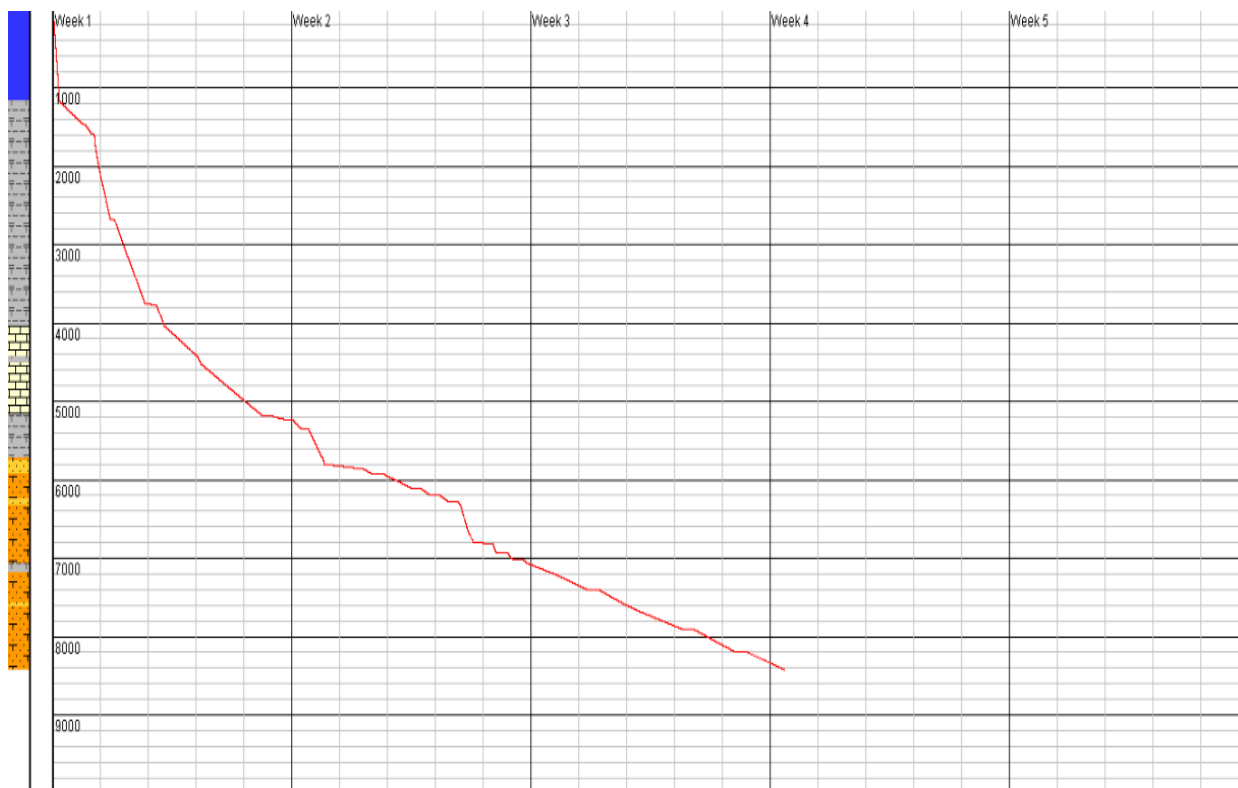
Πίνακας 5.7: Σύγκριση χρόνων διάτρησης προσομοίωσης με πραγματικά δεδομένα

Βάθος (μέτρα)	Χρόνος γεώτρησης (h)	Χρόνος(PayZone) (h)
500	24	17
1000	55	58
1500	102	104
1750	143	143
2000	191	213
2500	283	325



Διάγραμμα 5.6: Σύγκριση ROP PayZone – Report

Η χρονοκαμπύλη διάτρησης παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.7 όπου το PayZone δίνει την δυνατότητα να γίνει απεικόνιση και της στρωματογραφίας της γεώτρησης.



Διάγραμμα 5.7: Σύγκριση βάθους με χρόνο

Στον παρακάτω Πίνακα 5.8 παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα του PayZone ως προς τον ρυθμό διάνοιξης για καλύτερη σύγκριση με τα αποτελέσματα της γεώτρησης.

Πίνακας 5.8: Σύγκριση ρυθμού διάνοιξης

Drill Depth(ft)	ROP(ft/h) δεδομένα	ROP(ft/h) PayZone
1173.7	-----	-----
1462.2	16.4	17.05
1593.4	29.2	28.2
2672.1	83.0	83.45
3747.5	51.2	49.5
3754.0	39.0	38.68
5180.3	19.0	16.1
5232.7	4.50	4.7
5344.2	19.7	19.9
5783.6	40.0	37.4
5842.6	7.80	10.1
5934.4	10.0	10.5
6024.6	8.20	9.2
6101.6	8.70	9.14
6191.8	10.2	12.15
6283.6	11.2	12.46
6786.8	40.0	43
7019.6	24.1	22.25
7406.5	19.0	8.6
7914.7	16.1	11
8196.7	11.2	10.59
8436.0	7.5	8.6

5.6. Σχόλια και παρατηρήσεις

- Στην τελική έκθεση της εταιρίας η γεώτρηση ξεκινούσε με 36 ίντσες κοπτικό και συνέχισε με 30 ίντσες. Το μεγαλύτερο σε μέγεθος κοπτικού που υπάρχει σαν επιλογή στο PayZone είναι 26 ίντσες και αυτό είχε σαν συνέπεια η γεώτρηση να ξεκινήσει με κοπτικό άκρο 26 ίντσες κοπτικό.
- Το payZone δεν έχει την επιλογή conductor που χρειάζεται για το πρώτο τμήμα της γεώτρησης.

Κεφάλαιο 6^ο – Γεώτρηση της Nalcor Energy – Oil and Gas Inc στο Western Newfoundland (Well 1)

6.1. Πρώτα ανθρακικά δεδομένα (Section 1)

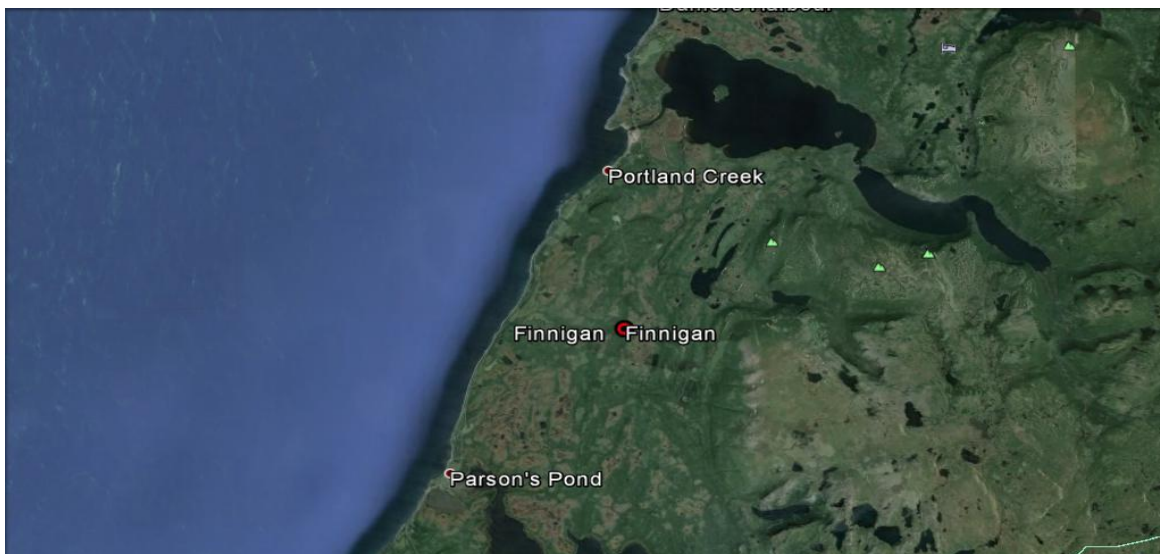
Έχοντας έχει γίνει μια καλή εξοικείωση με το λογισμικό, επόμενο βήμα ήταν η εύρεση δεδομένων για ανθρακικά πετρώματα, για να γίνει η εισαγωγή στο PayZone, για να πραγματοποιηθεί προσομοίωση της γεώτρησης

Δεδομένα πάρθηκαν από μία γεώτρηση πετρελαίου [2] που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Western Newfoundland στον Καναδά και πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέχρι τα πρώτα 1000 m. Η εταιρία που πραγματοποίησε την γεώτρηση ονομάζεται Nalcor Energy – Oil and Gas Inc. Η γεώτρηση ήταν μια ερευνητική γεώτρηση και είχε σαν στόχο να παρθούν πληροφορίες της περιοχής, για μελλοντικές γεωτρήσεις στην δυτική ακτή (Εικόνα 6.1). Η γεώτρηση έγινε τον Σεπτέμβριο του 2010. Οι συντεταγμένες της γεώτρησης ήταν 50° 5' 40.8093'' N και 57° 36' 27.955'' W.

Το πρώτο κομμάτι διανοίχθηκε με κοπτικά άκρα διαμέτρου 17 ½ in μέχρι τα 572 m όπου έπειτα πραγματοποιήθηκε σωλήνωση (casing) διαμέτρου 13,3 in και τεστ πίεσης. Μόλις ολοκληρώθηκε και η τσιμέντωση, έγινε η εγκατάσταση του blow out preventer (BOP) μικρότερης διαμέτρου για την συνέχιση της γεώτρησης.

Στο ενδιάμεσο τμήμα, διαμέτρου 12 ¼ in, πραγματοποιήθηκε τεστ ακεραιότητας του σχηματισμού (integrity test) με επιφανειακή πίεση 11,500 kPa με που είχε σαν αποτέλεσμα μία πτώση πίεσης (pressure gradient) 29,99 kPa/m και δεν υπήρχε διαρροή (leak-off).

Το 8 ½ in τμήμα ξεκίνησε στις 13 Νοεμβρίου του 2010 μέχρι το επιθυμητό βάθος που ήταν τα 3130 m. Τεστ ακεραιότητας πραγματοποιήθηκε με επιφανειακή πίεση 21,000 kPa με πυκνότητα λάσπης 1245 kg/m³ με αποτέλεσμα να προκύψει pressure gradient 21,4 kPa/m.



Εικόνα 6.1: Γεωγραφικός χάρτης περιοχής

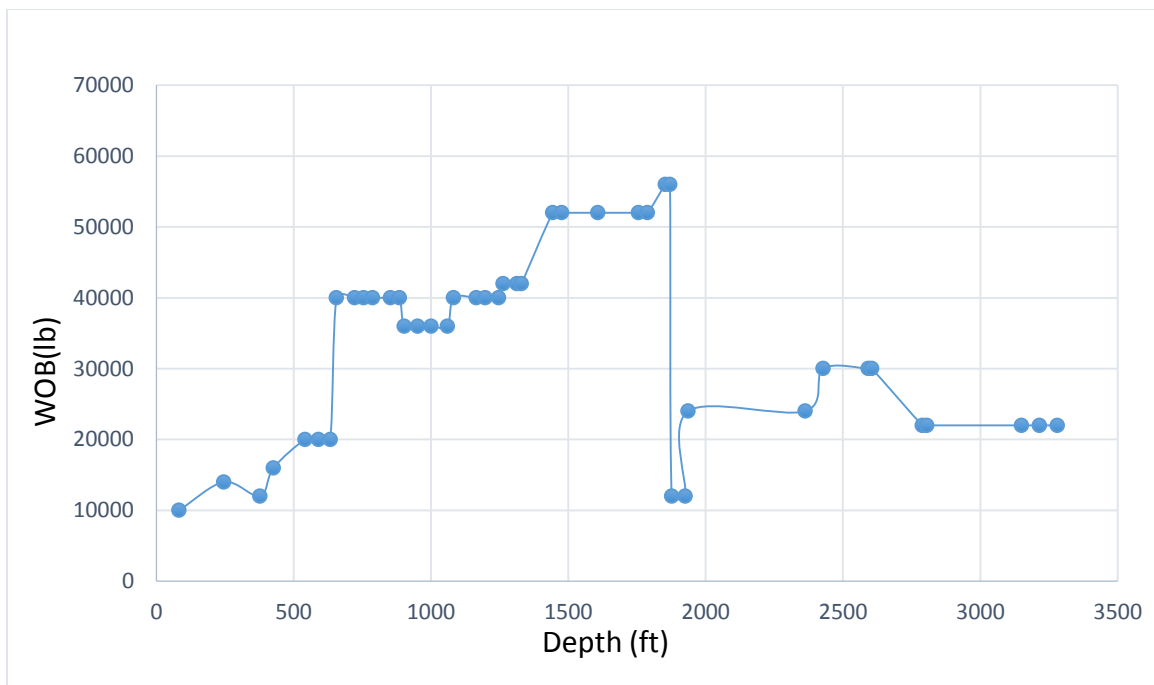
Δεδομένα από την γεώτρηση

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης , τα παρακάτω δεδομένα πάρθηκαν από πίνακα που υπήρχε στην τελική έκθεση της εταιρίας:

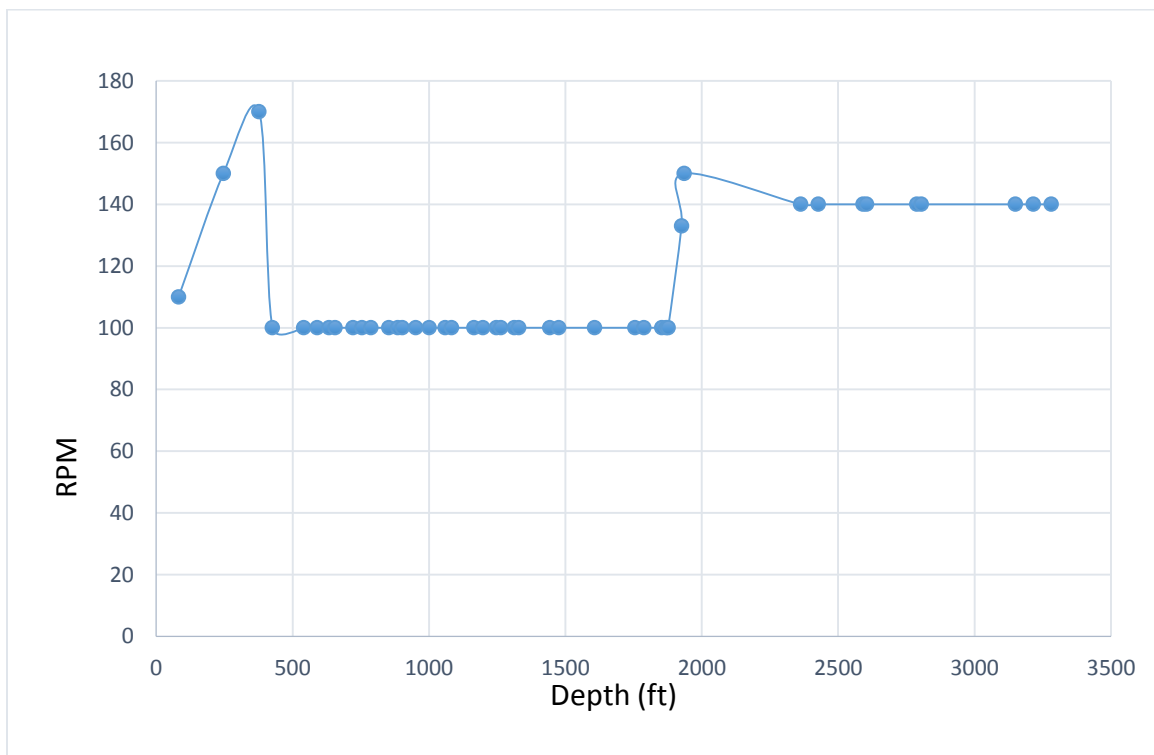
- Με την λιθολογία (Lithology)
- Το πάχος του κάθε στρώματος (Layer thickness)
- Την πυκνότητα της λάσπης (Mud density)
- Την παροχή λάσπης (Q-flow)
- Βάρος στο κοπτικό άκρο (WOB)
- Ταχύτητα περιστροφής (RPM)

Πίνακας 6.1: Δεδομένα από την τελική έκθεσης της εταιρίας

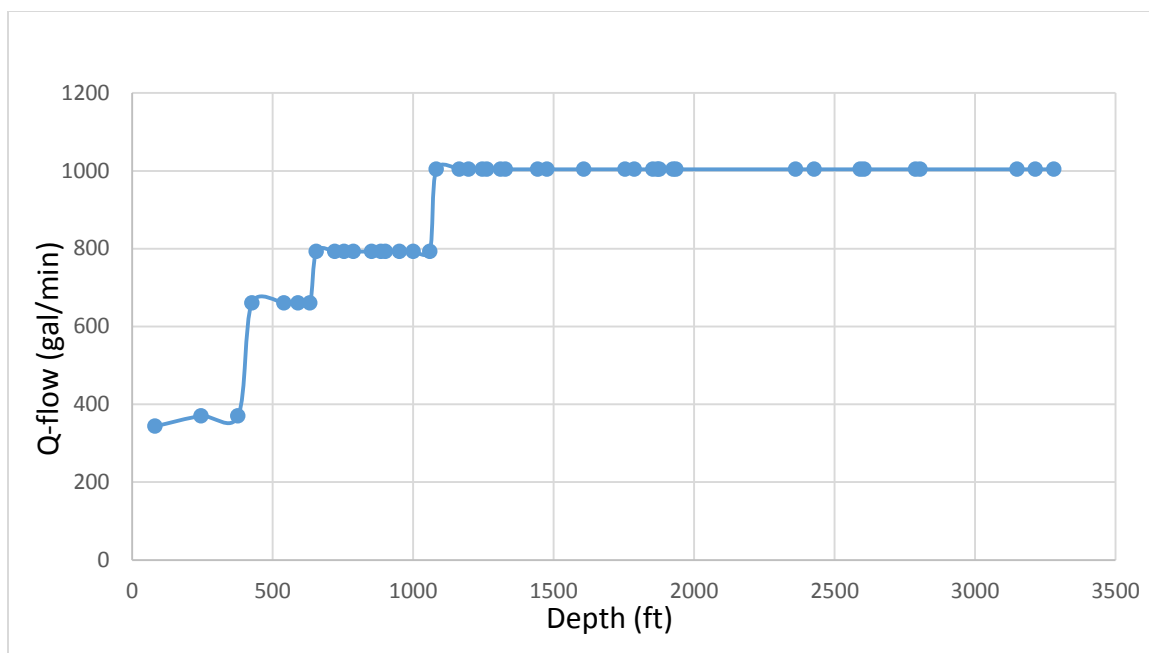
Lithology	Layer Depth (m)	Layer Thickness (m)	Mud (ppg)	Qflow (gal/min)	WoB (lbx1000)	RPM
Limestone	25	50	8.8	343.4	10	110
Shale	75	40	9	369.8	14	150
Limestone	115	15	9	369.8	12	170
Shale	130	35	9.1	660.4	16	100
Limestone	165	15	9.1	660.4	20	100
Shale	180	13	9.2	660.4	20	100
Limestone	193	7	9.2	660.4	20	100
Shale	200	20	9.2	792	40	100
Limestone	220	10	9.2	792	40	100
Limestone	230	10	9.2	792	40	100
Limestone	240	20	9.2	792	40	100
Limestone	260	10	9.2	792	40	100
Limestone	270	5	9.2	792	40	100
Shale	275	15	9.2	792	36	100
Limestone	290	15	9.2	792	36	100
Shale	305	18	9.2	792	36	100
Limestone	323	7	9.2	792	36	100
Limestone	330	25	9.2	1003.8	40	100
Shale	355	10	9.2	1003.8	40	100
Shale	365	15	9.2	1003.8	40	100
Limestone	380	5	9.2	1003.8	40	100
Shale	385	15	9.2	1003.8	42	100
Limestone	400	5	9.2	1003.8	42	100
Shale	405	35	9.2	1003.8	42	100
Limestone	440	10	9.2	1003.8	52	100
Shale	450	40	9.2	1003.8	52	100
Shale	490	45	9.2	1003.8	52	100
Limestone	535	10	9.2	1003.8	52	100
Limestone	545	20	9.2	1003.8	52	100
Limestone	565	5	9.2	1003.8	56	100
Limestone	570	2	9.2	1003.8	56	100
Shale	572	15	9.2	1003.8	12	100
Limestone	587	3	9	1003.8	12	133
Limestone	590	130	9	1003.8	24	150
Shale	720	20	9	1003.8	24	140
Shale	740	50	9	1003.8	30	140
Limestone	790	4	9	1003.8	30	140
Shale	794	56	9	1003.8	30	140
Limestone	850	5	9.1	1003.8	22	140
Shale	855	105	9.1	1003.8	22	140
Shale	960	20	9.1	1003.8	22	140
Limestone	980	20	9.1	1003.8	22	140



Διάγραμμα 6.1: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 6.2: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 6.3: Μεταβολή Q -flow σε σχέση με το βάθος

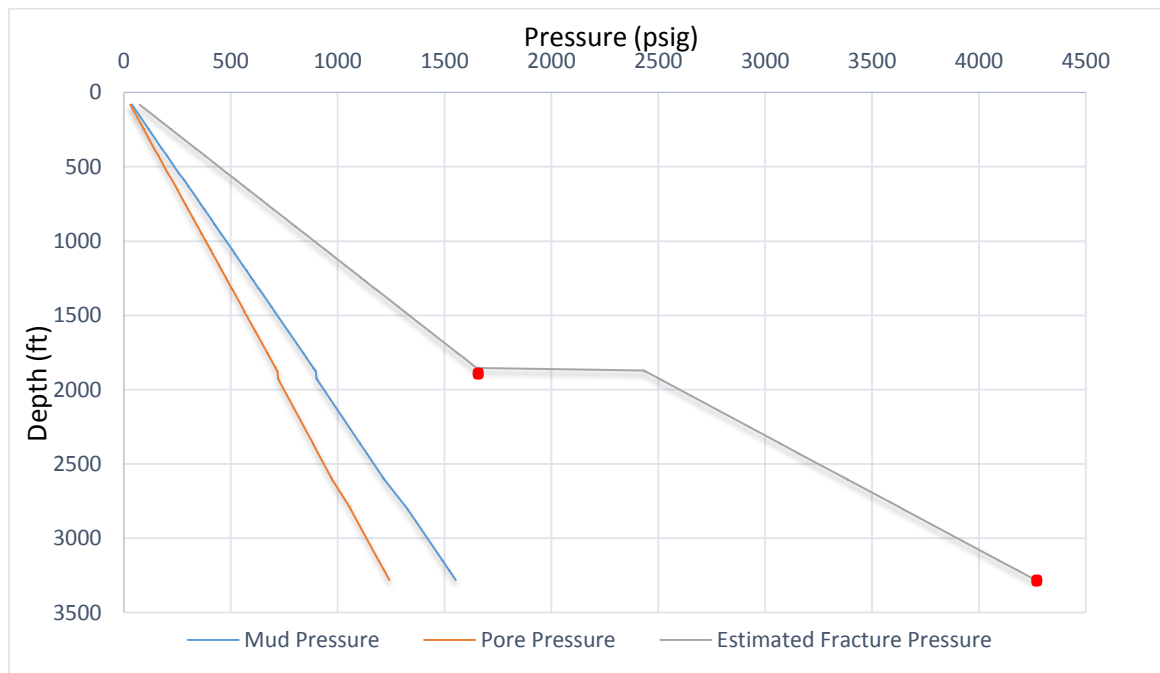
Οι τιμές των παραμέτρων παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 6.1, 6.2, 6.3. Στην συνέχεια η διάμετρος των κοπτικών άκρων, ο κατασκευαστής, ο τύπος, το μέγεθος των δοντιών και τα μεγέθη των ακροφυσίων που χρησιμοποιήθηκαν σε σχέση με το βάθος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.2)

Πίνακας 6.2: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν

Depth (m)	Drill Size (in)	Bit Type	Bit Model	Bit Maker	Teeth Length	Number and size of nozzels(32a)	IADC code
20	17 ½	Milled Tooth	XRTC	Smith	Long	3x24 1x21	1 1 5
130	17 ½	TCI	T44	Reed	Long	3x17 1x13	4 4 5
572 (Casing)	12 ¼	PDC	MSI616	Smith	Long	3x11 1x10	-----

Για την εκτίμηση των πιέσεων του υπεδάφους, των ρευστών των πόρων (formation pore pressure) και των πιέσεων ρωγμάτωσης των πετρωμάτων (fracture pressure) πάρθηκε σαν σημείο αναφοράς η πίεση που ασκεί η λάσπη καθ' όλη την γεώτρηση. Η εκτίμηση της πίεσης των ρευστών των πόρων έγινε με αφαίρεση κατά ένα ποσοστό 20% σε κάθε σημείο μέχρι τα πρώτα 1000 m από την πίεση που ασκεί η λάσπη. Για τα υπόλοιπα 1000 m αφαιρέθηκε ποσοστό 10% από την πίεση που ασκεί η λάσπη με την παραδοχή ότι στα βαθύτερα στρώματα έχουμε μικρότερη υπερπίεση (overbalanced mud situation). Έτσι σαν πτώση πιέσεων των πόρων χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0,366 έως 0,382 psi/ft για τα πρώτα 1000 m και ακολούθως 0,470 - 0,483 για τα υπόλοιπα 1000 m. Για την εκτίμηση της βαθμίδας ρηγμάτωσης ο κύριος παράγοντας ήταν τα τεστ ακεραιότητας που έγιναν κατά την διάρκεια της γεώτρησης. Στα 577 μέτρα η βαθμίδα ρηγμάτωσης βρέθηκε ως 29,99 kPa/m που ισούται με 1,32 psi/ft. Στα 2290 m έγινε πάλι τεστ ακεραιότητας που έδωσε βαθμίδα ρηγμάτωσης 0,946 psi/ft.

Στο παρακάτω Διάγραμμα 6.4 παρουσιάζεται το προφίλ της πίεσης της λάσπης, των πόρων και της αντοχής των πετρωμάτων.



Διάγραμμα 6.4: Προφίλ πιέσεων

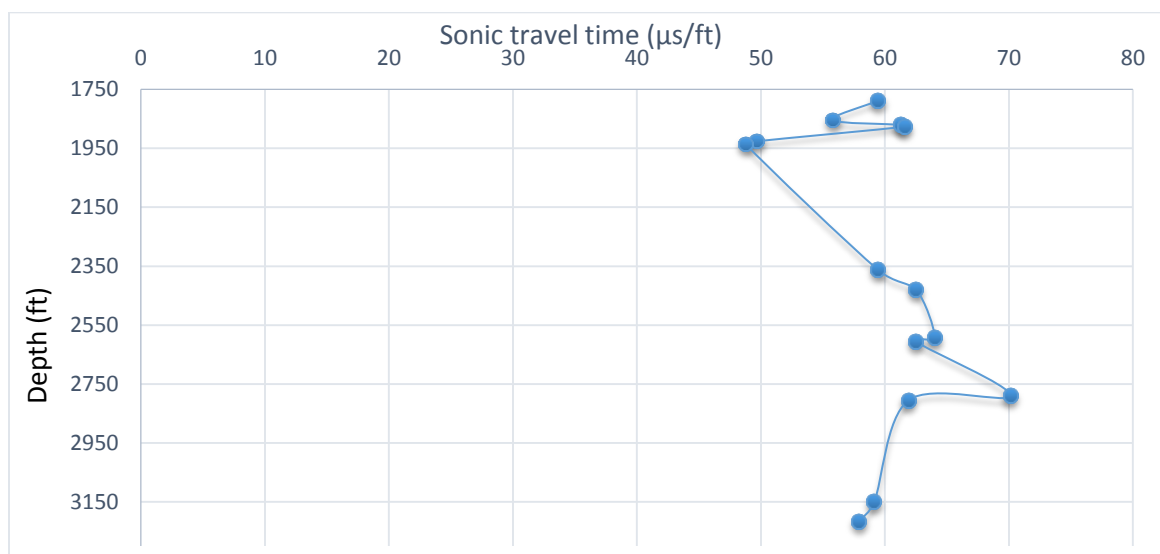
Επιλογή του UCS

Οι τιμές της αντοχής μονοαξονικής θλίψης για κάθε σχηματισμό, ήταν συνάρτηση των ηχητικών χρόνων διάδοσης (Sonic travel time) και του κωδικού IADC για κάθε κοπτικό που χρησιμοποιήθηκε. Λόγω του ότι οι εξισώσεις που αποδίδουν το UCS σε σχέση με τους ηχητικούς χρόνους διάδοσης είναι εμπειρικές, πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κοπτικό άκρο διότι παρέχει πληροφορίες σχετικά με την αντοχή που έχει ο σχηματισμός που θα διατρηθεί. Έπειτα γίνεται συσχέτιση των δύο παραγόντων για την καταλληλότερη τιμή UCS για το πέτρωμα. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την αποτίμηση του UCS σε σχέση με το sonic travel time είναι [10]:

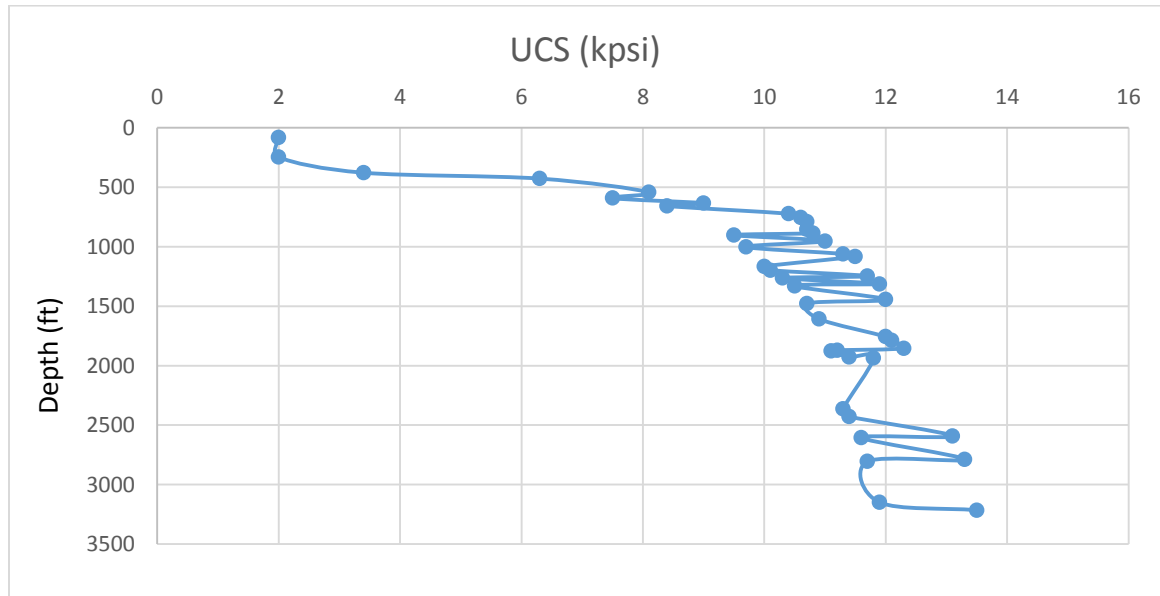
$$\text{UCS}=570,808*e^{-0.031*\Delta t} \quad (3)$$

Σε αυτή την εξίσωση, το UCS είναι σε MPa και το Δt είναι το sonic travel time σε $\mu\text{s}/\text{ft}$.

Για τα πρώτα 540 μέτρα δεν υπήρχαν ηχητικά δεδομένα και η επιλογή του UCS έγινε εξ ολοκλήρου από το κοπτικό που χρησιμοποιήθηκε και από την λιθολογία της περιοχής μέσω βιβλιογραφίας. Ο κωδικός IADC μας δίνει πληροφορίες σχετικά με τις διακυμάνσεις των τιμών UCS των πετρωμάτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κοπτικό άκρο. Στο Διάγραμμα 6.5 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των ηχητικών χρόνων διάδοσης ($\mu\text{s}/\text{ft}$) και στο Διάγραμμα 6.6 η μεταβολή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε σχέση με το βάθος.



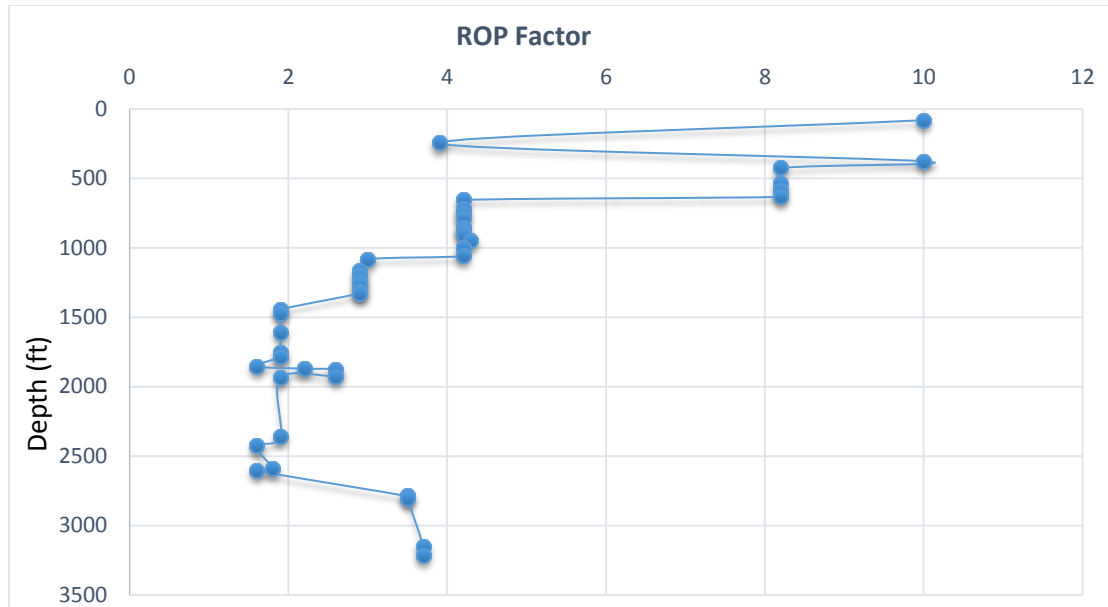
Διάγραμμα 6.5: Διακυμάνσεις των ηχητικών χρόνων διάδοσης



Διάγραμμα 6.6: Μεταβολή UCS σε σχέση με το βάθος με βάση την εξίσωση

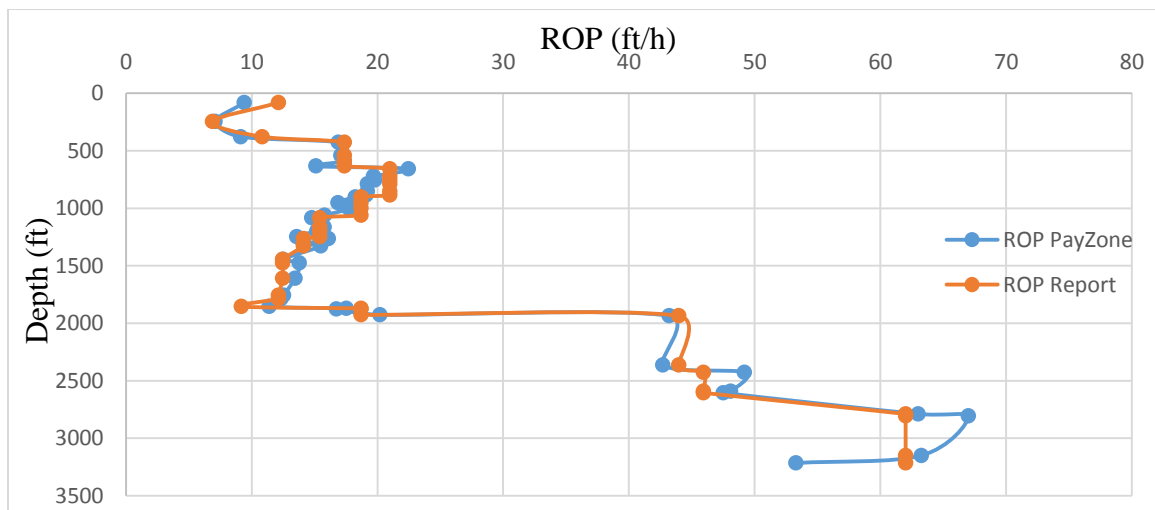
Αποτελέσματα

Έχοντας ολοκληρώσει την διαδικασία επιλογής και εισαγωγής των δεδομένων, επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση της γεώτρησης στο λογισμικό. Όπως έχει προαναφερθεί η διαδικασία που εκτελείται για την εισαγωγή των δεδομένων για κάθε γεώτρηση είναι η ίδια. Αρχικά έπρεπε να γίνει η απαραίτητη επιλογή του ROP adjust factor για κάθε κοπτικό ούτως ώστε να ταιριάζει και να γίνει πιο αποτελεσματική η προσομοίωση, σύμφωνα με τα Διαγράμματα 6.1, 6.2, 6.3. Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.7) παρουσιάζεται η μεταβολή των τιμών του ROP factor σε σχέση με το βάθος που έδωσαν την καλύτερη προσομοίωση της πραγματικής γεώτρησης.



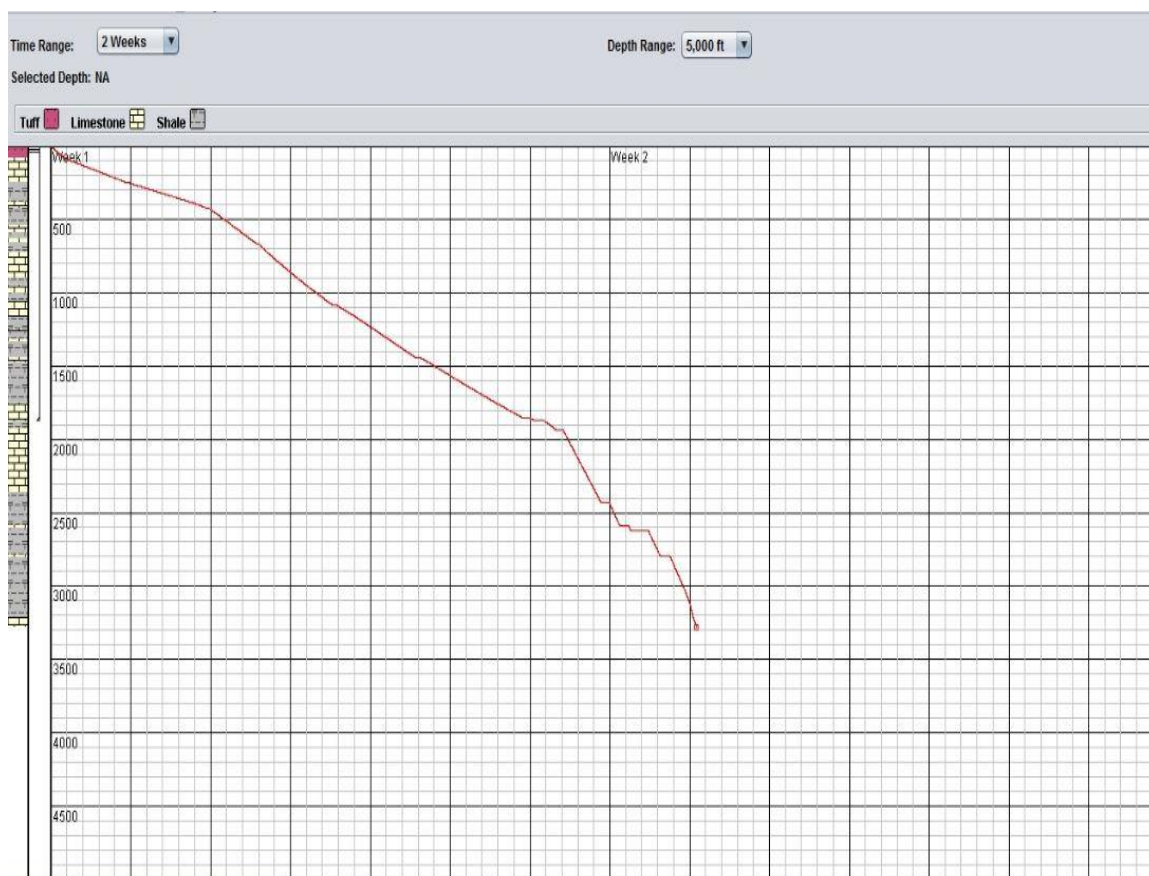
Διάγραμμα 6.7: Μεταβολή ROP factor με το βάθος

Με την βοήθεια του παραπάνω διαγράμματος παρουσιάζεται η προσομοίωση αυτού του κομματιού της γεώτρησης όπου παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6.8. Τα αποτελέσματα του PayZone ήταν πολύ κοντά στα πραγματικά αποτελέσματα εκτός από το τμήμα μετά τα 2500 ft όπου υπάρχει μία απότομη αύξηση του ROP και έπειτα μια απότομη μείωση. Η απότομη αύξηση μπορεί είτε να οφείλεται στην τιμή του ROP factor είτε σε μικρότερη τιμή UCS που χρησιμοποιήθηκε.



Διάγραμμα 6.8: Σύγκριση ROP payzone σε σχέση με το report

Στο Διάγραμμα 6.9 παρουσιάζεται η λιθολογία και ο χρόνος που χρειάστηκε για να υλοποιηθεί αυτό το κομμάτι των 1000 m μέσω του PayZone. Τα σημεία στα οποία οριζοντιώνεται η γραμμή, είναι τα σημεία όπου γίνονται διεργασίες όπως η τοποθέτηση επένδυσης στα 1893 ft, αλλαγή των κοπτικών άκρων, πρόσθεση ή αφαίρεση διατρητικών στελεχών που έχουν σαν αποτέλεσμα να μείνει σταθερό το βάθος και να αυξάνεται ο χρόνος της γεώτρησης.



Διάγραμμα 6.9: Χρόνος γεώτρησης σε σχέση με το βάθος

6.2. Δεύτερη σειρά δεδομένων για ανθρακικά πετρώματα (Section 3)

Για το δεύτερο κομμάτι 1000 m πάρθηκαν δεδομένα από την ίδια γεώτρηση [2]. Το κομμάτι από τα 2250 έως 3130 m αποτελούνταν μόνο από ασβεστόλιθο και δολομίτη. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα κοπτικά άκρα για την διάνοιξη αυτών των 880 m.

Λόγω του ότι έγινε η προσομοίωση από τα 2250 m και μετά, έγινε εισαγωγή νερού ως λιθολογία μέχρι τα 2250 m για να γίνονται οι προσομοιώσεις ταχύτερα.

Δεδομένα από την γεώτρηση

Στην συνέχεια σαν πρώτο βήμα, πάρθηκαν τα δεδομένα που είχαν σχέση:

- Με την λιθολογία (Lithology)
- Το πάχος του κάθε στρώματος (Layer thickness)
- Την πυκνότητα της λάσπης (Mud density)
- Την παροχή λάσπης (Q-flow)
- Βάρος στο κοπτικό άκρο (WOB)
- Ταχύτητα περιστροφής (RPM)

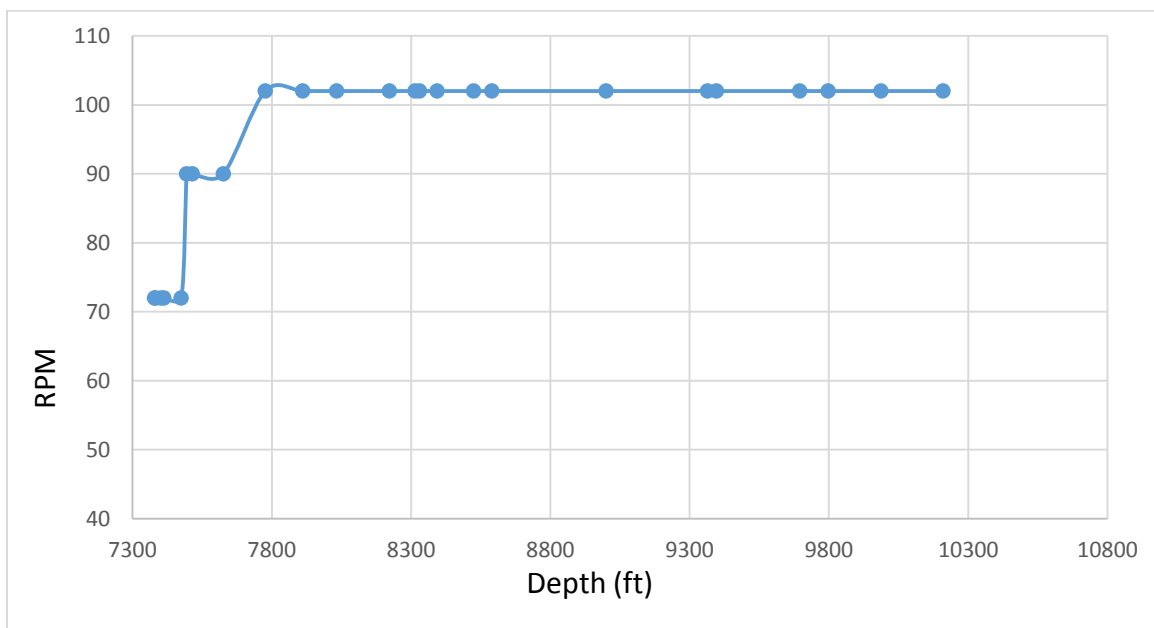
Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.3) παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της γεώτρησης και στον Πίνακα 6.4 τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 6.3: Δεδομένα γεώτρησης

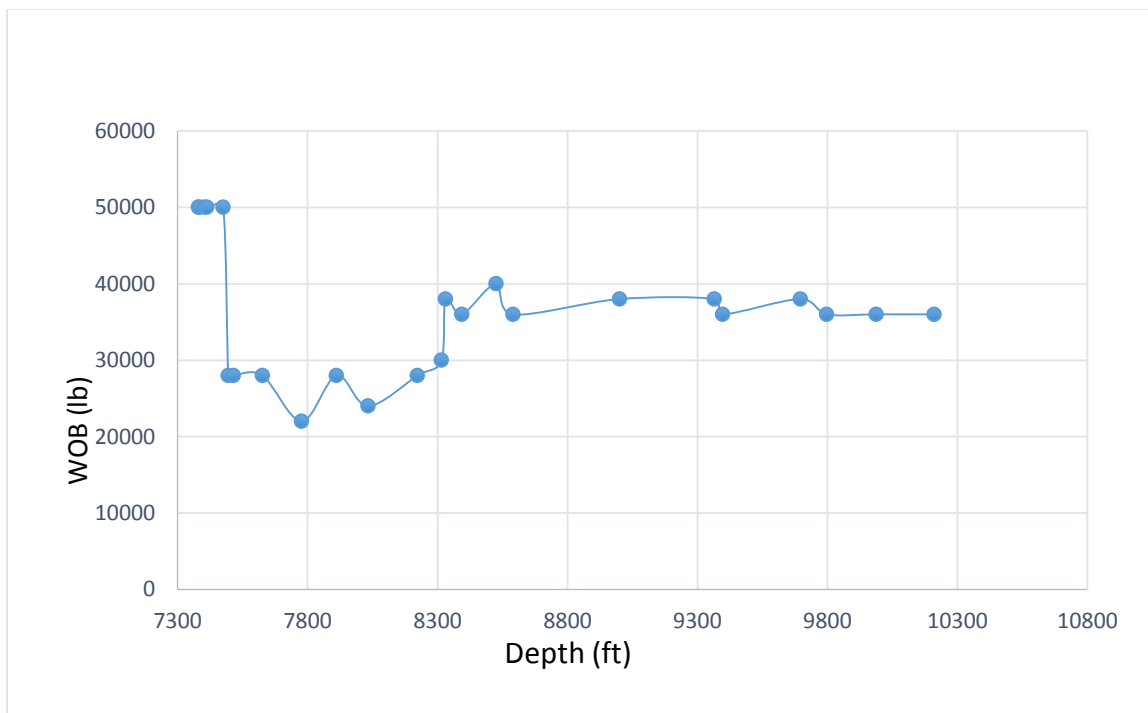
Lithology	Layer Depth (m)	Layer Thickness (m)	Mud (ppg)	Q-flow (gal/min)	WOB (lb)	RPM
Shale	2250	1	10.3	422.672	50000	72
Limestone	2251	6	10.3	422.672	50000	72
Limestone	2257	3	10.3	422.672	50000	72
Limestone	2260	19	10.3	422.672	50000	72
Limestone	2279	6	10.3	422.672	50000	72
Limestone	2285	6	10.3	422.672	28000	90
Limestone	2291	34	10.2	422.672	28000	90
Limestone	2325	46	10.2	422.672	28000	90
Limestone	2371	41	10.2	488.7145	22000	102
Limestone	2412	37	10.2	488.7145	28000	102

Dolomite	2449	58	10.2	488.7145	24000	102
Dolomite	2507	28	10.2	488.7145	28000	102
Limestone	2535	5	10.2	488.7145	30000	102
Dolomite	2540	19	10.2	488.7145	38000	102
Dolomite	2559	40	10.2	488.7145	36000	102
Dolomite	2599	20	10.2	488.7145	40000	102
Limestone	2619	125	10.1	488.7145	36000	102
Dolomite	2744	111	10.1	488.7145	38000	102
Dolomite	2855	10	10.1	488.7145	38000	102
Dolomite	2865	91	10.1	488.7145	36000	102
Dolomite	2956	31	10.1	488.7145	38000	102
Dolomite	2987	58	10.1	488.7145	36000	102
Dolomite	3045	68	10.1	488.7145	36000	102
Dolomite	3113	17	10.1	488.7145	36000	102
	3130					

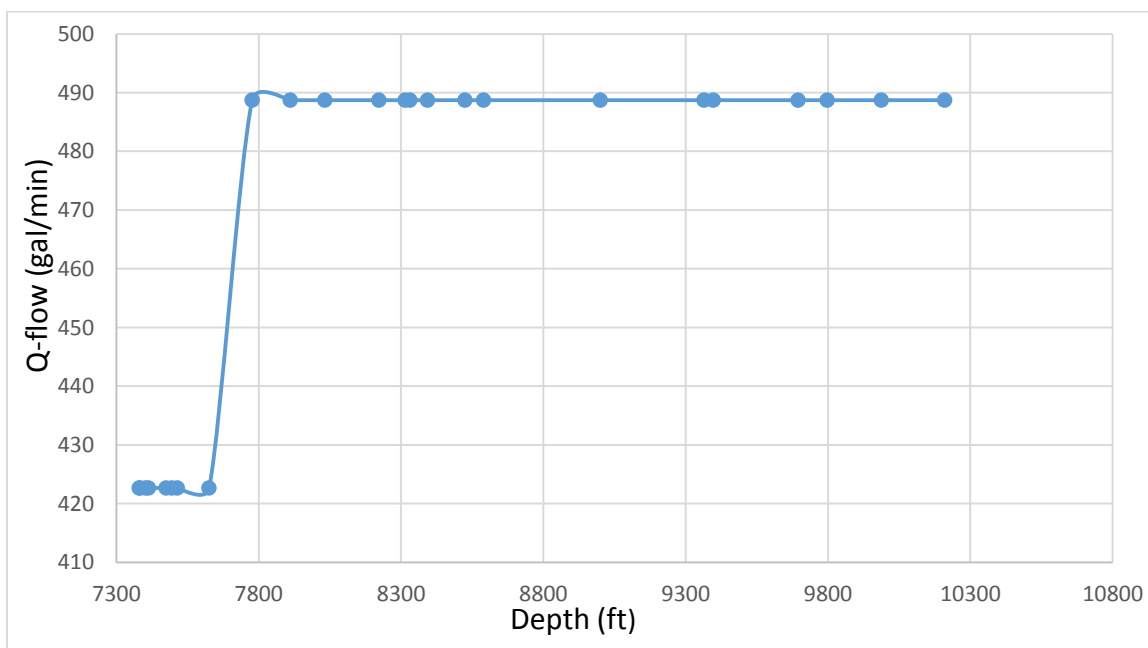
Στα παρακάτω Διαγράμματα 6.10, 6.11, 6.12 παρουσιάζεται η μεταβολή του RPM,WOB και του Q-flow σε σχέση με το βάθος σύμφωνα με τα δεδομένα της γεώτρησης.



Διάγραμμα 6.10: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 6.11: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος



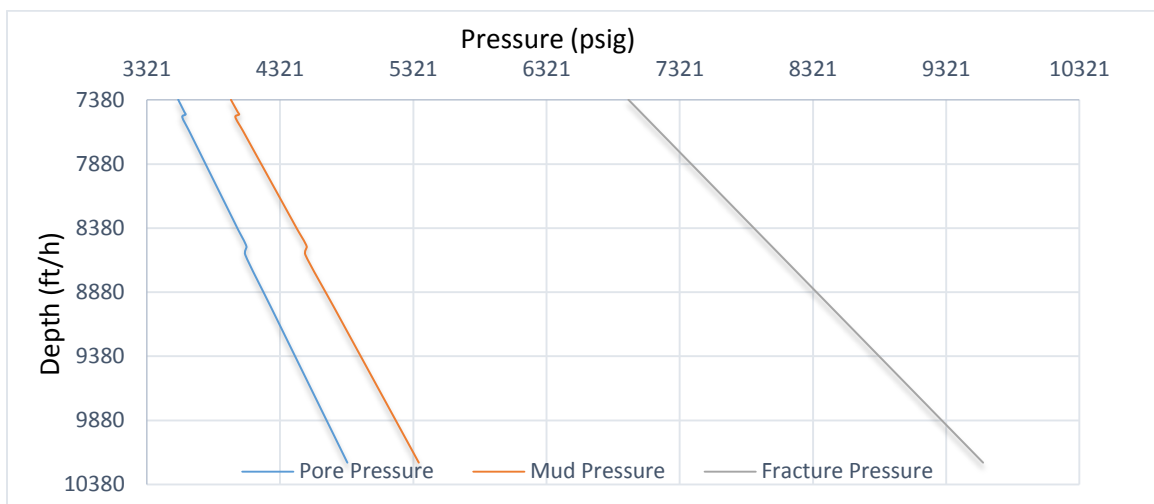
Διάγραμμα 6.12: Μεταβολή Q-flow σε σχέση με το βάθος

Πίνακας 6.4: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν

Depth (m)	Drill Size (in)	Bit Type	Bit Model	Bit Maker	Teeth Length	Number and size of nozzels(32α)	IADC code
2250	12 ¼	TCI	GFI28B	Smith	Long	2x18 2x16	-----
2285	8 ½	TCI	MSi813W	Smith	Medium	2x9 2x10	-----
2855	8 ½	TCI	M713-A3D	Reed	Medium	4x9	-----
2956	8 ½	TCI	MSi816WE	Smith	Medium	4x10	8 1 6

Για τις πιέσεις μέσα στην γεώτρηση πάρθηκε σαν σημείο αναφοράς η πίεση που ασκεί η λάσπη καθ' όλη την γεώτρηση και αφαιρέθηκε ένα ποσοστό 10% σε κάθε σημείο για να βρεθεί το pore pressure. Έτσι σαν βαθμίδα πίεσης χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0,428 psi/ft. Για την επιλογή των πιέσεων ρωγμάτωσης ο κύριος παράγοντας ήταν τα τεστ ακεραιότητας που έγιναν κατά την διάρκεια της γεώτρησης.

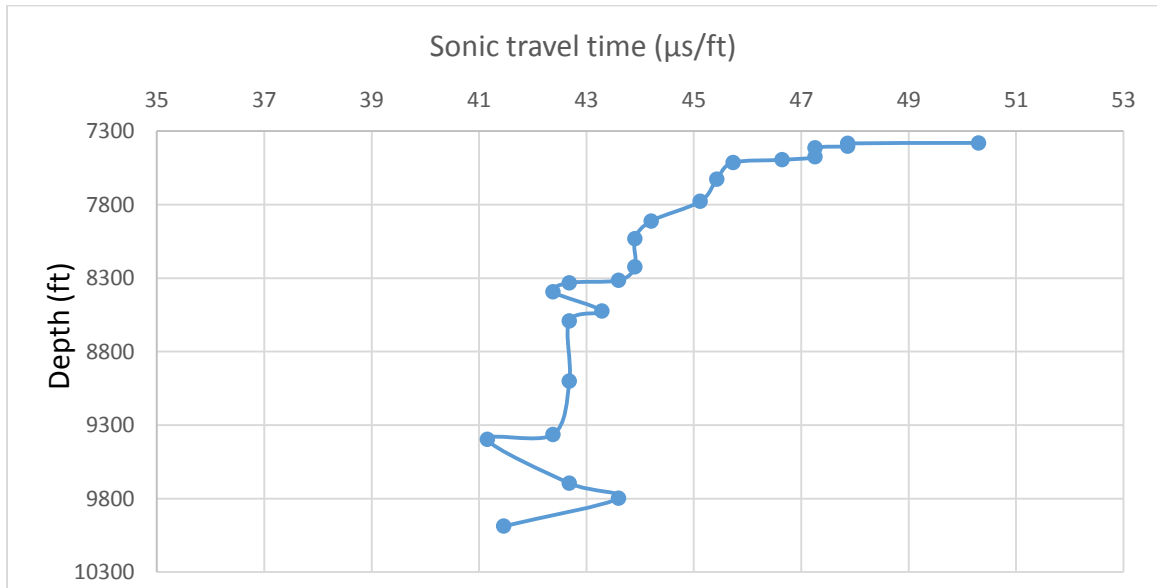
Τεστ ακεραιότητας (integrity test) πραγματοποιήθηκε στα 2285 m με επιφανειακή πίεση (surface pressure) 21.000 kPa και πυκνότητα λάσπης (mud weight) 1245 kg/m³. Αυτές η πιέσεις είχαν σαν αποτέλεσμα να υπολογισθεί ένα pressure gradient 21.4 kPa/m που ισούται με 0,94 psi/ft.



Διάγραμμα 6.13: Προφίλ πιέσεων

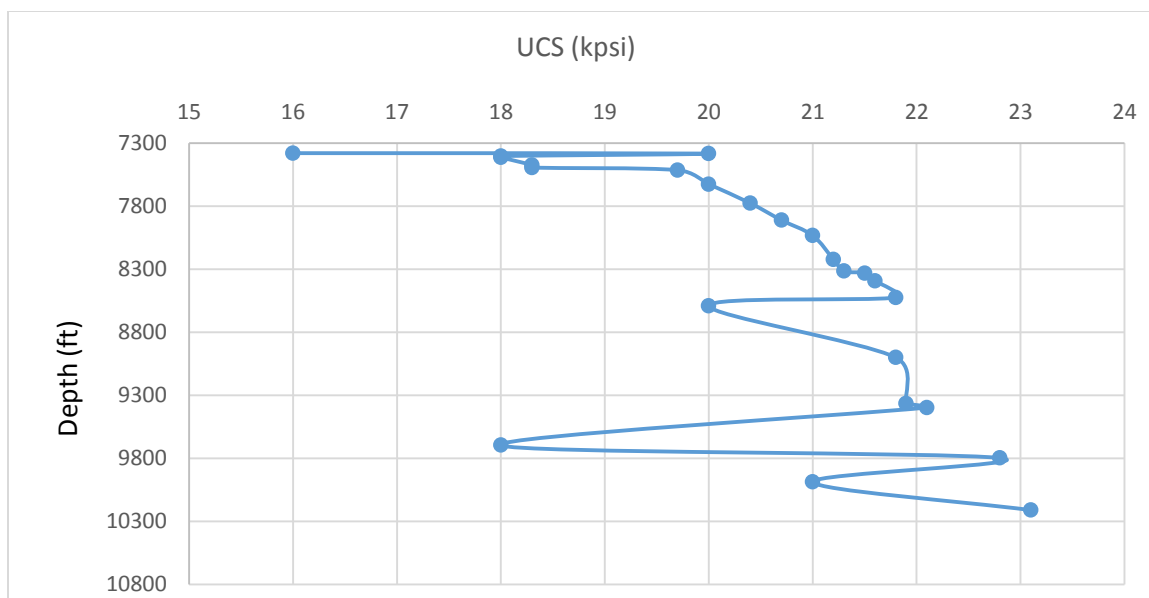
Επιλογή UCS

Η επιλογή τιμών UCS πραγματοποιήθηκε πάλι με την βοήθεια της εξίσωσης (3). Δεν υπήρχε όμως μεγάλη διακύμανση στις τιμές των sonic travel time και για αυτό ήταν εύκολο να προσδιοριστεί η τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για κάθε σχηματισμό.



Διάγραμμα 6.14: Διακυμάνσεις των ηχητικών χρόνων διάδοσης

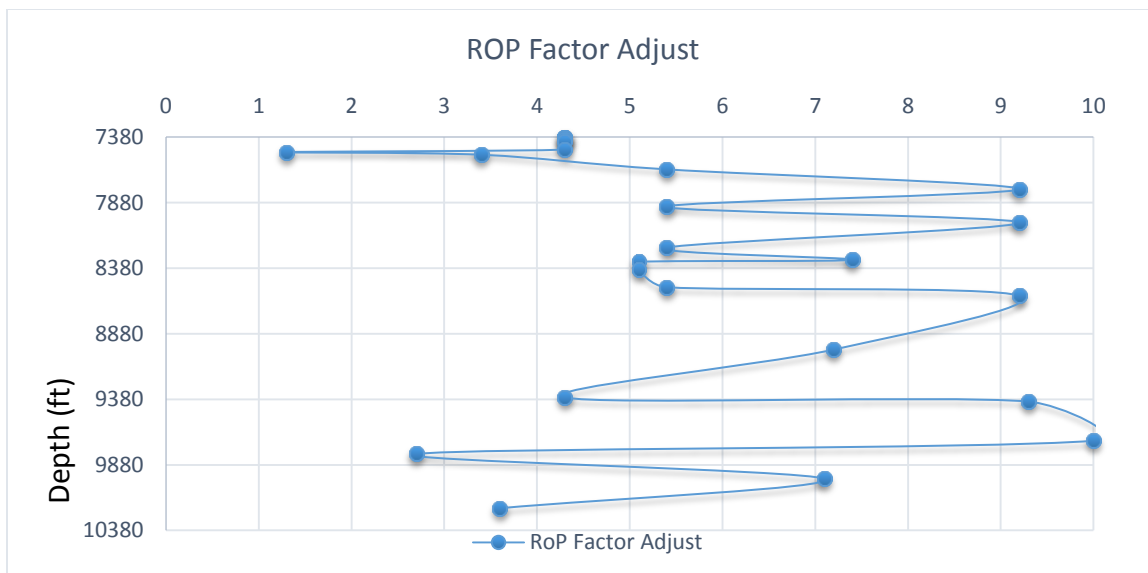
Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα επιλύθηκε η εξίσωση (3) και επιλέχθηκαν οι τιμές UCS που παρουσιάζονται στο παρακάτω Διάγραμμα 6.15.



Διάγραμμα 6.15: Μεταβολή UCS σε σχέση με το βάθος

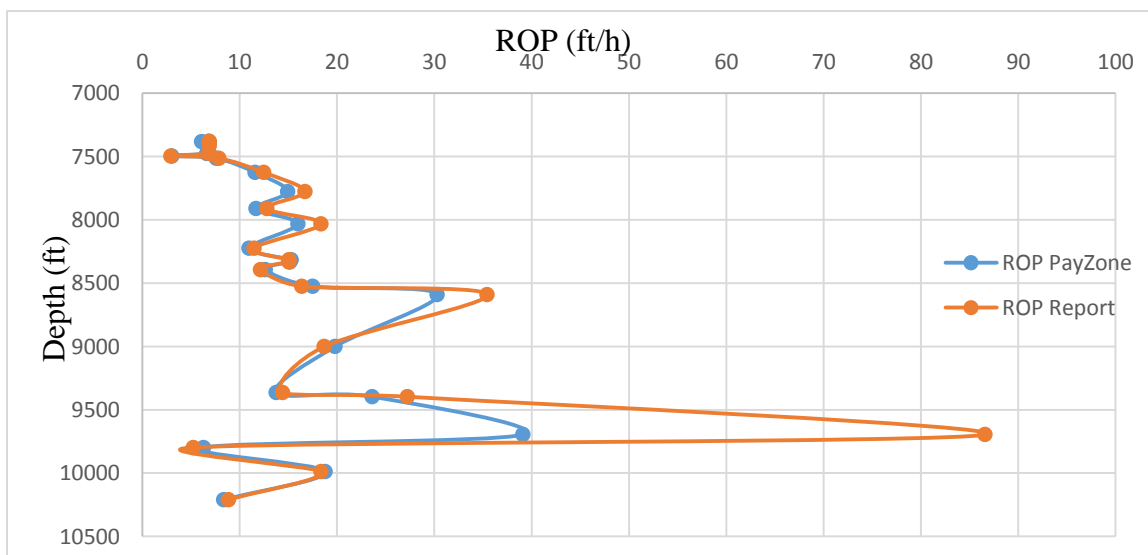
Αποτελέσματα

Έχοντας ολοκληρωθεί η διαδικασία επιλογής και εισαγωγής των δεδομένων, επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση της γεώτρησης στο PayZone. Όπως έχει προαναφερθεί η διαδικασία που εκτελείται για την εισαγωγή των δεδομένων για κάθε γεώτρηση είναι η ίδια. Αρχικά έπρεπε να γίνει η απαραίτητη επιλογή του ROP adjust factor για κάθε κοπτικό ούτως ώστε να ταιριάζει και να γίνει πιο αποτελεσματική η προσομοίωση. Σύμφωνα με τα παραπάνω Διαγράμματα 6.10, 6.11, 6.12 έγιναν οι προσπάθειες προσομοίωσης και βρέθηκαν οι κατάλληλες τιμές και έτσι δίδονται οι τιμές του ROP factor (Διάγραμμα 6.16).



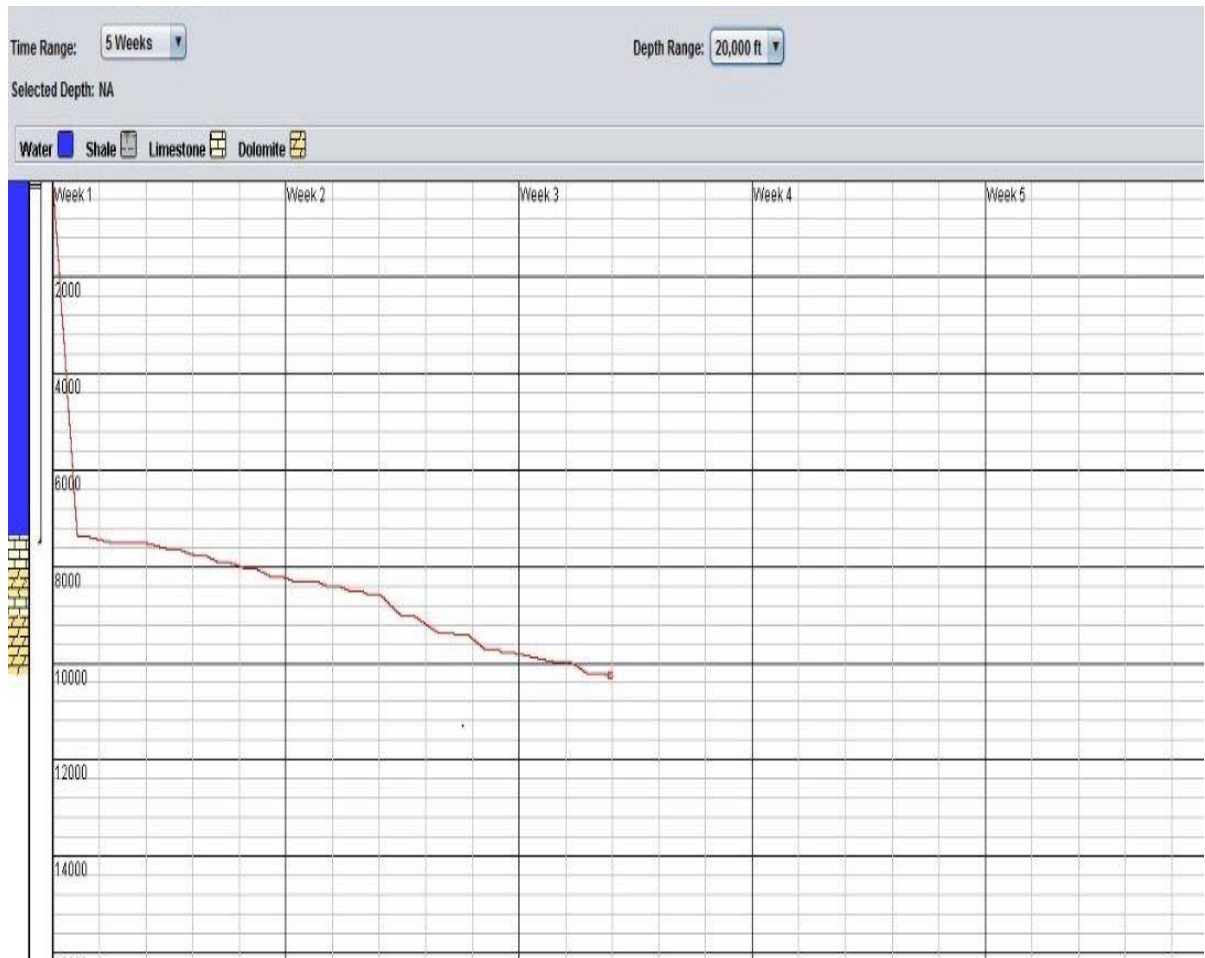
Διάγραμμα 6.16: Μεταβολή ROP factor adjust με το βάθος

Με την βοήθεια του παραπάνω διαγράμματος επιτεύχθηκε η προσομοίωση αυτού του κομματιού της γεώτρησης. Τα αποτελέσματα του PayZone προσέγγισαν πολύ κοντά τα αποτελέσματα της γεώτρησης (Διάγραμμα 6.17) στις τιμές του ROP εκτός στο τελευταίο κομμάτι στα 9600 ft όπου το ROP της εταιρίας ήταν κατά 40 ft/h υψηλότερο από αυτό του PayZone. Ίσως σε αυτό το σημείο να γίνει μια καλύτερη προσέγγιση της στρωματογραφίας με μεγαλύτερη ανάλυση που θα δώσει δυνατότητα για καλύτερη εκτίμηση τόσο του UCS όσο και του ROP factor, ώστε να πετύχουμε καλύτερη προσομοίωση.



Διάγραμμα 6.17: Σύγκριση ROP γεώτρησης με το PayZone

Στο παρακάτω διάγραμμα που πάρθηκε από το PayZone παρουσιάζεται η λιθολογία της γεώτρησης σε σχέση με το βάθος και ο χρόνος που χρειάστηκε για να πραγματοποιηθεί.



Διάγραμμα 6.18: Χρόνος γεώτρησης σε σχέση με το βάθος

Κεφάλαιο 7^ο - Δεύτερη Γεώτρηση της Nalcor Energy – Oil and Gas Inc στο Western Newfoundland (Well 2-Section1)

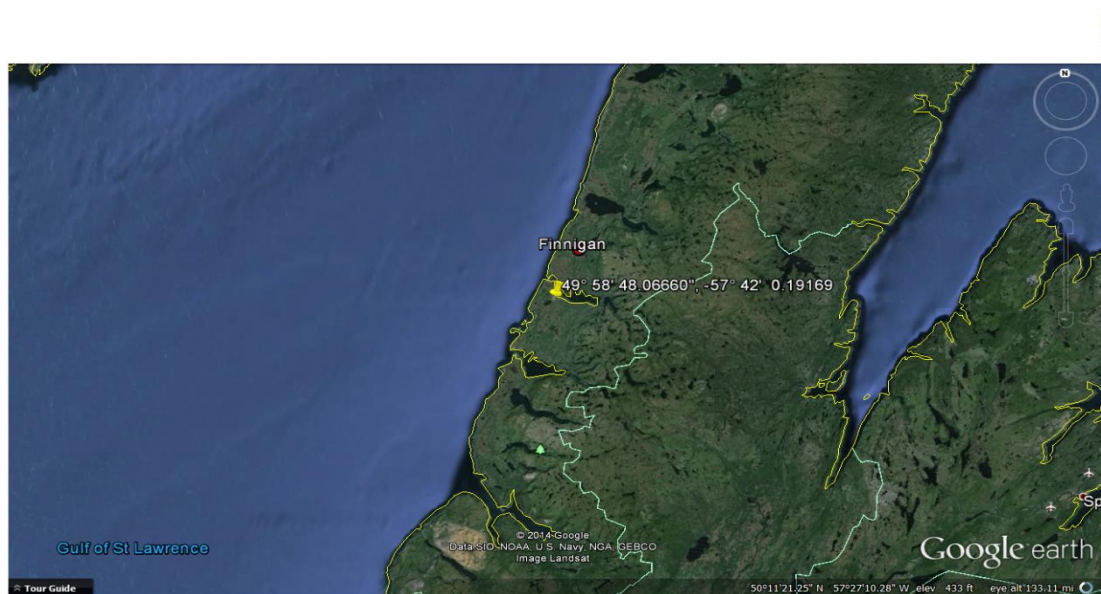
Τρίτη σειρά δεδομένων για ανθρακικά δεδομένα

Η γεώτρηση Nalcor et. Al Seamus #1 [4] ήταν ερευνητικό wildcat και πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Western Newfoundland στον Καναδά. Οι συντεταγμένες ήταν 49° 58' 48.40'' N και 57° 41' 59.10'' W.

Η γεώτρηση άρχισε να υλοποιείται τον Φεβρουάριο του 2010, όπου το πρώτο κομμάτι διανοίχθηκε με κοπτικό διαμέτρου 17 ½ μέχρι τα 601 m. Στην συνέχεια τοποθετήθηκε μέχρι τα 601 m επένδυση (casing) διαμέτρου 13,3 ιντσών.

Στις 8 Μαρτίου ξεκίνησε η διάτρηση για το ενδιάμεσο κομμάτι (intermediate section) με κοπτικό 12 ¼ από τα 601 έως 2292 m. Έπειτα επένδυση διαμέτρου 9,6 ιντσών που τοποθετήθηκε μέχρι τα 2292 μέτρα.

Για την τελική διάμετρο της γεώτρησης, χρησιμοποιήθηκε κοπτικό 8 ½ για να διατρηθούν τα τελευταία 868 m ούτως ώστε να φτάσει η γεώτρηση στο επιθυμητό βάθος των 3160 m. Στην παρακάτω Εικόνα 7.1 παρουσιάζεται η περιοχή που πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση.



Εικόνα 7.1: Περιοχή που πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση

7.1. Δεδομένα της γεώτρησης

Στην συνέχεια σαν πρώτο βήμα, πάρθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα που είχαν σχέση:

- Με την λιθολογία (Lithology)
- Το πάχος του κάθε στρώματος (Layer thickness)
- Την πυκνότητα της λάσπης (Mud density)
- Την παροχή λάσπης (Q-flow)
- Βάρος στο κοπτικό άκρο (WOB)
- Ταχύτητα περιστροφής (RPM)

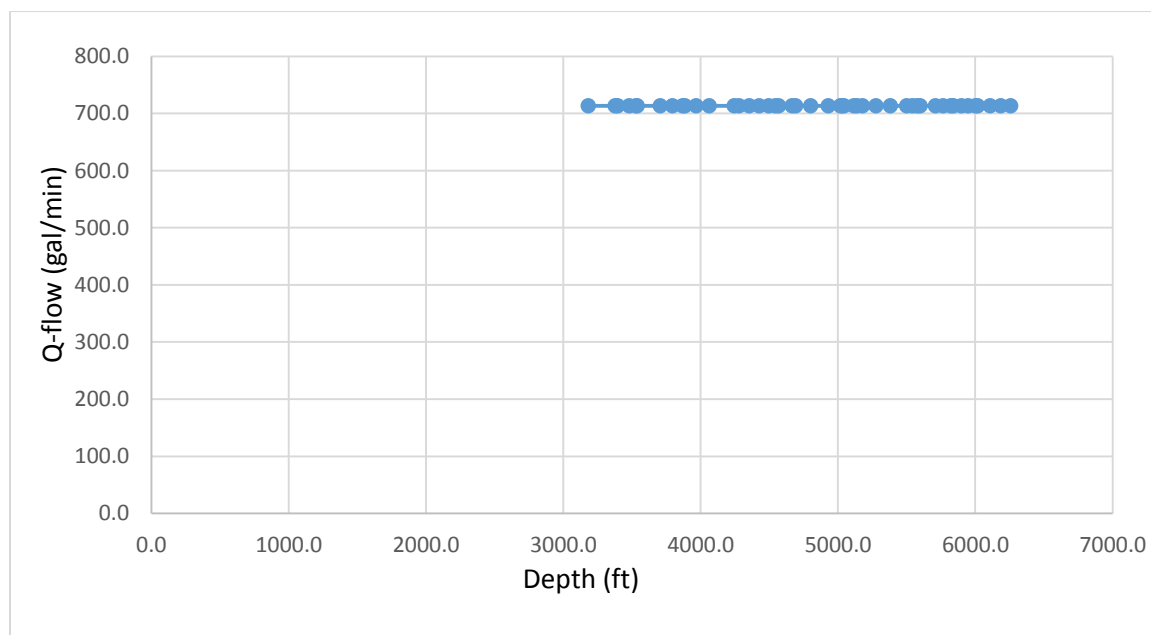
Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7.1) παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της γεώτρησης.

Πίνακας 7.1: Δεδομένα της γεώτρησης

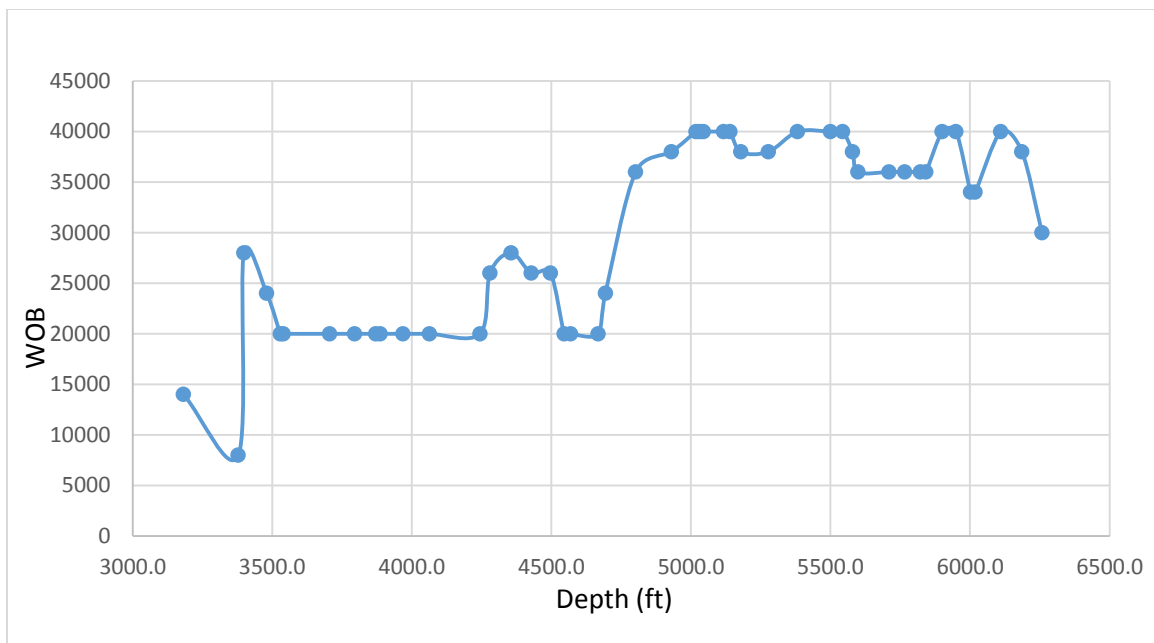
Lithology	Layer Depth (m)	Layer Thickness (m)	Layer Depth (ft)	Layer Thickness (ft)	Mud (ppg)	Q-flow (gal/min)	WOB (lb)	RPM
Limestone	970	60	3181.6	196.8	8.8	713.3	14000	120
Limestone	1030	6	3378.4	19.7	8.8	713.3	8000	120
Limestone	1036	25	3398.1	82.0	8.8	713.3	28000	140
Limestone	1061	15	3480.1	49.2	9.3	713.3	24000	140
Limestone	1076	3	3529.3	9.8	9.3	713.3	20000	120
Limestone	1079	51	3539.1	167.3	9.4	713.3	20000	120
Limestone	1130	27	3706.4	88.6	9.5	713.3	20000	120
Limestone	1157	23	3795.0	75.4	9.5	713.3	20000	120
Shale	1180	5	3870.4	16.4	9.4	713.3	20000	120
Limestone	1185	25	3886.8	82.0	9.4	713.3	20000	120
Limestone	1210	29	3968.8	95.1	9.4	713.3	20000	120
Limestone	1239	55	4063.9	180.4	9.3	713.3	20000	120
Limestone	1294	11	4244.3	36.1	9.3	713.3	20000	120
Limestone	1305	23	4280.4	75.4	9.3	713.3	26000	170
Limestone	1328	22	4355.8	72.2	9.3	713.3	28000	170
Limestone	1350	21	4428.0	68.9	9.4	713.3	26000	170
Limestone	1371	15	4496.9	49.2	9.4	713.3	26000	170
Limestone	1386	7	4546.1	23.0	9.4	713.3	20000	40
Limestone	1393	30	4569.0	98.4	9.4	713.3	20000	40
Limestone	1423	8	4667.4	26.2	9.4	713.3	20000	40
Limestone	1431	33	4693.7	108.2	9.3	713.3	24000	40
Limestone	1464	39	4801.9	127.9	9.3	713.3	36000	35
Limestone	1503	27	4929.8	88.6	9.3	713.3	38000	40
Sandstone	1530	4	5018.4	13.1	9.3	713.3	40000	40
Sandstone	1534	4	5031.5	13.1	9.3	713.3	40000	40

Limestone	1538	22	5044.6	72.2	9.3	713.3	40000	40
Sandstone	1560	7	5116.8	23.0	9.3	713.3	40000	40
Limestone	1567	12	5139.8	39.4	9.3	713.3	40000	40
Limestone	1579	30	5179.1	98.4	9.3	713.3	38000	60
Limestone	1609	32	5277.5	105.0	9.3	713.3	38000	60
Limestone	1641	36	5382.5	118.1	9.3	713.3	40000	60
Shale	1677	13	5500.6	42.6	9.5	713.3	40000	60
Limestone	1690	11	5543.2	36.1	9.5	713.3	40000	60
Limestone	1701	6	5579.3	19.7	9.6	713.3	38000	55
Limestone	1707	34	5599.0	111.5	9.6	713.3	36000	55
Shale	1741	17	5710.5	55.8	9.6	713.3	36000	80
Limestone	1758	17	5766.2	55.8	9.5	713.3	36000	80
Shale	1775	6	5822.0	19.7	9.5	713.3	36000	85
Limestone	1781	18	5841.7	59.0	9.5	713.3	36000	85
Shale	1799	15	5900.7	49.2	9.5	713.3	40000	85
Limestone	1814	16	5949.9	52.5	9.5	713.3	40000	85
Limestone	1830	5	6002.4	16.4	9.5	713.3	34000	75
Sandstone	1835	28	6018.8	91.8	9.5	713.3	34000	75
Shale	1863	23	6110.6	75.4	9.5	713.3	40000	75
Shale	1886	22	6186.1	72.2	9.6	713.3	38000	75
Shale	1908	4	6258.2	13.1	9.6	713.3	30000	150
Shale	1912		6271.4					

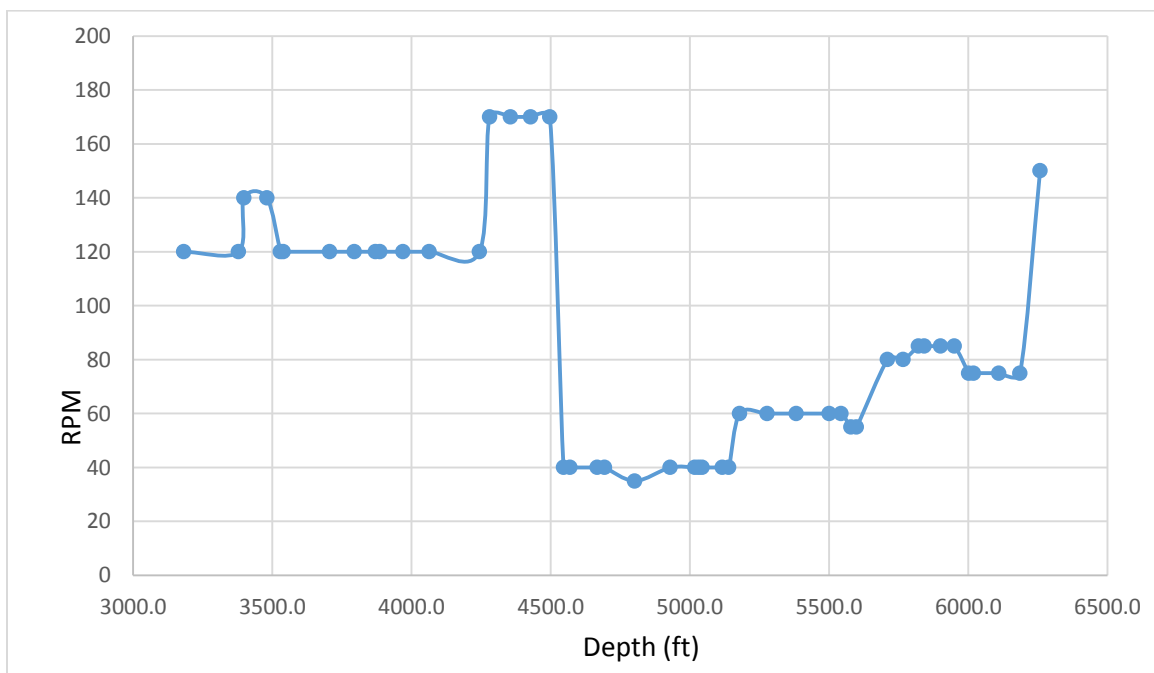
Στα παρακάτω Διαγράμματα 7.1, 7.2, 7.3 παρουσιάζονται οι μεταβολές στις τιμές του Q-flow, WOB και RPM σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 7.1: Μεταβολή Q-flow σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 7.2: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 7.3: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος

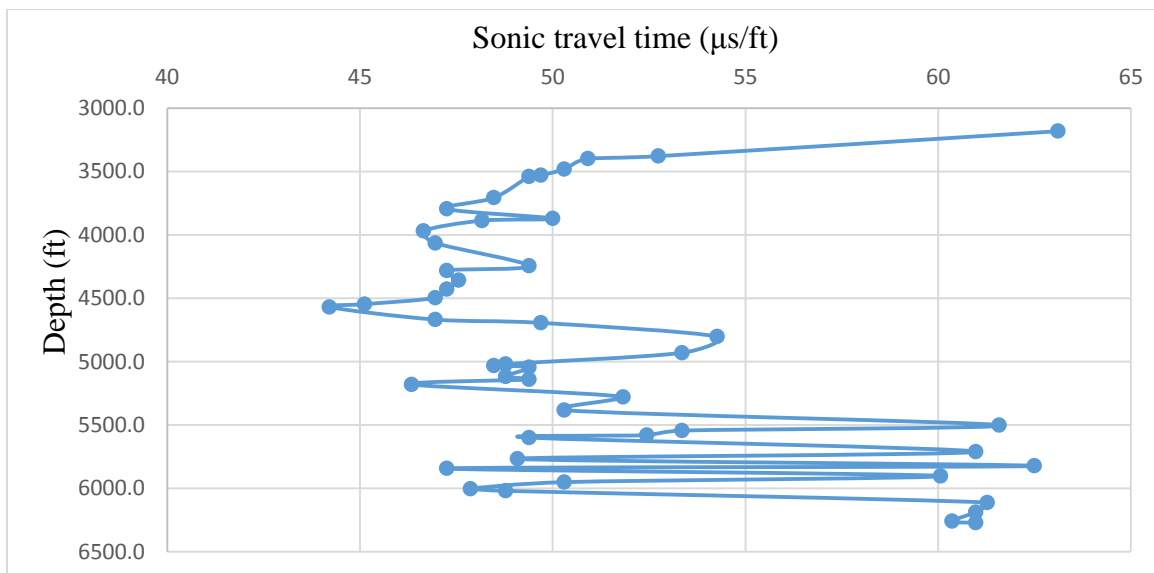
Χρησιμοποιήθηκαν πολλά κοπτικά άκρα για την διάνοιξη των 1000 m. Στον παρακάτω Πίνακα 7.2, παρουσιάζονται όλα τα κοπτικά άκρα και τα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 7.2: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν για την γεώτρηση

Depth (ft)	Bit size(in)	Make	Type	Tooth Length	Nozzles (32a)	IADC	Model
3181	12 1/4	Hughes	PDC	Long	3x11	-----	HCD506Z
3398	12 1/4	Hughes	TCI	Long	2x14 1x15	5 3 7	GX 35DX
3529	12 1/4	Smith	TCI	Medium	2x9 1x9 1x10	-----	MSi816W
4244	12 1/4	Hughes	TCI	Medium	4x14 1 x 17	5 3 7	GX 35Dx
4546	12 1/4	Hughes	PDC	Medium	3x10 and 1x8	-----	HCM608
4693	12 1/4	Reed	TCI	Medium	3x16	5 3 7	M4249ZP
5116	12 1/4	Hughes	TCI	Medium	3x16	6 3 7	S55RDX
5579	12 1/4	Hughes	TCI	Medium	3x16	6 1 7	GX44DX
6258	12 1/4	Hughes	TCI	Medium	2x14 1x13	6 1 7	GX 44DX

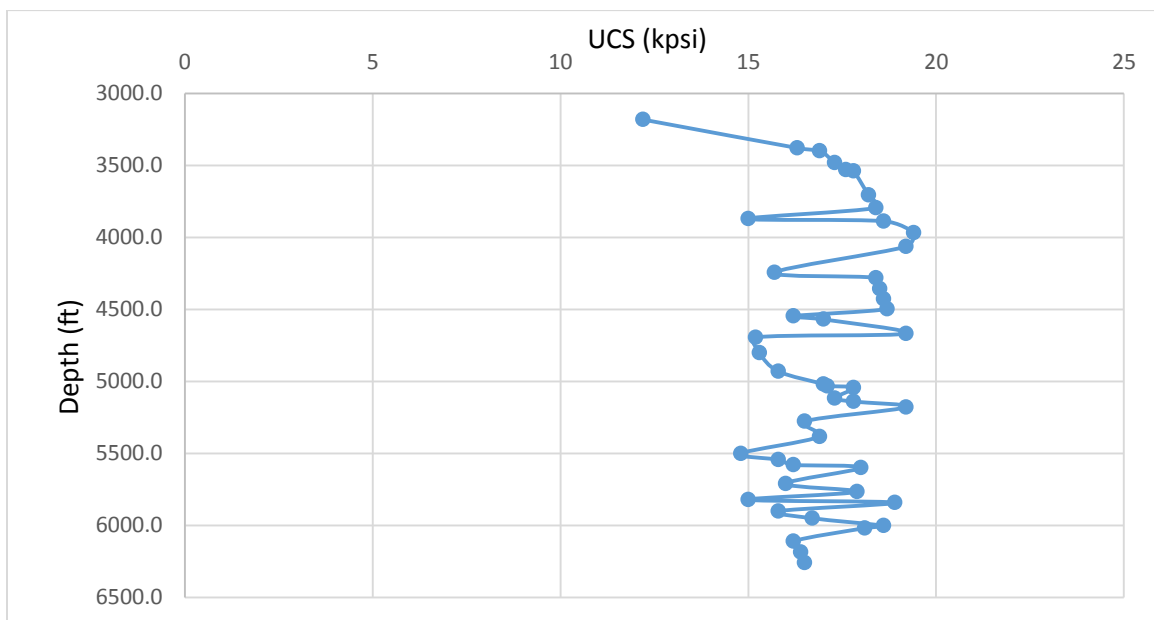
7.2. Επιλογή UCS

Η επιλογή τιμών UCS πραγματοποιήθηκε πάλι με την βοήθεια της εξίσωσης (3) και των κωδικών IADC. Η προσέγγιση με την χρήση του χρόνου διάδοσης των ηχητικών κυμάτων ήταν αρκετά εύκολη, λόγω του ότι δεν υπήρχαν μεγάλες διακυμάνσεις στις διαγραφίες. Επίσης επειδή δόθηκε μεγάλη βαρύτητα και στις δύο παραμέτρους για την επιλογή UCS και επειδή υπήρχε μια απόκλιση 2 με 3 kpsi για κάθε σχηματισμό, πάρθηκε η ενδιάμεση τιμή τους. Στο Διάγραμμα 7.4 παρουσιάζονται οι τιμές των sonic travel time, σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 7.4: Μεταβολή sonic travel time vs Depth

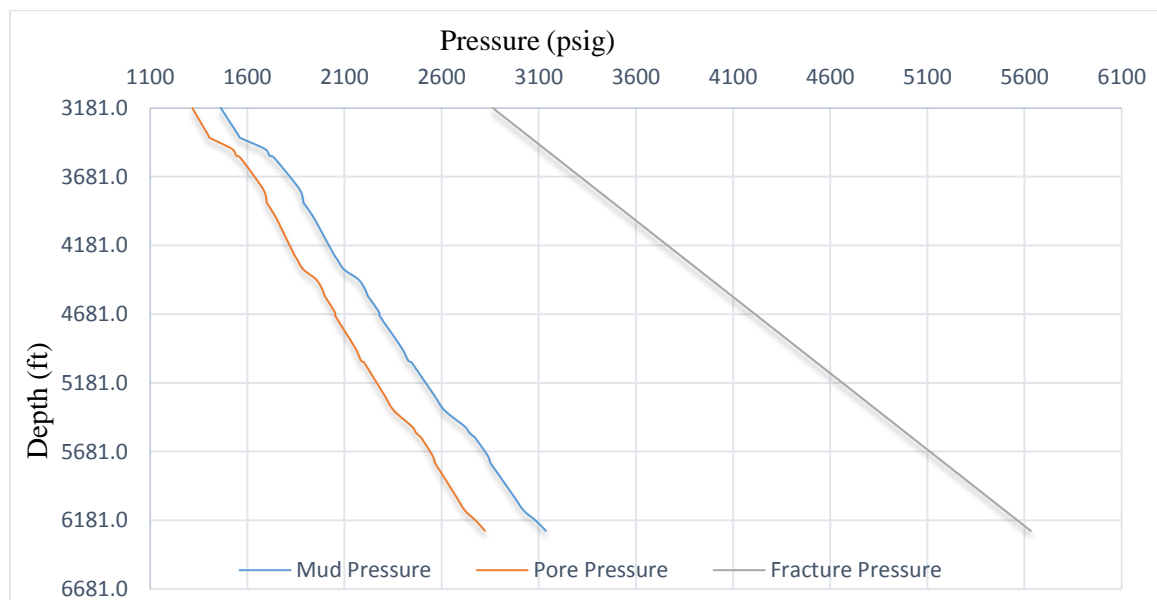
Σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα 7.2 και το Διάγραμμα 7.4, δημιουργήθηκε το Διάγραμμα 7.5 που παρουσιάζει της μεταβολή UCS των σχηματισμών σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 7.5: Μεταβολή UCS με το βάθος

7.3. Πιέσεις κατά την διάρκεια της γεώτρησης

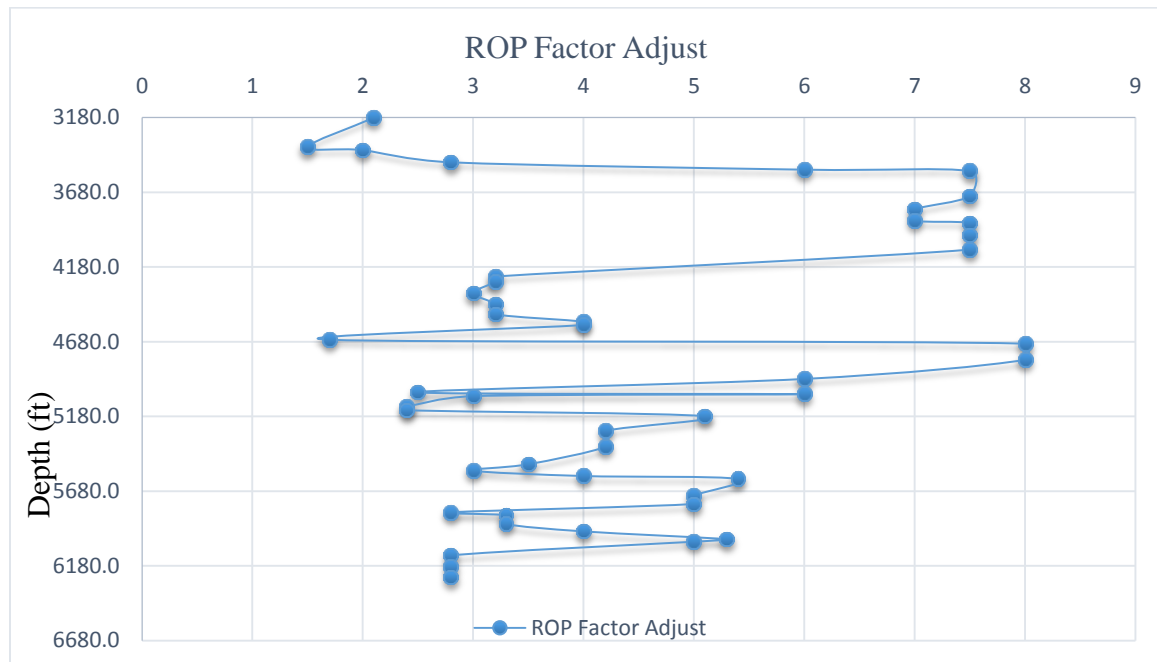
Για την πτώση πίεσης μέσα στην γεώτρηση πάρθηκε σαν σημείο αναφοράς η πίεση που ασκεί η λάσπη καθ' όλη την γεώτρηση και αφαιρέθηκε ένα ποσοστό 10% σε κάθε σημείο για να βρεθούν στο περίπου οι πιέσεις των πόρων. Έτσι σαν βαθμίδα πίεσης χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0,415 psi/ft έως 0,44 psi.ft. Για την επιλογή των πιέσεων ρωγμάτωσης ο κύριος παράγοντας ήταν τα τεστ ακεραιότητας που έγιναν κατά την διάρκεια της γεώτρησης. Τεστ ακεραιότητας πραγματοποιήθηκε στα 605 m με mud density 1246 kg/m³ με επιφανειακή πίεση 20.000 Kpa, με αποτέλεσμα να προκύψει βαθμίδα ρωγμάτωσης 0.76 psi/ft και πάρθηκε η τιμή 0,90 psi/ft για καλύτερη προσέγγιση. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι τιμές αυτές δεν χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του ρυθμού διάτρησης (ROP) αλλά χρησιμοποιούνται ως όρια με την εκτίμηση του πολφού κατά την διάτρηση, δηλαδή εκτιμάται με το πρόγραμμα PayZone σε κάθε σημείο του δακτυλίου η πίεση του πολφού και αν είναι μικρότερη από την πίεση των πόρων, τότε δίδει το σήμα ότι έγινε kick ενώ όταν υπερβεί πίεση ρωγμάτωσης δίδει σήμα ότι έγινε ρωγμάτωση. Και στις δύο περιπτώσεις σταματά η γεώτρηση και ο χειριστής πρέπει να προβεί στην κατάλληλη παρέμβαση (π.χ. να αυξήσει την πυκνότητα λάσπης ή να κάνει επένδυση). Στο παρακάτω Διάγραμμα 7.6 παρουσιάζονται οι πιέσεις της λάσπης, των ρευστών των πόρων και τις ρηγμάτωσης σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 7.6: Μεταβολή πιέσεων με το βάθος

7.4. Αποτελέσματα

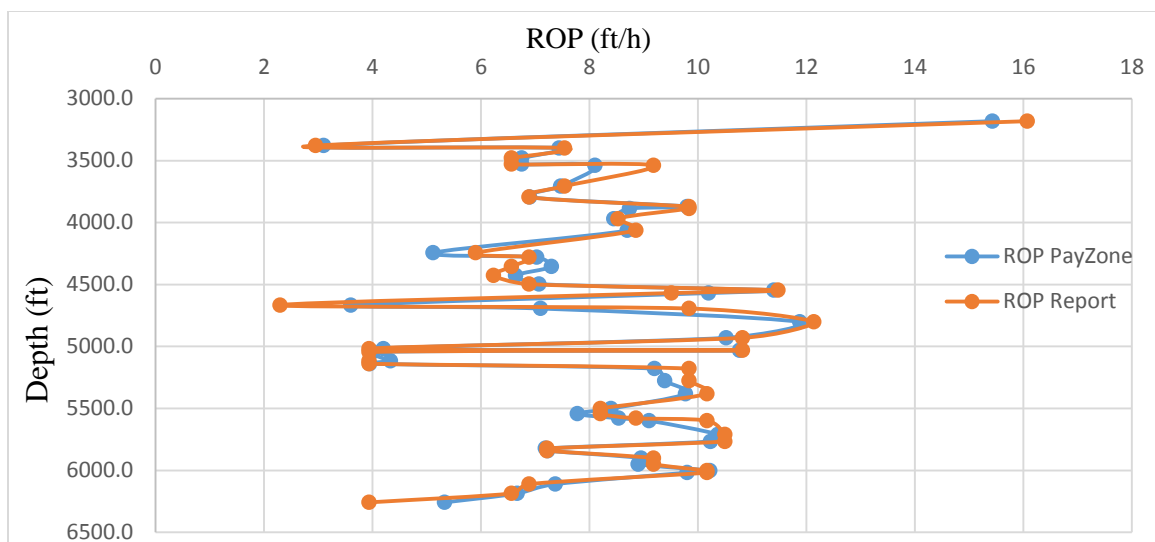
Αρχικά έπρεπε να γίνει η απαραίτητη επιλογή του ROP adjust factor για κάθε κοπτικό ούτως ώστε να ταιριάζει και να γίνει πιο αποτελεσματική η προσομοίωση. Σύμφωνα με τα παραπάνω Διαγράμματα 7.1, 7.2, 7.3 και τον Πίνακα 7.2 δίδονται οι τιμές του ROP factor (Διάγραμμα 7.7).



Διάγραμμα 7.7: Μεταβολή ROP factor με το βάθος

Η συγκεκριμένη προσομοίωση ήταν λίγο δυσκολότερη από τις προηγούμενες και ήθελε περισσότερο χρόνο λόγω του ότι οι τιμές του ROP ήταν αρκετά χαμηλές σχεδόν για όλα τα βάθη και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να χρειαστεί περισσότερος χρόνος για την καταλληλότερη επιλογή ROP factor γιατί όσο μικρότερο είναι το ROP, τόσο μικρότερη επίδραση έχει η μικρή μεταβολή του ROP factor.

Στο παρακάτω Διάγραμμα 7.8 παρουσιάζονται οι τιμές ROP της γεώτρησης και του PayZone σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 7.8: ROP εταιρίας και PayZone σε σχέση με το βάθος

Το παρακάτω Διάγραμμα 7.9 πάρθηκε από το PayZone και παρουσιάζει την λιθολογία που εμφανίστηκε σε όλη την διάρκεια αυτού του κομματιού της γεώτρησης και τον χρόνο που χρειάστηκε να υλοποιηθεί αυτό το τμήμα.



Διάγραμμα 7.9: Χρόνος γεώτρησης με σχέση τον βάθος

Κεφάλαιο 8^ο – Πρώτα Ψαμμιτικά δεδομένα (Well 1-Section 2)

Έχοντας έχει γίνει η παρουσίαση και η προσομοίωση για τα δεδομένα των ανθρακικών πετρωμάτων, σειρά είχαν τα δύο κομμάτια των 1000 m για τα ψαμμιτικά πετρώματα. Το πρώτο κομμάτι δεδομένων πάρθηκε από την ίδια γεώτρηση της Nalcor Energy oil and gas [2] που χρησιμοποιήθηκε επίσης και για τα δεδομένα των ανθρακικών πετρωμάτων.

Το συγκεκριμένο τμήμα ήταν το ενδιάμεσο τμήμα της γεώτρησης. Το τμήμα που πάρθηκε ήταν από τα 1010 έως 1935 m. Τα κοπτικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν όλα διαμέτρου 12 ¼ ιντσών.

8.1. Δεδομένα της γεώτρησης

Στην συνέχεια σαν πρώτο βήμα, πάρθηκαν τα δεδομένα που είχαν σχέση:

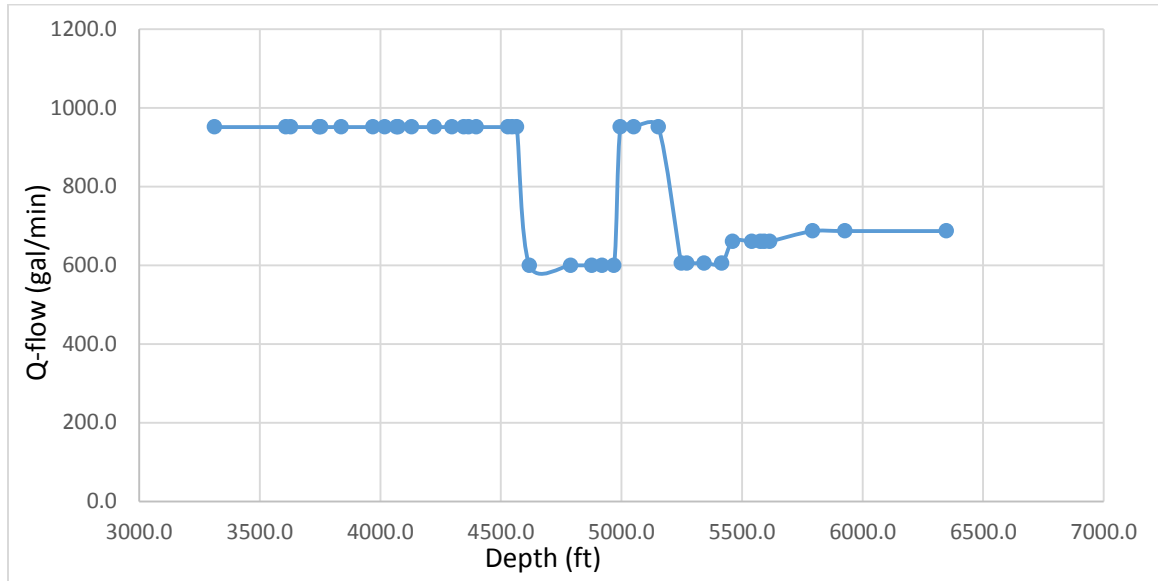
- Με την λιθολογία (Lithology)
- Το πάχος του κάθε στρώματος (Layer thickness)
- Την πυκνότητα της λάσπης (Mud density)
- Την παροχή λάσπης (Q-flow)
- Βάρος στο κοπτικό άκρο (WOB)
- Ταχύτητα περιστροφής (RPM)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8.1) παρουσιάζονται τα παραπάνω δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της γεώτρησης.

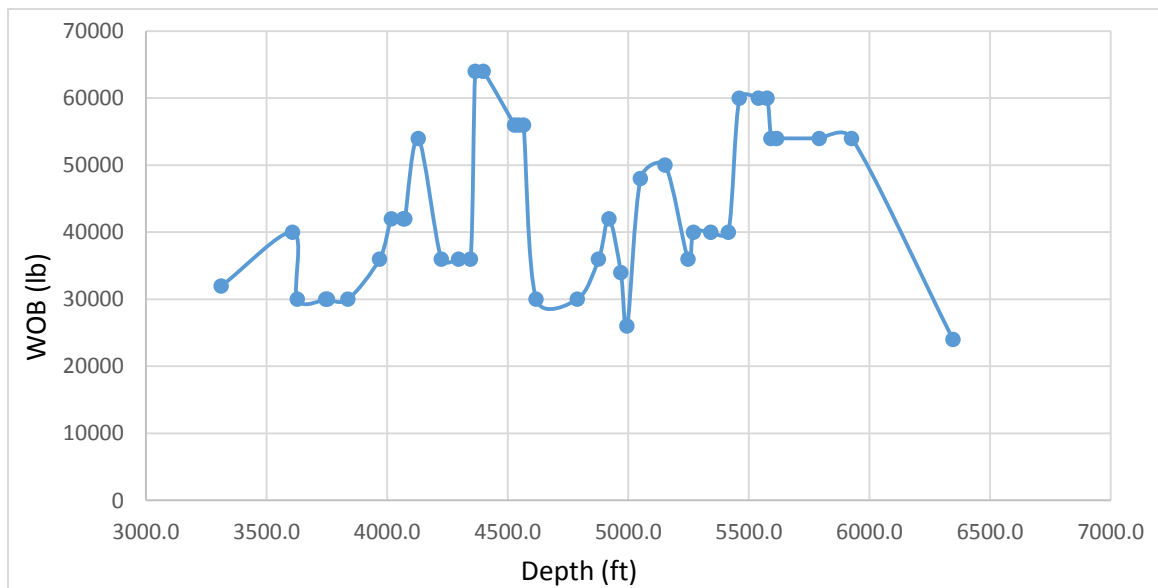
Πίνακας 8.1: Δεδομένα γεώτρησης

Lithology	Layer Depth (m)	Layer Thickness (m)	Layer Depth (ft)	Layer Thickness (ft)	Mud (ppg)	Q-flow (gal/min)	WOB (lb)	RPM
SandStone	1010	90	3312.8	295.2	9.5	951.1	32000	140
Shale	1100	6	3608.0	19.68	9.5	951.1	40000	130
SandStone	1106	36	3627.7	118.08	10.5	951.1	30000	140
Shale	1142	2	3745.8	6.56	10.5	951.1	30000	140
SandStone	1144	26	3752.3	85.28	10.5	951.1	30000	140
Shale	1170	40	3837.6	131.2	10.5	951.1	30000	140
Shale	1210	15	3968.8	49.2	10.5	951.1	36000	140
Shale	1225	15	4018.0	49.2	10.5	951.1	42000	140
Sandstone	1240	2	4067.2	6.56	10.5	951.1	42000	140
Shale	1242	17	4073.8	55.76	10.5	951.1	42000	140
Shale	1259	29	4129.5	95.12	10.5	951.1	54000	120
Sandstone	1288	22	4224.6	72.16	10.5	951.1	36000	115
Shale	1310	15	4296.8	49.2	10.6	951.1	36000	115
SandStone	1325	6	4346.0	19.68	10.6	951.1	36000	115
Sandstone	1331	10	4365.7	32.8	10.6	951.1	64000	115
Sandstone	1341	40	4398.5	131.2	10.6	951.1	64000	115
Shale	1381	5	4529.7	16.4	10.5	951.1	56000	100
SandStone	1386	6	4546.1	19.68	10.5	951.1	56000	100
Shale	1392	16	4565.8	52.48	10.5	951.1	56000	100
Sandstone	1408	52	4618.2	170.56	10.5	599.7	30000	120
Shale	1460	27	4788.8	88.56	10.6	599.7	30000	147
Shale	1487	13	4877.4	42.64	10.6	599.7	36000	145
SandStone	1500	15	4920.0	49.2	10.5	599.7	42000	148
SandStone	1515	8	4969.2	26.24	10.5	599.7	34000	140
Shale	1523	17	4995.4	55.76	10.5	951.1	26000	75
Shale	1540	31	5051.2	101.68	10.5	951.1	48000	76
Shale	1571	29	5152.9	95.12	10.5	951.1	50000	75
Shale	1600	7	5248.0	22.96	10.5	605.0	36000	80
Shale	1607	22	5271.0	72.16	10.5	605.0	40000	147
SandStone	1629	22	5343.1	72.16	10.5	605.0	40000	147
SandStone	1651	14	5415.3	45.92	10.5	605.0	40000	147
Shale	1665	25	5461.2	82	10.5	660.5	60000	65
Shale	1689	11	5539.9	36.08	10.5	660.5	60000	65
SandStone	1700	5	5576.0	16.4	10.5	660.5	60000	65
SandStone	1705	7	5592.4	22.96	10.5	660.5	54000	65
Shale	1712	54	5615.4	177.12	10.5	660.5	54000	65
SandStone	1766	41	5792.5	134.48	10.5	686.9	54000	65
Shale	1807	128	5927.0	419.84	10.4	686.9	54000	75
SandStone	1935	5	6346.8	32.8	10.6	686.9	24000	120
	1940		6379.6					

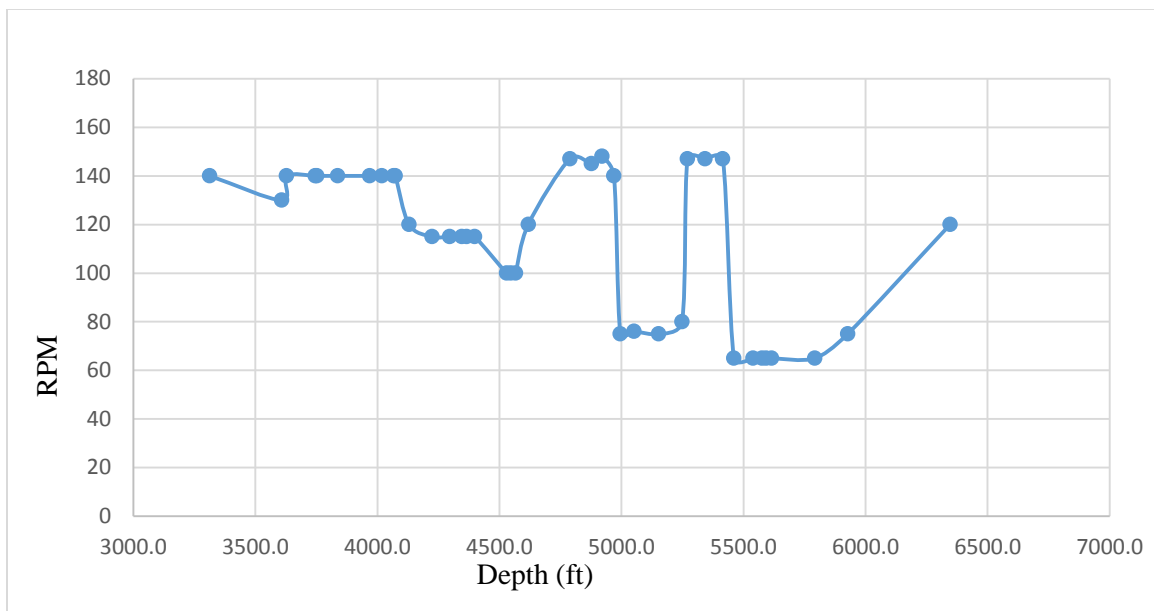
Στα παρακάτω Διαγράμματα 8.1, 8.2, 8.3 παρουσιάζονται οι μεταβολές στις τιμές του Q-flow, WOB και RPM σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 8.1: Μεταβολή Q-flow σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 8.2: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 8.3: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος

Χρησιμοποιήθηκαν πολλά κοπτικά άκρα για την διάνοιξη των 1000 m. Στον παρακάτω Πίνακα 8.2, παρουσιάζονται όλα τα κοπτικά άκρα και τα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 8.2: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν για την γεώτρηση

Depth (ft)	Bit size(in)	Make	Type	Tooth	Nozzles	IADC	Model
3313	12 ¼	Smith	PDC	Long	3x11 and 1 x 10		MSI616
3628	12 ¼	Reed	TCI	Long	3x10 and 1x11	4 2 2	MSF 716
4019	12 ¼	Reed	TCI	Medium	4x11	5 4 3	MSF 813S
4225	12 ¼	Smith	TCI	Medium	3x16 and 1x13	5 1 7	GF135V0D
4399	12 ¼	Reed	TCI	Short	3x19	6 3 7	M4528
4619	12 ¼	Smith	PDC	Short	4x8		MSI816
4826	12 ¼	Smith	PDC	Short	4x10		MSI816
4993	12 ¼	Smith	TCI	Medium	3x14 and 1 x 11	5 2 7	GF128B
5249	12 ¼	Smith	TCI	Medium	4x8		MSI616HE

5462	12 ¼	Smith	TCI	Medium	1x11 and 3x14	5 1 7	GFI23B
5793	12 ¼	Smith	TCI	Medium	1x11 and 3x14	5 3 7	GFI23B
5961	12 ¼	Smith	TCI	Medium	2x14 and 2 x11	5 1 7	GFI23B
6348	12 ¼	Smith	TCI	Medium	2x14 and 2 x12		Mi716

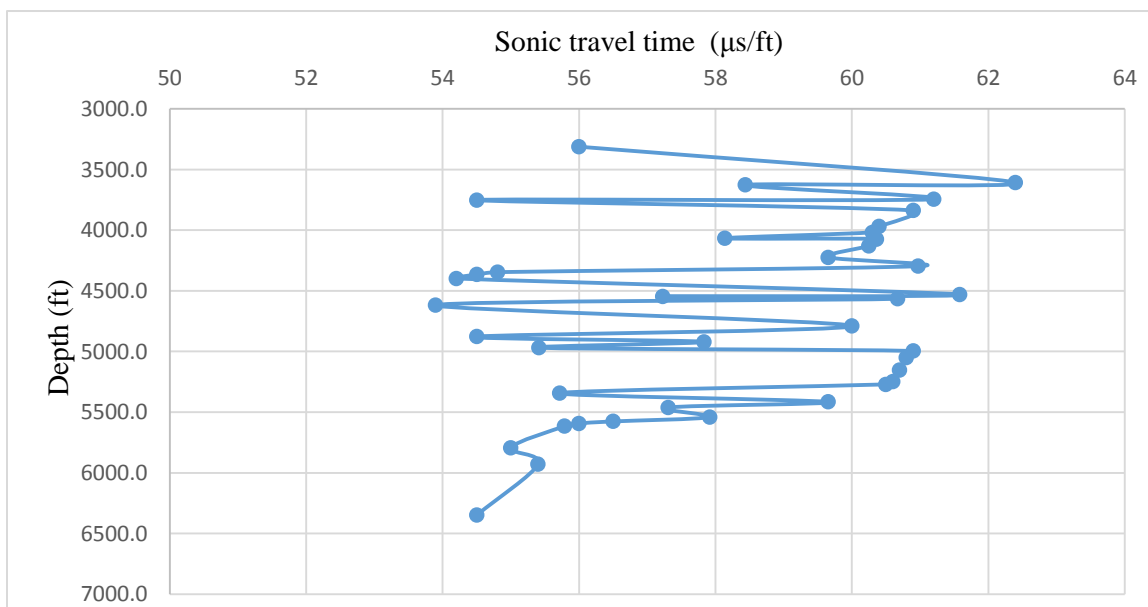
8.2. Επιλογή UCS

Η επιλογή τιμών UCS πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια της εξίσωσης [14]:

$$UCS=212,000*e^{(-0,043*t)} \quad (12)$$

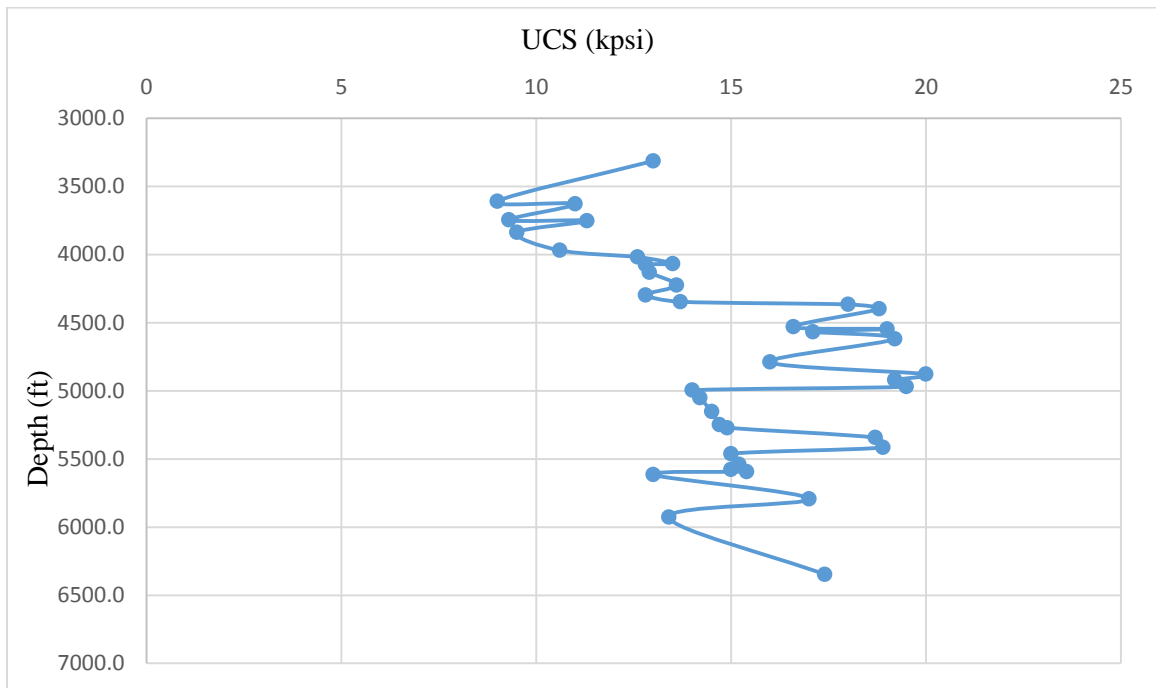
Όπου UCS σε psi και t σε ms/ft.

Μεγαλύτερη βαρύτητα δόθηκε στους κωδικούς IADC, διότι η παραπάνω εξίσωση αναφέρεται περισσότερο για γαιάνθρακες αλλά επίσης και για πετρώματα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η προσέγγιση των ηχητικών κυμάτων ήταν αρκετά εύκολη, λόγω του ότι δεν υπήρχαν μεγάλες διακυμάνσεις στις διαγραφίες μεταξύ ψαμμίτη και σχιστόλιθου. Στο παρακάτω Διάγραμμα 8.4 παρουσιάζονται οι τιμές των ηχητικών διαδόσεων, σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 8.4: Μεταβολή Sonic travel time σε σχέση με το βάθος

Σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα 8.2 και το Διάγραμμα 8.4, δημιουργήθηκε το Διάγραμμα 8.5 που παρουσιάζει της μεταβολή UCS των σχηματισμών σε σχέση με το βάθος.

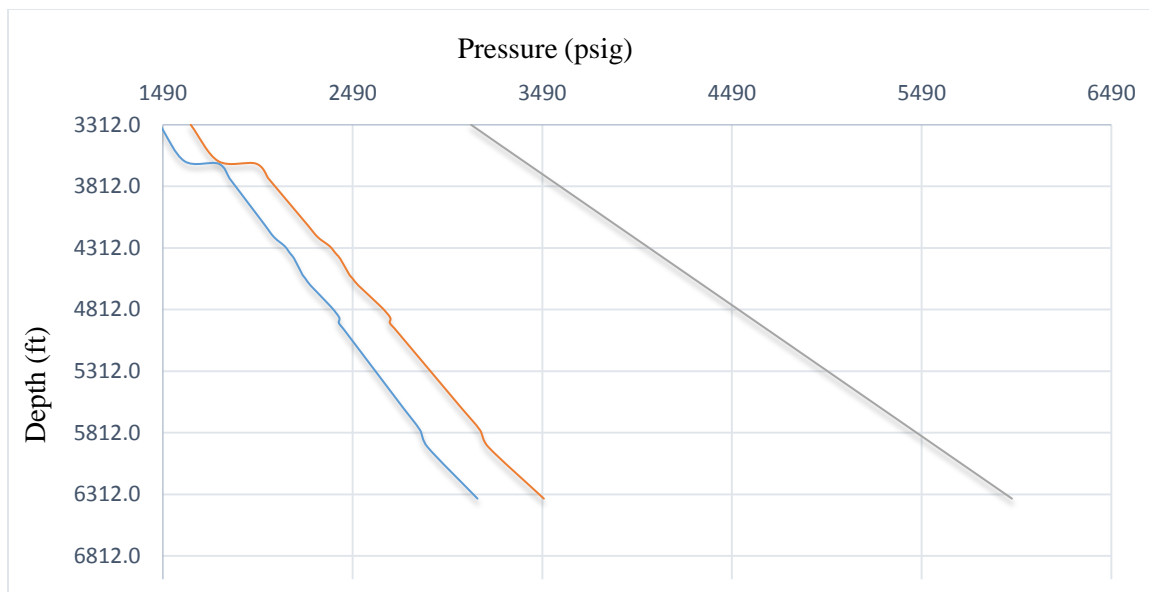


Διάγραμμα 8.5: Μεταβολή UCS σε σχέση με το βάθος

8.3. Πιέσεις στην γεώτρηση

Για την πτώση πίεσης μέσα στην γεώτρηση πάρθηκε σαν σημείο αναφοράς η πίεση που ασκεί η λάσπη καθ' όλη την γεώτρηση και αφαιρέθηκε ένα ποσοστό 10% σε κάθε σημείο για να βρεθεί στο περίπου η πίεση των ρευστών των πόρων. Έτσι σαν βαθμίδα πίεσης χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0,44-0.49 psi/ft. Για την επιλογή των πιέσεων ρωγμάτωσης ο κύριος παράγοντας ήταν τεστ ακεραιότητας που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της γεώτρησης. Τεστ ακεραιότητας πραγματοποιήθηκε στα 2290 m με πυκνότητα λάσπης 1245 kg/m³ με επιφανειακή πίεση 21.000 Kpa, με αποτέλεσμα να προκύψει pressure gradient 0.94 psi/ft άλλα πραγματοποιήθηκε σε ασβεστόλιθο και λόγω του ότι το συγκεκριμένο κομμάτι ψαμμιτών βρίσκεται ανάμεσα σε ασβεστόλιθους και δολομίτες θα έχει την ίδια βαθμίδα ρηγμάτωσης.

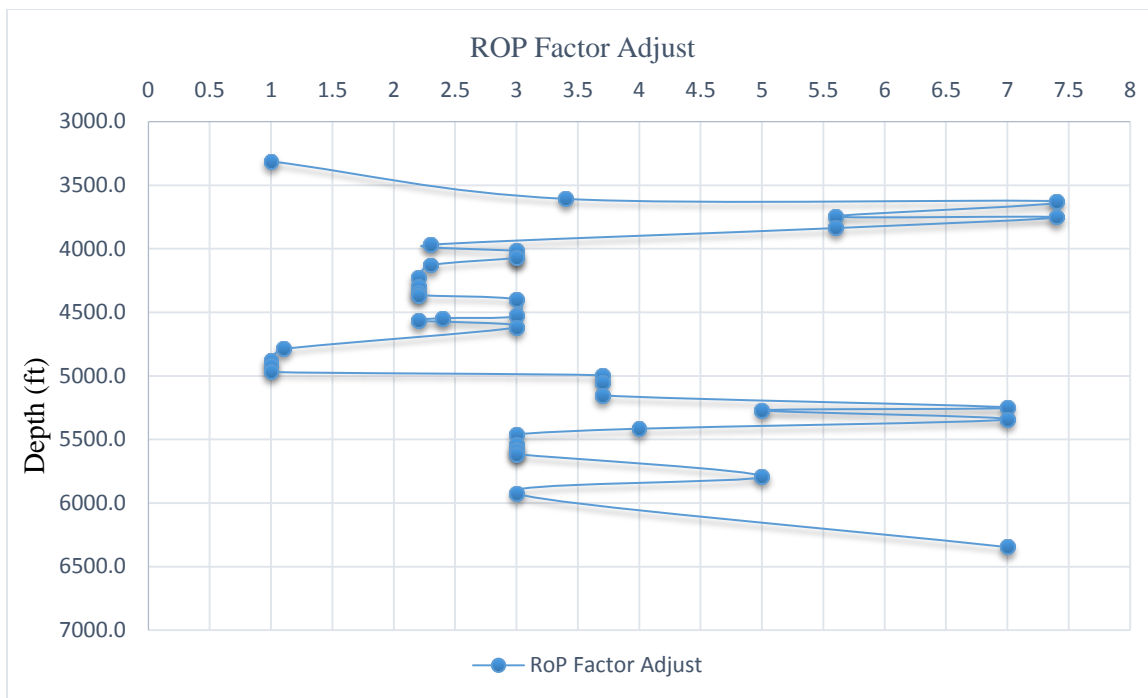
Στο παρακάτω Διάγραμμα 8.6 παρουσιάζονται τα δεδομένα οι πιέσεις της λάσπης, των πόρων και των ρωγματώσεων σε σχέση με το βάθος.



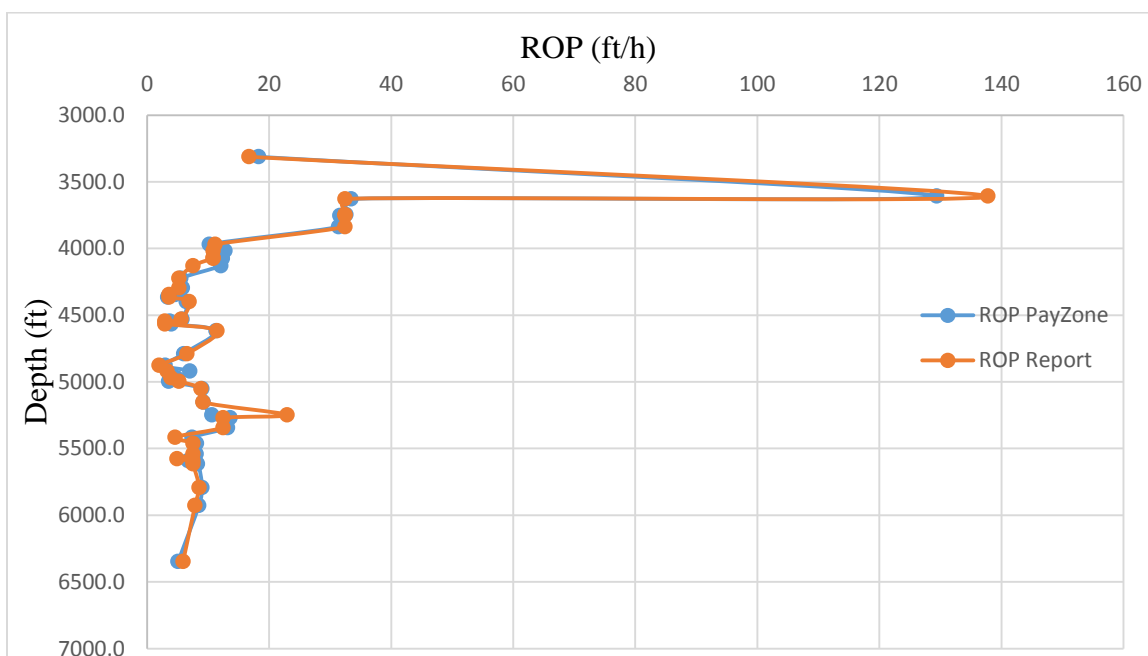
Διάγραμμα 8.6: Προφίλ πτώση πιέσεων

8.4. Αποτελέσματα

Έχοντας έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία επιλογής και εισαγωγής των δεδομένων, επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση της γεώτρησης στο PayZone. Όπως έχει προαναφερθεί η διαδικασία που εκτελείται για την εισαγωγή των δεδομένων για κάθε γεώτρηση είναι η ίδια. Αρχικά έπρεπε να γίνει η απαραίτητη επιλογή του ROP adjust factor για κάθε κοπτικό ούτως ώστε να ταιριάζει και να γίνει πιο αποτελεσματική η προσομοίωση. Λόγω του ότι η γεώτρηση ήταν ερευνητική και το πηγάδι wildcat, ήθελε περισσότερο χρόνο από άλλες γεωτρήσεις η επίτευξη της προσομοίωσης επειδή οι τιμές του ROP ήταν πολύ μικρές και χρειάζονταν περισσότερες επαναλήψεις και προσπάθειες για την καλύτερη προσομοίωση. Σύμφωνα με τα παραπάνω Διαγράμματα 8.1, 8.2, 8.3 δίδονται οι τιμές του ROP factor (Διάγραμμα 8.7) και οι διακυμάνσεις των τιμών του ROP σε σχέση με το βάθος (Διάγραμμα 8.8).

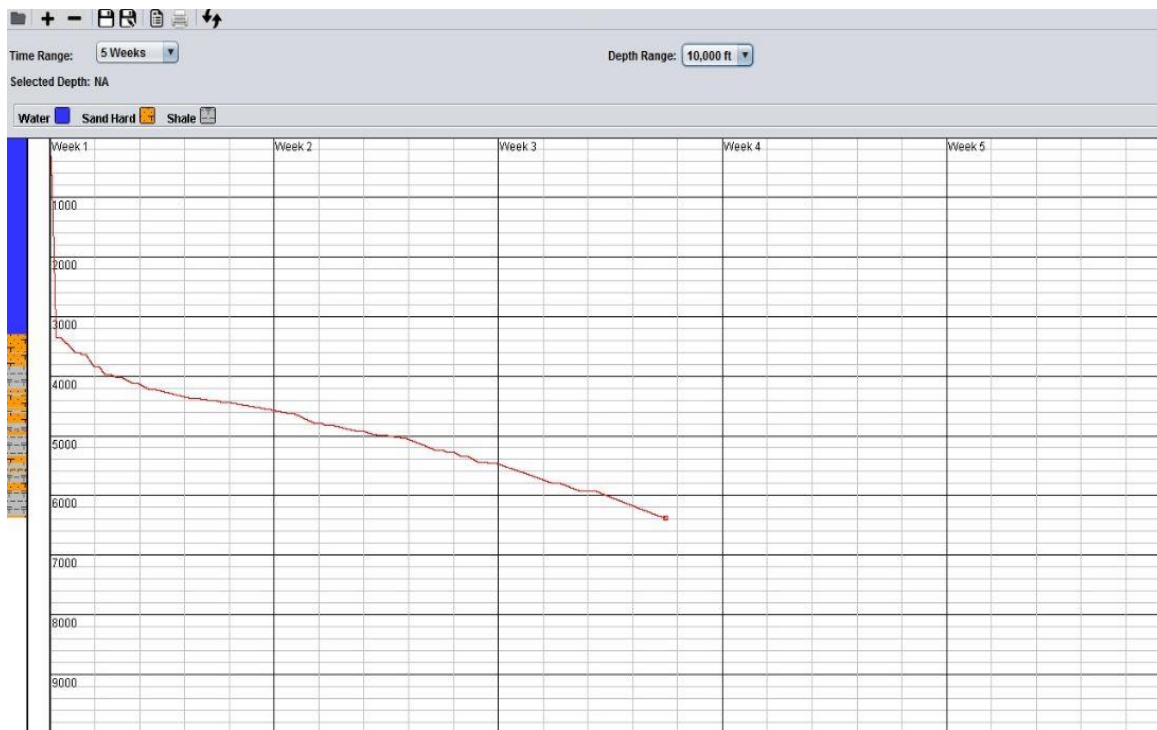


Διάγραμμα 8.7: Μεταβολή ROP factor σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 8.8: ROP εταιρίας και PayZone σε σχέση με το βάθος

Στο παρακάτω Διάγραμμα 8.9 παρουσιάζεται η λιθολογία σε κάθε τμήμα της γεώτρησης και ο χρόνος που χρειάστηκε να υλοποιηθεί.



Διάγραμμα 8.9: Χρόνος γεώτρησης σε σχέση με το βάθος

Κεφάλαιο 9^ο – Δεύτερη σειρά δεδομένων για τα Ψαμμιτικά δεδομένα (Well 3-Section 1)

Τα τελευταία δεδομένα πάρθηκαν από την γεώτρηση της Saga Petroleum[3] που χρησιμοποιήθηκε επίσης και σε παραπάνω κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5^ο).

Το τμήμα αυτό ήταν το ενδιάμεσο τμήμα της γεώτρησης. Το τμήμα που πάρθηκε ήταν από τα 1746 έως 2573 m. Τα κοπτικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν όλα διαμέτρου 12 ¼ ιντσών.

9.1. Δεδομένα της γεώτρησης

Στην συνέχεια σαν πρώτο βήμα, πάρθηκαν τα δεδομένα που είχαν σχέση:

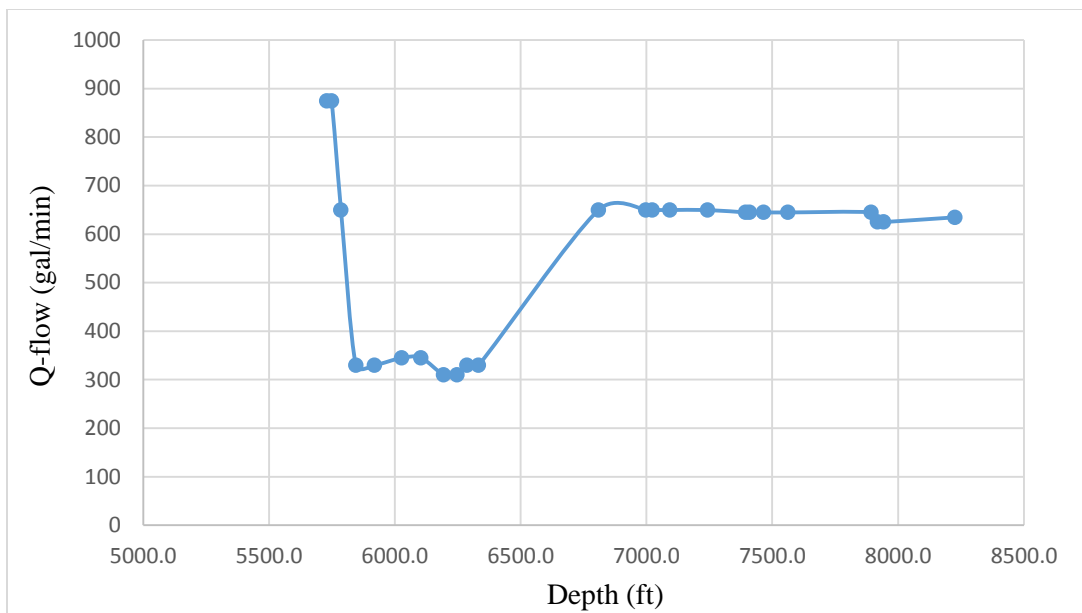
- Με την λιθολογία (Lithology)
- Το πάχος του κάθε στρώματος (Layer thickness)
- Την πυκνότητα της λάσπης (Mud density)
- Την παροχή λάσπης (Q-flow)
- Βάρος στο κοπτικό άκρο (WOB)
- Ταχύτητα περιστροφής (RPM)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9.1) παρουσιάζονται τα παραπάνω δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της γεώτρησης.

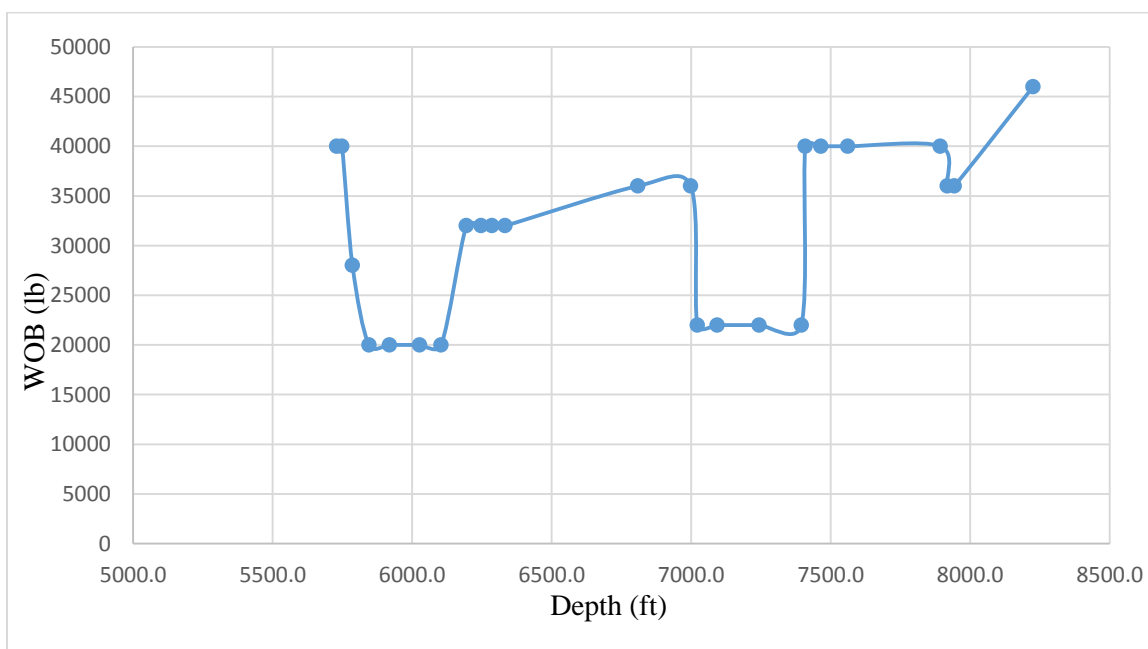
Πίνακας 9.1: Δεδομένα της γεώτρησης

Lithology	Layer Depth (m)	Layer Thickness (m)	Layer Depth (ft)	Layer Thickness (ft)	Mud (ppg)	Q-flow (gal/min)	WOB (lb)	RPM
Sand hard	1746.7	5.8	5729.1	19.1	10.0	874.6992	40000	120
Sand soft	1752.5	12.0	5748.2	39.4	10.0	874.6992	40000	120
Sand soft	1764.0	18.0	5785.9	59.0	9.8	649.686	28000	120
Sand soft	1782.0	22.0	5845.0	72.2	9.8	329.8609	20000	110
Sand hard	1804.6	32.8	5919.1	107.7	9.8	329.8609	20000	110
Sand hard	1837.5	24.0	6027.0	78.7	9.8	344.9146	20000	110
Sand hard	1861.0	27.5	6104.1	90.2	9.8	344.9146	20000	110
Sand hard	1888.5	16.2	6194.3	53.0	9.8	309.7893	32000	110
sand soft	1904.6	12.5	6247.1	41.0	9.8	309.7893	32000	110
Sand soft	1916.5	14.5	6286.1	47.6	10.0	329.8609	32000	110
Sand hard	1930.6	146.0	6332.5	478.9	10.0	329.8609	32000	110
Sand hard	2076.0	56.7	6809.3	186.0	10.0	649.686	36000	80
Sand hard	2133.6	7.4	6998.2	24.3	10.0	649.686	36000	80
SandHard	2141.0	21.6	7022.5	70.7	10.0	649.686	22000	150
Sand hard	2162.6	46.0	7093.3	150.9	10.0	649.686	22000	150
Sand hard	2208.4	46.0	7243.6	150.9	10.0	649.686	22000	150
Claystone	2254.5	4.5	7394.8	14.8	9.7	644.6681	22000	150
Claystone	2259.0	17.0	7409.5	55.8	9.7	644.6681	40000	80
Sand hard	2276.0	29.5	7465.3	96.8	9.7	644.6681	40000	80
Sand hard	2305.5	101.0	7562.0	331.3	9.7	644.6681	40000	80
Sand soft	2406.6	7.5	7893.5	24.6	9.7	644.6681	40000	80
Sand soft	2414.0	7.5	7917.9	24.6	9.7	624.8606	36000	100
Sand hard	2421.7	87.0	7943.2	285.4	9.7	624.8606	36000	80
Sand hard	2508.0	65.0	8226.2	213.2	9.7	634.6323	46000	85
	2573		8493.4					

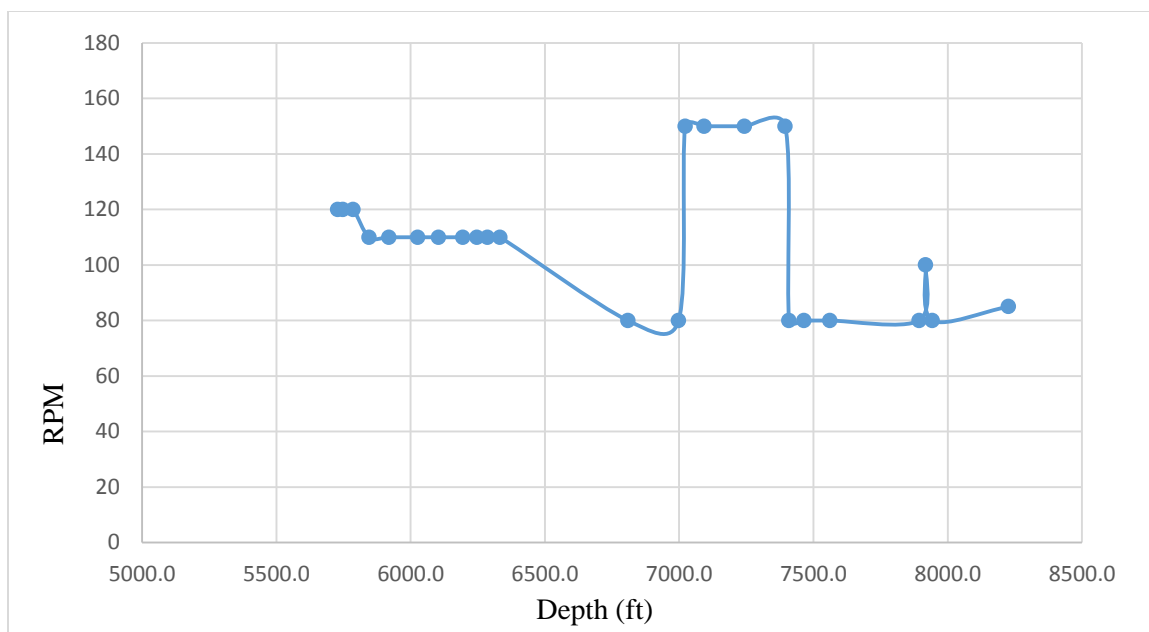
Στα παρακάτω Διαγράμματα 9.1, 9.2, 9.3 παρουσιάζονται οι μεταβολές στις τιμές του Q-flow, WOB και RPM σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 9.1: Μεταβολή Q-flow σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 9.2: Μεταβολή WOB σε σχέση με το βάθος

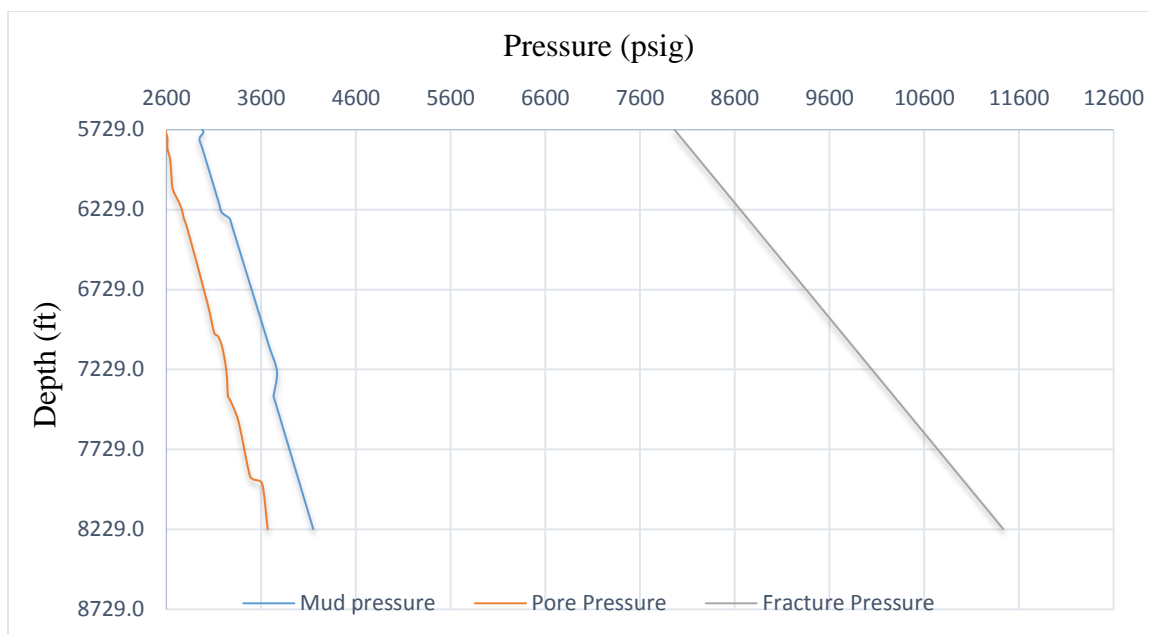


Διάγραμμα 9.3: Μεταβολή RPM σε σχέση με το βάθος

9.3. Πιέσεις στην γεώτρηση

Στην τελική έκθεση της εταιρίας παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα οι πιέσεις των πόρων και της πυκνότητας της λάσπης, συναρτήσει του βάθους. Η πτώση πίεσης που κυμαινόταν από 0,434 έως 0,45 psi/ft σε αυτό το κομμάτι της γεώτρησης. Στην συνέχεια για το fracture pressure, λόγω του ότι δεν δινόντουσαν δεδομένα για τα συγκεκριμένα μέτρα, πάρθηκε σαν σημείο αναφοράς ένα τεστ ακεραιότητας (integrity test). Το integrity test πραγματοποιήθηκε στα 815 m όπου επιφανειακή πίεση 2393 psi εφαρμόστηκε και με πυκνότητα λάσπης 9.3 ppg στα 2648 ft είχε σαν αποτέλεσμα να ασκηθεί συνολική πίεση 3673 psi που αντιστοιχεί σε πτώση πίεσης 1,39 psi/ft και επειδή υπήρχε μια μικρή διαρροή, σαν πτώση πίεσης για τους ψαμμίτες πάρθηκε σαν τιμή το 1,2 psi/ft.

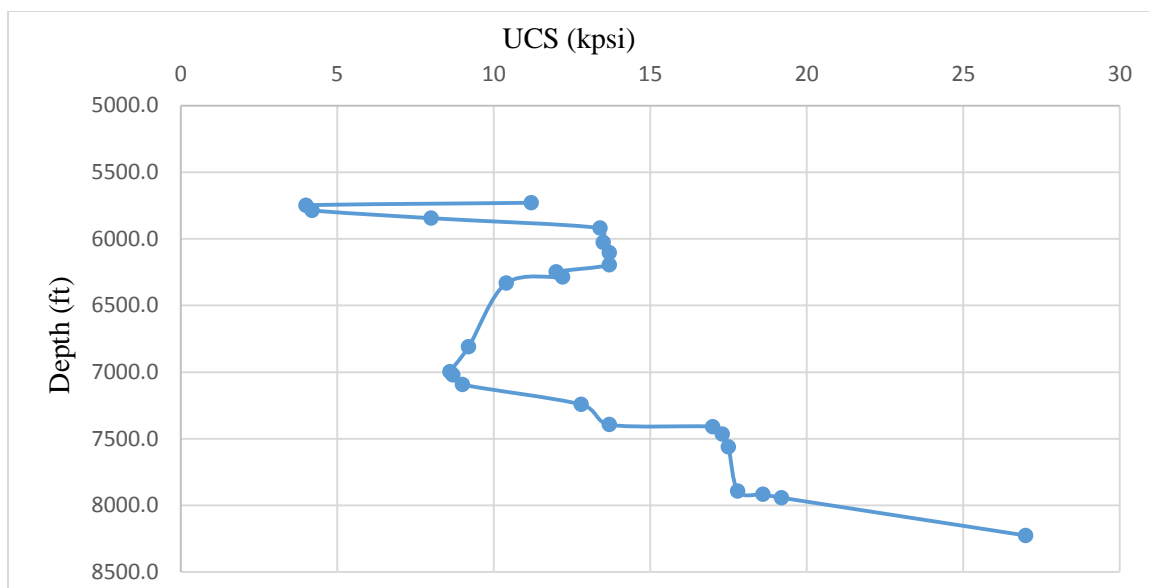
Στο παρακάτω Διάγραμμα 9.4 παρουσιάζονται τα δεδομένα για τις πιέσεις της λάσπης, των πόρων και των ρωγματώσεων σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 9.4: Προφίλ πτώση πιέσεων

9.4. Επιλογή UCS

Η επιλογή των τιμών UCS έγινε εμπειρικά όπως επίσης έγινε και στο Κεφάλαιο 5°. Επίσης δόθηκε προσοχή στους τύπους και στα μοντέλα των κοπτικών άκρων για τα συγκεκριμένα μέτρα, διότι όλες οι εταιρίες που είναι κατασκευαστές κοπτικών άκρων, παρέχουν καταλόγους με τα διαθέσιμα κοπτικά άκρα και σε τι σχηματισμούς χρησιμοποιούνται (μαλακούς/μέτριους/σκληρούς). Στο παρακάτω Διάγραμμα 9.5 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των τιμών UCS σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 9.5: Μεταβολή τιμών UCS με το βάθος

9.5. Κοπτικά άκρα

Στον παρακάτω Πίνακα 9.2, παρουσιάζονται όλα τα κοπτικά άκρα και τα χαρακτηριστικά τους.

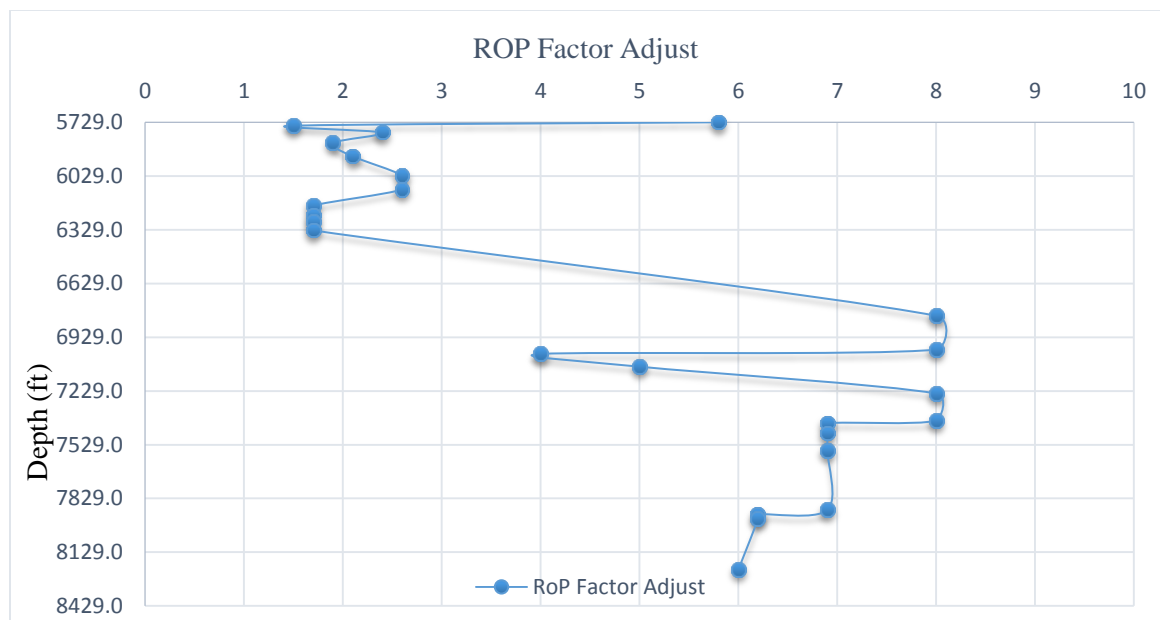
Πίνακας 9. 2: Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν

Depth (ft)	Bit size (in)	Bit Type	Tooth Length	Number of nozzles	Bit Model
5785	12 ¼	MT	Long	3x16	SDGH
5845	12 ¼	PDC	Short	3x16	CD 504
6027	12 ¼	PDC	Short	3x16	CD 504
6104	12 ¼	PDC	Short	3x16	CD 504
6286	12 ¼	PDC	Short	3x16	CB 303
6809	12 ¼	TCI	Long	3x16	J 11
7022	12 ¼	MT	Long	3x16	SDGH
7409	12 ¼	TCI	Long	3x16	F 2
7917	12 ¼	MT	Medium	3x15	SVH
8226	12 ¼	MT	Medium	3x15	SVH

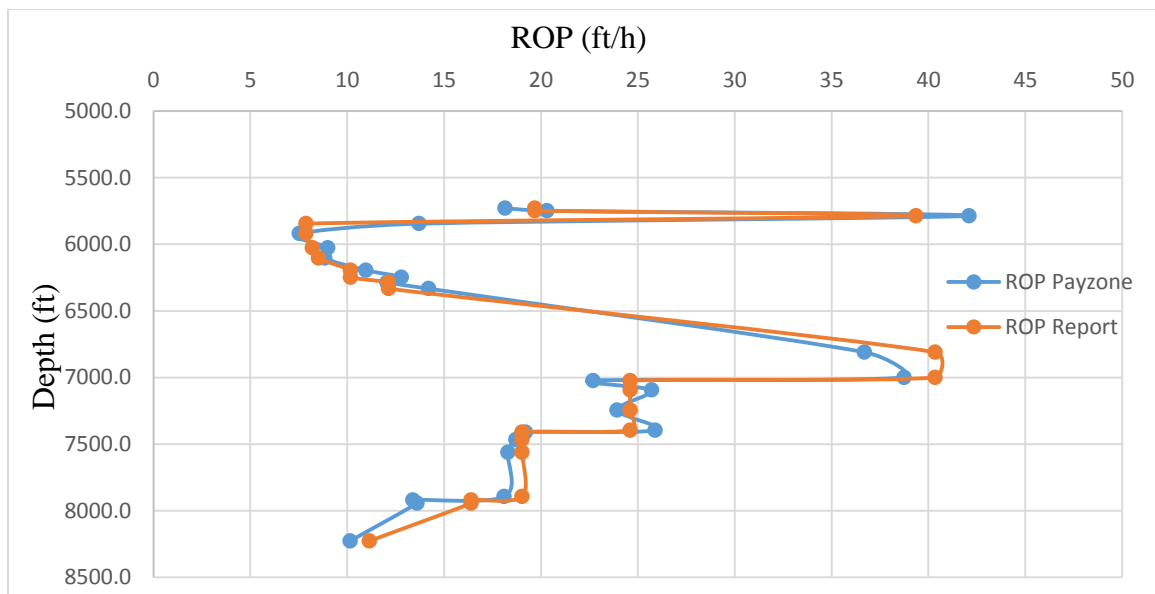
9.6. Αποτελέσματα

Έχοντας έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία επιλογής και εισαγωγής των δεδομένων, επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση της γεώτρησης στο PayZone. Όπως έχει προαναφερθεί η διαδικασία που εκτελείται για την εισαγωγή των δεδομένων για κάθε γεώτρηση είναι η ίδια. Αρχικά έπρεπε να γίνει η απαραίτητη επιλογή του ROP adjust factor για κάθε κοπτικό ούτως ώστε να ταιριάζει και να γίνει πιο αποτελεσματική η προσομοίωση. Η προσομοίωση αυτή ήταν σχετικά πιο εύκολη από όλες τις άλλες λόγω του ότι υπήρχαν ήδη όλα τα δεδομένα και είχε γίνει προσομοίωση της όλης γεώτρησης πιο πριν.

Σύμφωνα με τα παραπάνω Διαγράμματα 9.1, 9.2, 9.3 δίδονται οι τιμές του ROP factor (Διάγραμμα 9.6) και οι διακυμάνσεις των τιμών του ROP σε σχέση με το βάθος (Διάγραμμα 9.7).



Διάγραμμα 9.6: Μεταβολή ROP factor με το βάθος



Διάγραμμα 9.7: ROP εταιρίας και PayZone σε σχέση με το βάθος



Διάγραμμα 9.8: Χρόνος γεώτρησης σε σχέση με το βάθος

Κεφάλαιο 10^ο – Σύγκριση δεδομένων

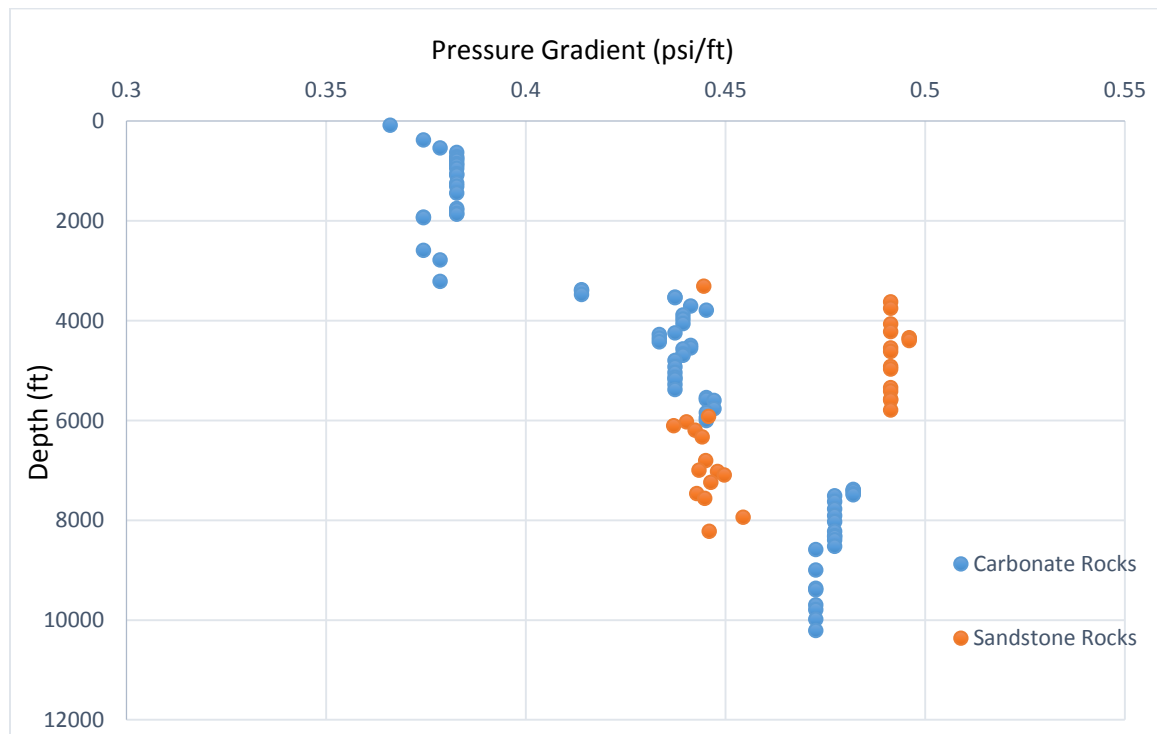
Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι συγκρίσεις και οι διαφορές μεταξύ των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων, σύμφωνα με τα δεδομένα, τους πίνακες και τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στα παραπάνω κεφάλαια με έμφαση στο πως μπορεί να γίνει η προσομοίωση με το λογισμικό PayZone και εάν ο τύπος πετρώματος παρουσιάζει ευκολίες ή δυσκολίες.

10.1. Διαφορές ως το προφίλ πιέσεων

Πίεση ρευστών των πόρων

Στα παραπάνω κεφάλαια, έχουν παρουσιαστεί τα προφίλ πιέσεων και για τα δύο πετρώματα. Αρχικά παρουσιάστηκαν όλες οι πιέσεις σε ένα ενιαίο διάγραμμα και όχι ξεχωριστά. Για να προβληθούν οι διαφορές και οι ομοιότητες πρέπει να παρθούν κάθε πιέσεις ξεχωριστά.

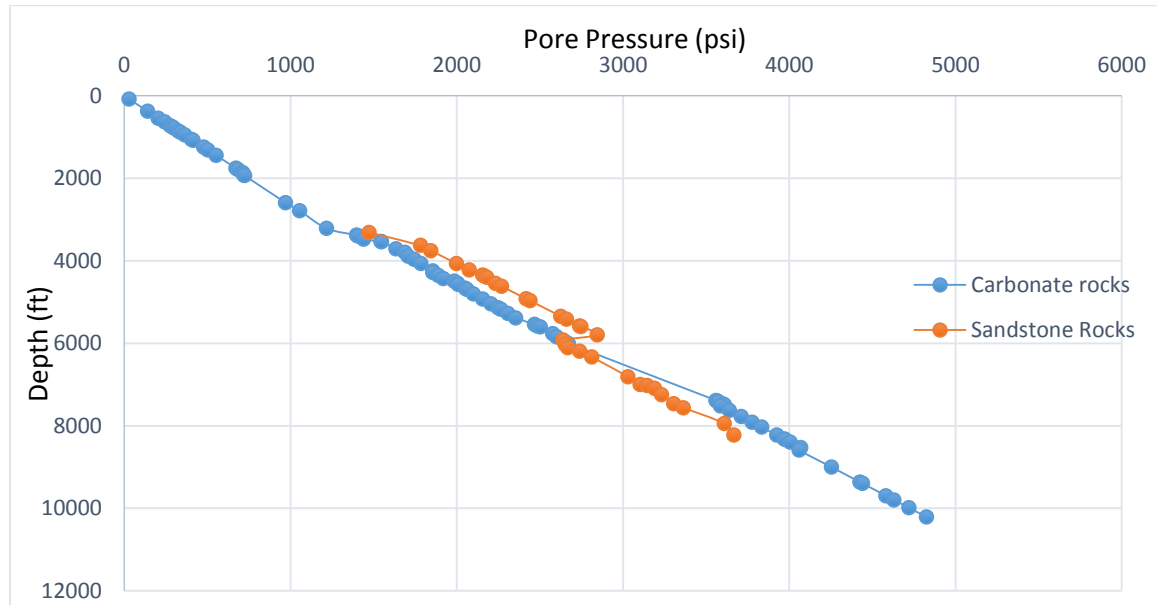
Για τις πιέσεις των ρευστών των πόρων (pore pressure) και για τα δύο πετρώματα αρχικά πρέπει να παρουσιαστούν οι τιμές της πτώσης πίεσης σε σχέση με το βάθος (Διάγραμμα 10.1).



Διάγραμμα 10.1: Μεταβολή της πτώσης πίεσης των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων με το βάθος

Μετά τα 7500 ft υπάρχουν εναλλαγές ασβεστόλιθου με δολομίτη. Η αύξηση στα 0,47 psi/ft οφείλεται στον δολομίτη.

Για να φανούν οι διαφορές και οι ομοιότητες στο παρακάτω Διάγραμμα 10.2 παρουσιάζονται τα προφίλ των pore pressure σε σχέση με το βάθος.



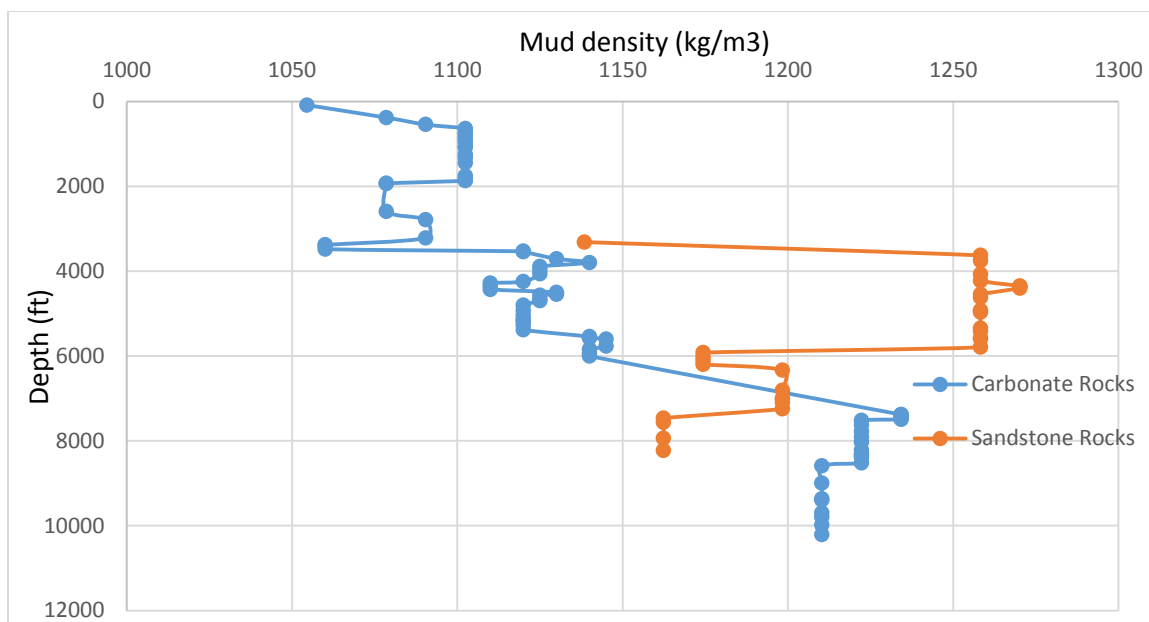
Διάγραμμα 10. 2: Οι διακυμάνσεις της πίεσης των πόρων των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων με το βάθος

Από το διάγραμμα μπορούν να παρθούν τα εξής αποτελέσματα:

- Στα ίδια βάθη ο ψαμμίτης έχει υψηλότερη πίεση ρευστών των πόρων σε σχέση με τον ασβεστόλιθο
- Στα βαθύτερα βάθη, τα ανθρακικά πετρώματα έχουν υψηλότερες πιέσεις πόρων

Πυκνότητα λάσπης

Η πυκνότητα της λάσπης των δύο πετρωμάτων είχε αρκετά μεγάλη διαφορά για τα ίδια βάθη. Το παρακάτω Διάγραμμα 10.3 παρουσιάζει την μεταβολή της πυκνότητας της λάσπης και των δύο πετρωμάτων σε σχέση με το βάθος.



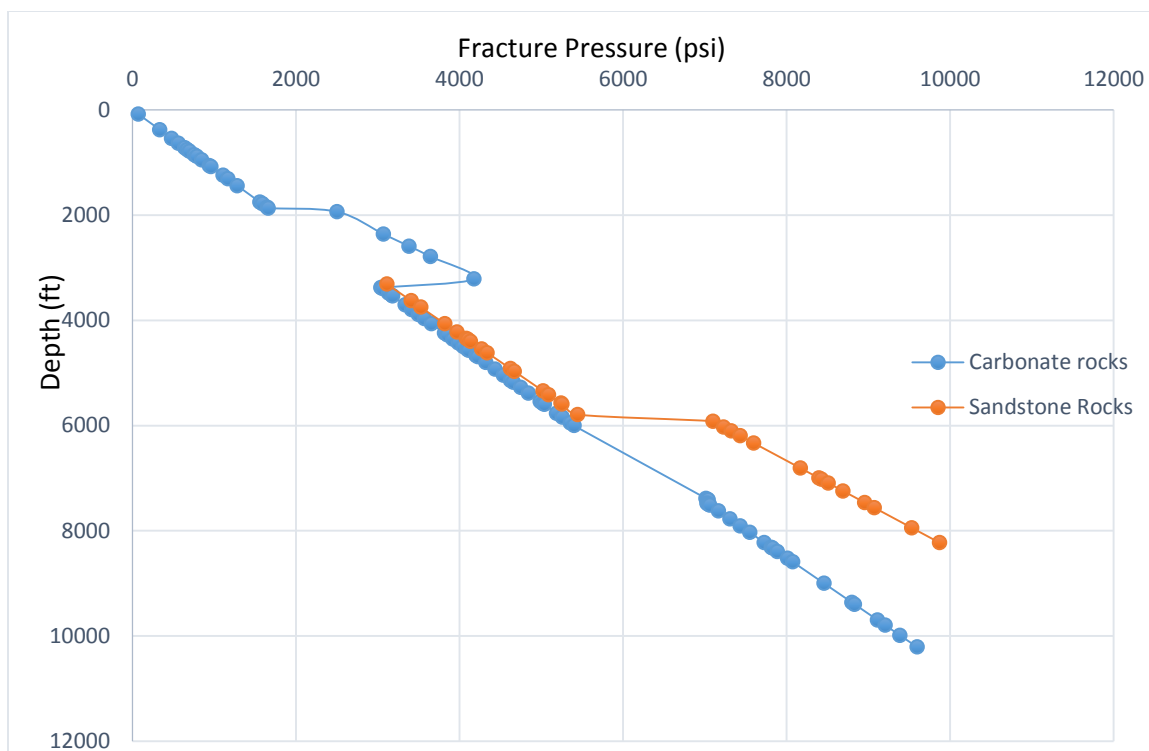
Διάγραμμα 10.3: Οι διακυμάνσεις της πυκνότητας της λάσπης των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων με το βάθος

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα βγαίνουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- η πυκνότητα λάσπης που χρησιμοποιήθηκε για τα ψαμμιτικά πετρώματα, έφτανε σε κάποια σημεία περίπου 150 kg/m³ μεγαλύτερη από αυτή των ανθρακικών πετρωμάτων.
- Η πυκνότητα λάσπης που χρησιμοποιήθηκε για την διάτρηση δολομιτών, είναι μεγαλύτερη από την πυκνότητα λάσπης που χρησιμοποιήθηκε στο ίδιο βάθος για την διάτρηση ψαμμίτη.

Πιέσεις ρωγμάτωσης

Για να προσδιοριστούν οι πιέσεις ρωγμάτωσης των πετρωμάτων (fracture pressures), όπως έχει προαναφερθεί πάρθηκαν τα δεδομένα από τα τεστ ακεραιότητας. Στο παρακάτω Διάγραμμα 10.4 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των τιμών των πιέσεων σε σχέση με το βάθος.



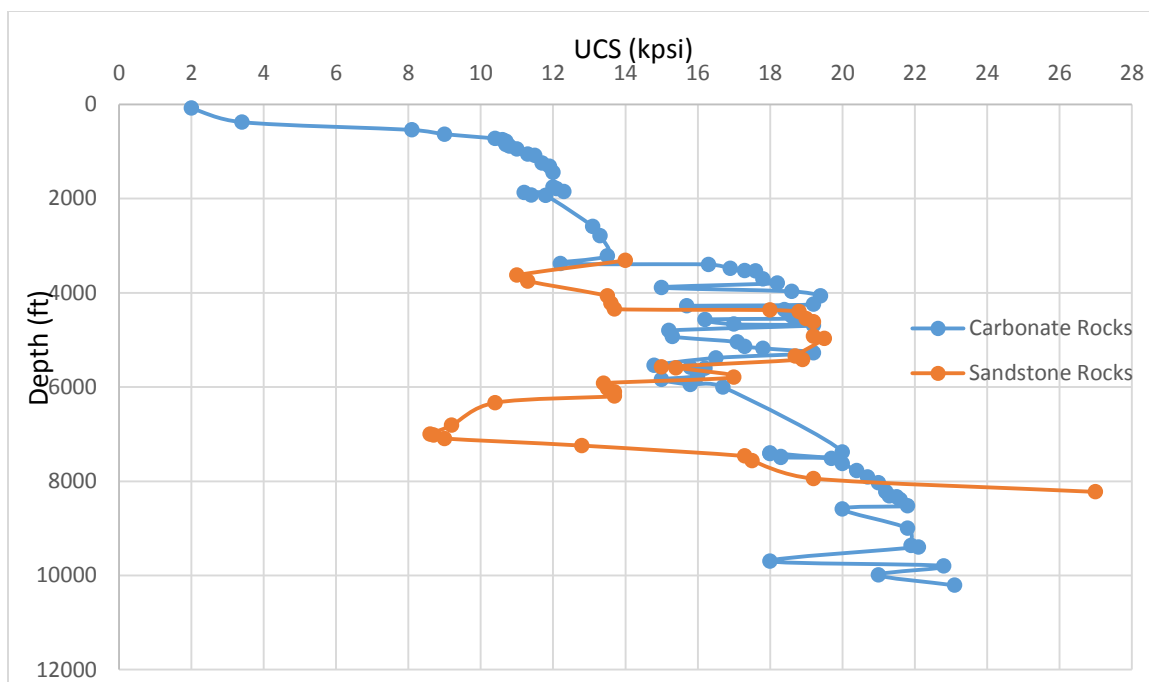
Διάγραμμα 10.4: Οι διακυμάνσεις των πιέσεων ρωγμάτωσης των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων με το βάθος

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

- Σε όλα τα βάθη οι πιέσεις ρωγμάτωσης των πετρωμάτων ήταν μεγαλύτερες για τα ψαμμιτικά πετρώματα.

10.2. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (UCS)

Σύμφωνα με τα δεδομένα για τις τιμές UCS που έχουν παρουσιαστεί στα παραπάνω κεφάλαια για τα ανθρακικά και ψαμμιτικά πετρώματα, στο παρακάτω Διάγραμμα 10.5 παρουσιάζονται οι διαφορές των τιμών UCS των δύο πετρωμάτων.



Διάγραμμα 10.5: Οι διακυμάνσεις της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων με το βάθος

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι:

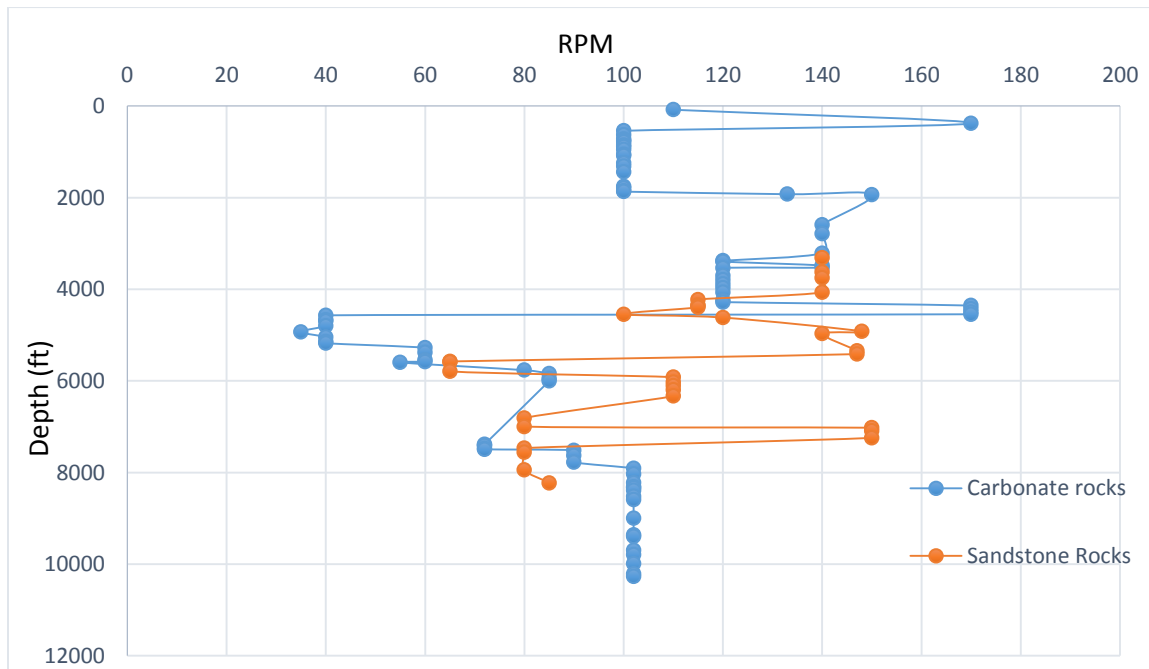
- Ο ασβεστόλιθος είναι κατά προσέγγιση έχει λίγο υψηλότερη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη από τον ψαμμίτη.
- Στα βαθύτερα σημεία, ο δολομίτης ξεπερνάει κατά αρκετά kpsi την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη τον ψαμμίτη.

10.3. Σύγκριση τιμών WOB, RPM, Q-flow

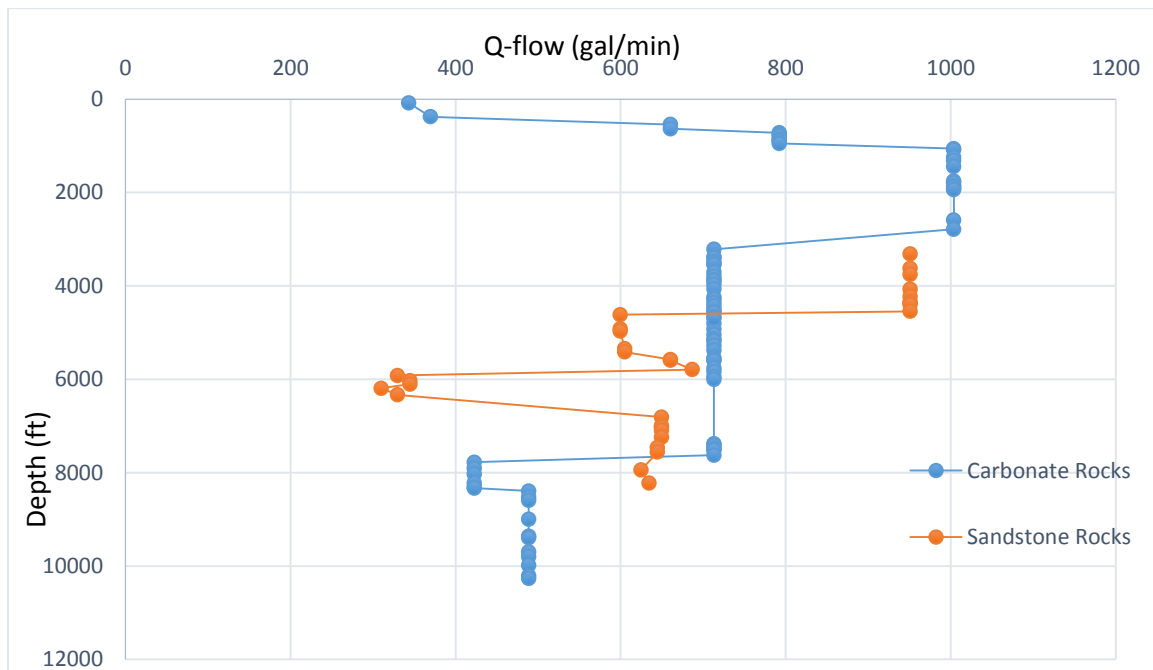
Έχοντας γίνει η παρουσίαση των WOB, RPM και Q-flow και για τα δύο πετρώματα στα παραπάνω κεφάλαια, ακολούθως έπρεπε να πραγματοποιηθεί η σύγκριση τους. Στα παρακάτω Διαγράμματα 10.6, 10.7, 10.8 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των τιμών WOB, RPM, Q-flow των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων συναρτήσει του βάθους.



Διάγραμμα 10.6: Οι διακυμάνσεις του WOB των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων με το βάθος



Διάγραμμα 10.7: Οι διακυμάνσεις των RPM των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων με το βάθος



Διάγραμμα 10.8: Οι διακυμάνσεις του Q -flow των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων με το βάθος

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα οι διαφορές και οι ομοιότητες που προκύπτουν είναι:

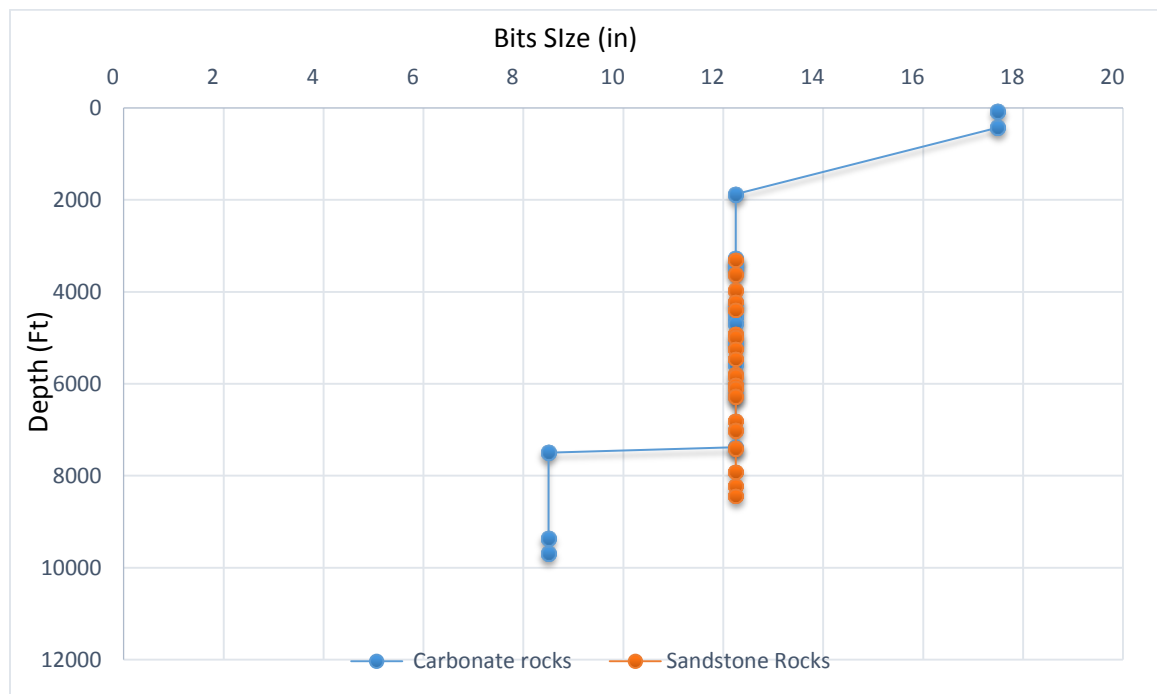
- Οι τιμές του WOB ήταν σχεδόν σε όλα τα βάθη μεγαλύτερες για τα ψαμμιτικά πετρώματα σε αντίθεση με τα ανθρακικά
- Η υψηλότερη τιμή RPM σημειώθηκε στα ανθρακικά πετρώματα, όμως οι τιμές του RPM που χρησιμοποιήθηκαν για να ψαμμιτικά ήταν μεγαλύτερες σε όλα τα βάθη

10.4. Σύγκριση κοπτικών άκρων και των χαρακτηριστικών τους

Για τις διαφορές ή τις ομοιότητες των κοπτικών άκρων που χρησιμοποιήθηκαν για τα ανθρακικά και για τα ψαμμιτικά πετρώματα, πραγματοποιήθηκε σύγκριση ως προς τον τύπο, το μέγεθος, τον κατασκευαστή και τα ακροφύσια που χρησιμοποιήθηκαν.

Μέγεθος κοπτικών άκρων

Λόγω του ότι όλα τα πηγάδια ήταν ερευνητικά, χρησιμοποιήθηκαν κοπτικά μικρότερης διαμέτρου με σχέση αν ήταν γεώτρηση παραγωγής. Τα κοπτικά άκρα ήταν διαμέτρου $17 \frac{1}{2}$ ίντσες, $12 \frac{1}{4}$ ίντσες και $8 \frac{1}{2}$ ίντσες. Στο παρακάτω Διάγραμμα 10.9 παρουσιάζονται οι διάμετροι των κοπτικών άκρων σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 10.9: Οι διακυμάνσεις της διαμέτρου των κοπτικών άκρων σε σχέση με το βάθος

Μέσω του παραπάνω διαγράμματος προκύπτουν τα εξής:

- Τα μεγέθη των κοπτικών άκρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ίδια για όλα τα βάθη εκτός στα 7900 ft όπου στα ανθρακικά πετρώματα έγινε αλλαγή κοπτικού άκρου διαμέτρου $8 \frac{1}{2}$ μέχρι το τέλος της γεώτρησης. Αυτό έγινε διότι μετά από λίγα μέτρα υπήρχε δολομίτης και κοπτικό άκρο μικρότερης διαμέτρου θα είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερο ROP.

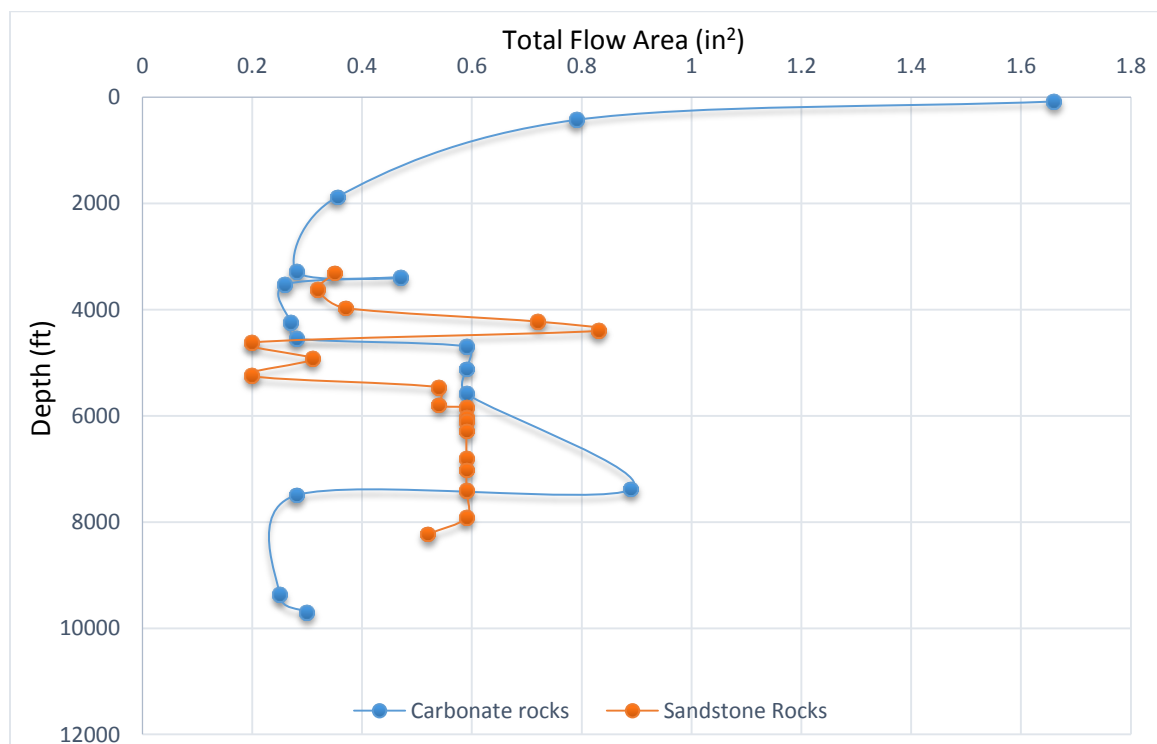
Ακροφύσια

Λόγω του ότι δεν μπορεί να γίνει σύγκριση των ακροφυσίων σαν αριθμός και σαν μέγεθος, θα χρησιμοποιηθεί η Συνολική περιοχή (Total Nozzles Area) των ακροφυσίων στο κοπτικό άκρο. Η Συνολική περιοχή δίδεται από τον τύπο:

$$TFA = \frac{N^2}{1303.8}$$

Όπου N το μέγεθος του ακροφυσίου σε 32nd και το TFA σε in²

Στο παρακάτω Διάγραμμα 10.10 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις του TFA ως προς το βάθος.



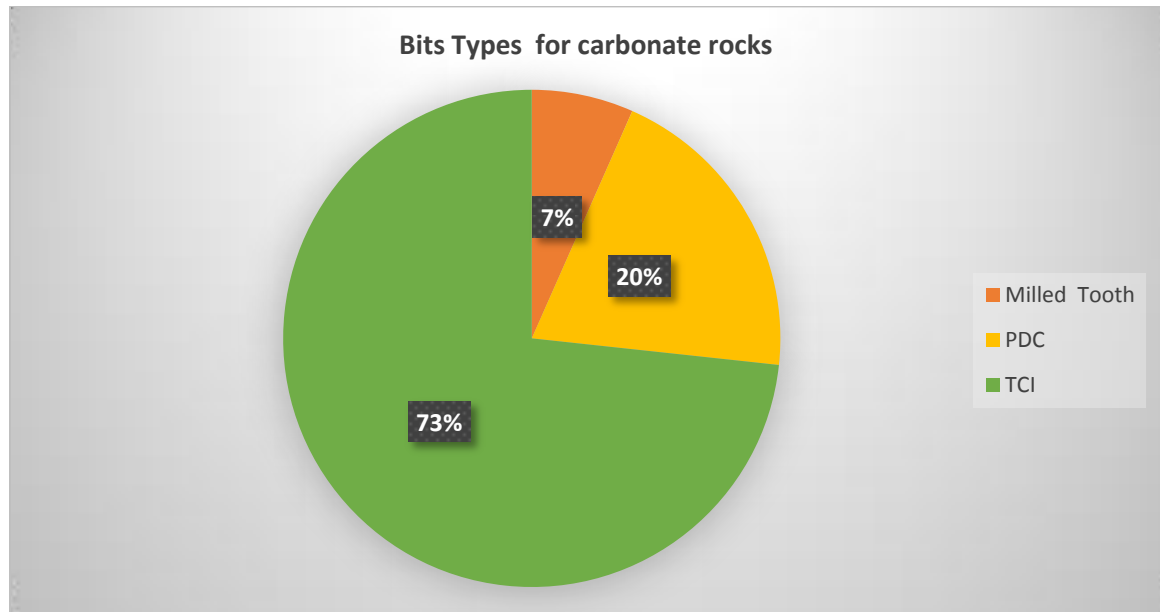
Διάγραμμα 10.10: Μεταβολή TFA με το βάθος

Μέσω του παραπάνω διαγράμματος προκύπτουν τα εξής:

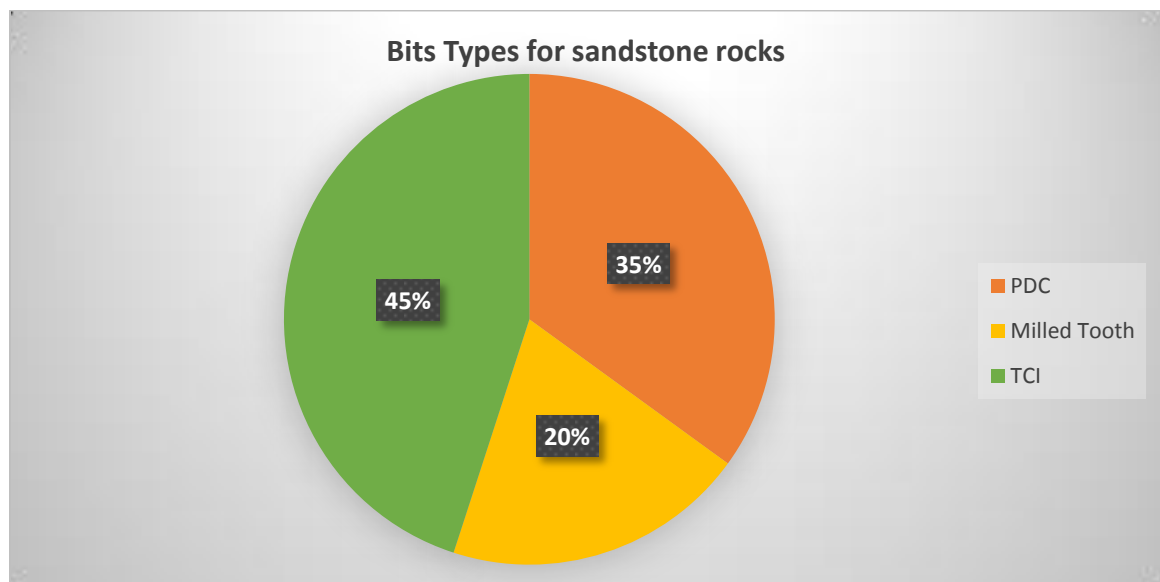
- Στα 4300 ft έως τα 5900 ft η συνολική επιφάνεια των ακροφυσίων των κοπτικών άκρων των ψαμμιτικών πετρωμάτων ήταν μικρότερη σε σχέση με των ανθρακικών και αυτό έχει σχέση με το παραπάνω Διάγραμμα 10.5. Χρησιμοποιήθηκαν ακροφύσια μικρότερης διαμέτρου λόγω του ότι οι τιμές της αντοχής των πετρωμάτων σε μονοαξονική θλίψη ήταν υψηλότερες για τα ψαμμιτικά πετρώματα.

Τύποι και κατασκευαστές κοπτικών άκρων

Οι τύποι των κοπτικών άκρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν TCI, PDC και Milled Tooth και για τα δύο πετρώματα. Στα παρακάτω Διαγράμματα 11.11, 10.12 παρουσιάζονται τα ποσοστά των τύπων κοπτικών άκρων που πήραν μέρος στις γεωτρήσεις.

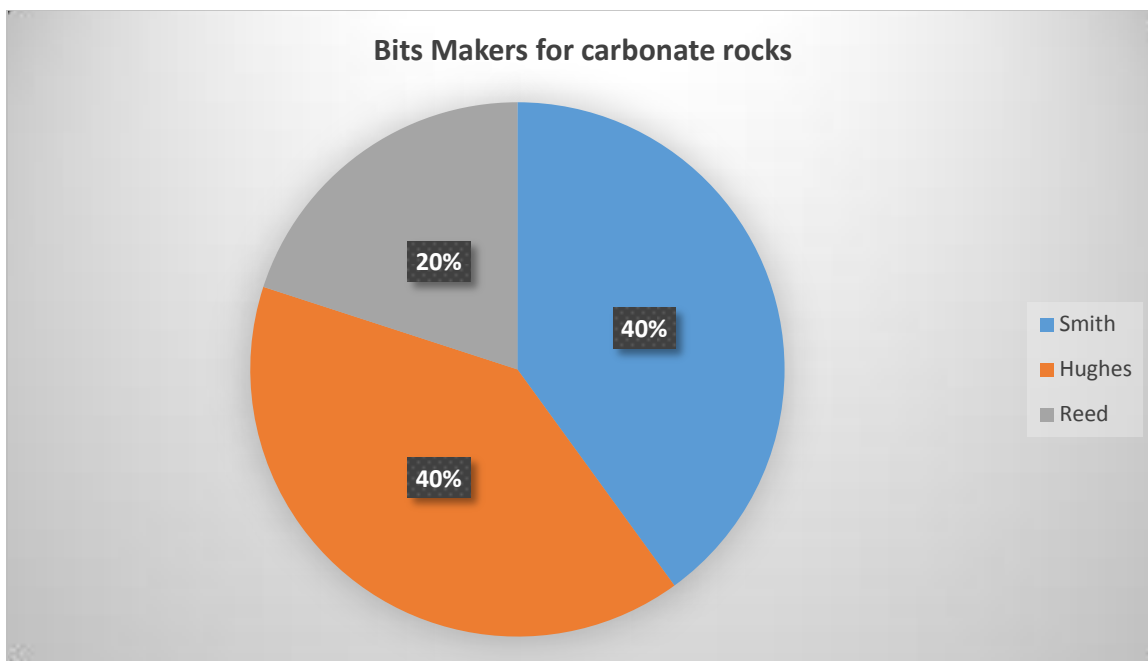


Διάγραμμα 10.11: Τύποι κοπτικών άκρων για τα ανθρακικά πετρώματα

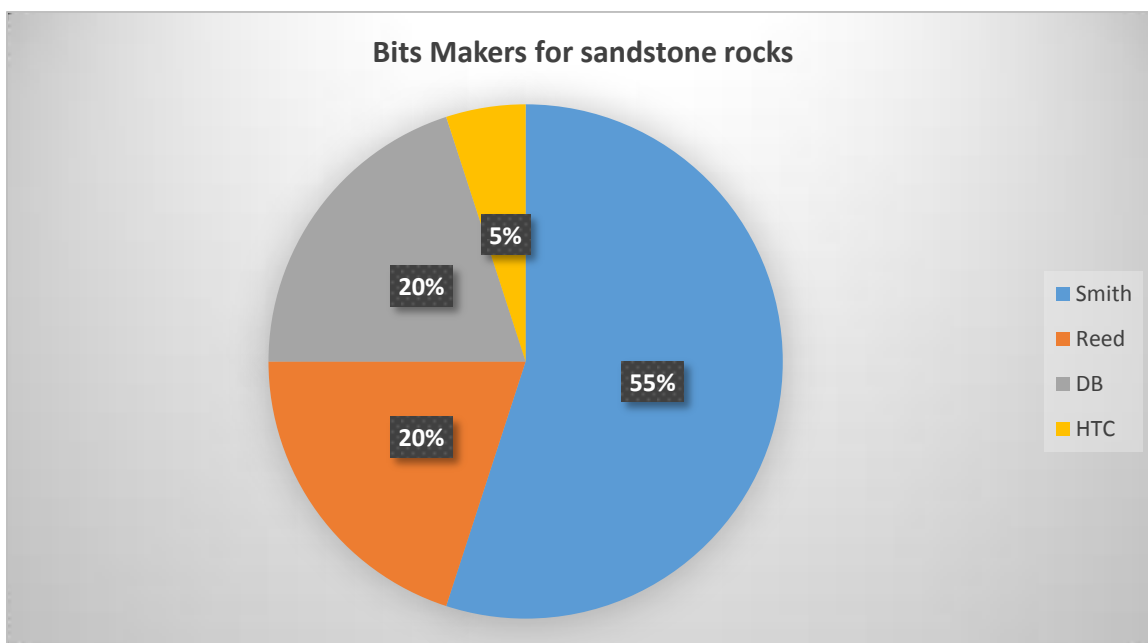


Διάγραμμα 10.12: Τύποι κοπτικών άκρων για τα ψαμμιτικά πετρώματα

Ακολούθως στα Διαγράμματα 10.13 και 10.14 παρουσιάζονται οι κατασκευαστικές εταιρίες των κοπτικών άκρων.



Διάγραμμα 10.13: Κατασκευαστές των κοπτικών άκρων για τα ανθρακικά πετρώματα



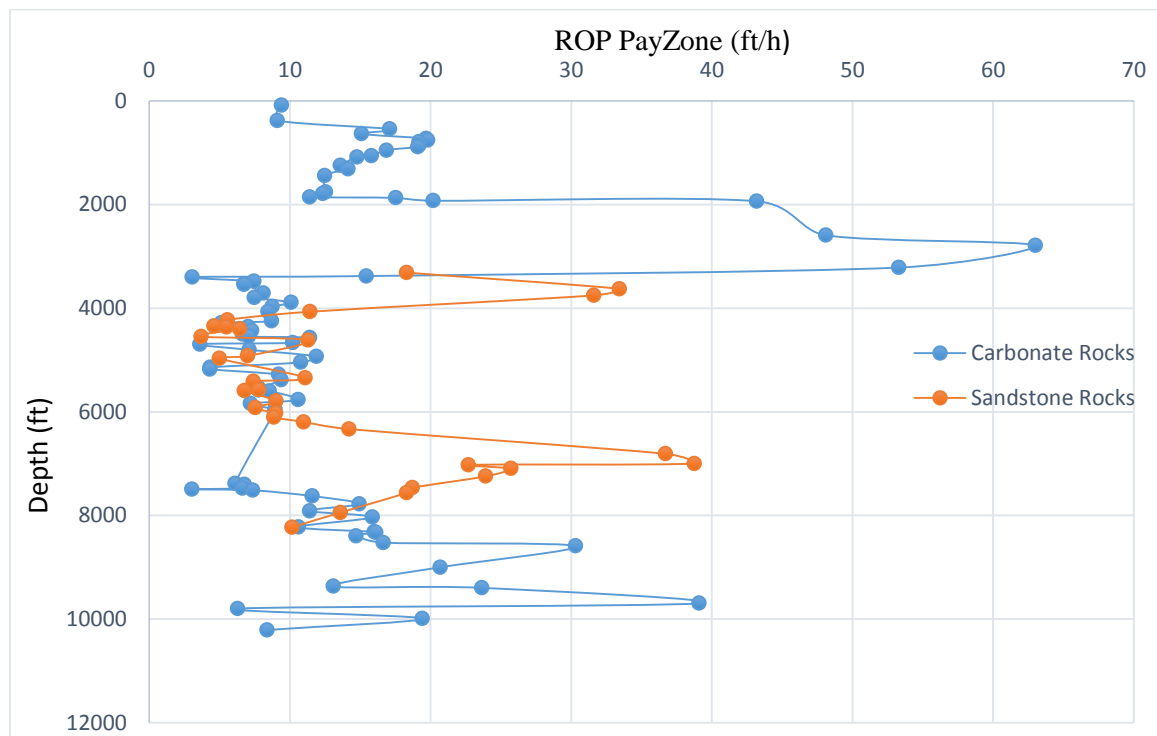
Διάγραμμα 10.14: Κατασκευαστές των κοπτικών άκρων για τα ψαμμιτικά πετρώματα

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτουν τα εξής:

- Τα TCI κοπτικά άκρα χρησιμοποιήθηκαν σε μεγαλύτερο ποσοστό στα ανθρακικά πετρώματα σε σχέση με τα ψαμμιτικά.
- Τα PDC κοπτικά άκρα χρησιμοποιήθηκαν σε μεγαλύτερο ποσοστό στα ψαμμιτικά πετρώματα σε σχέση με τα ανθρακικά που είχαν μικρότερο ποσοστό.
- Σε μεγάλο βαθμό για την διάτρηση των πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν κοπτικά Smith, Reed. Επίσης για τα ανθρακικά πετρώματα χρησιμοποιήθηκαν και Hughes όπως αντίθετως HTC και DB για τα ψαμμιτικά πετρώματα.

10.5. Σύγκριση ROP και ROP factor

Σαν τελευταίο κομμάτι σύγκρισης των δύο πετρωμάτων, ήταν οι τιμές του ρυθμού διάνοιξης (ROP) και τα διαγράμματα του ROP factor. Το ROP που θα χρησιμοποιηθεί για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων είναι το ROP που προέκυψε από το PayZone όπως επίσης και το διάγραμμα ROP factor. Στο παρακάτω Διάγραμμα 10.9, παρουσιάζονται οι μεταβολές των τιμών του ROP και για τα δύο πετρώματα συναρτήσει του βάθους.

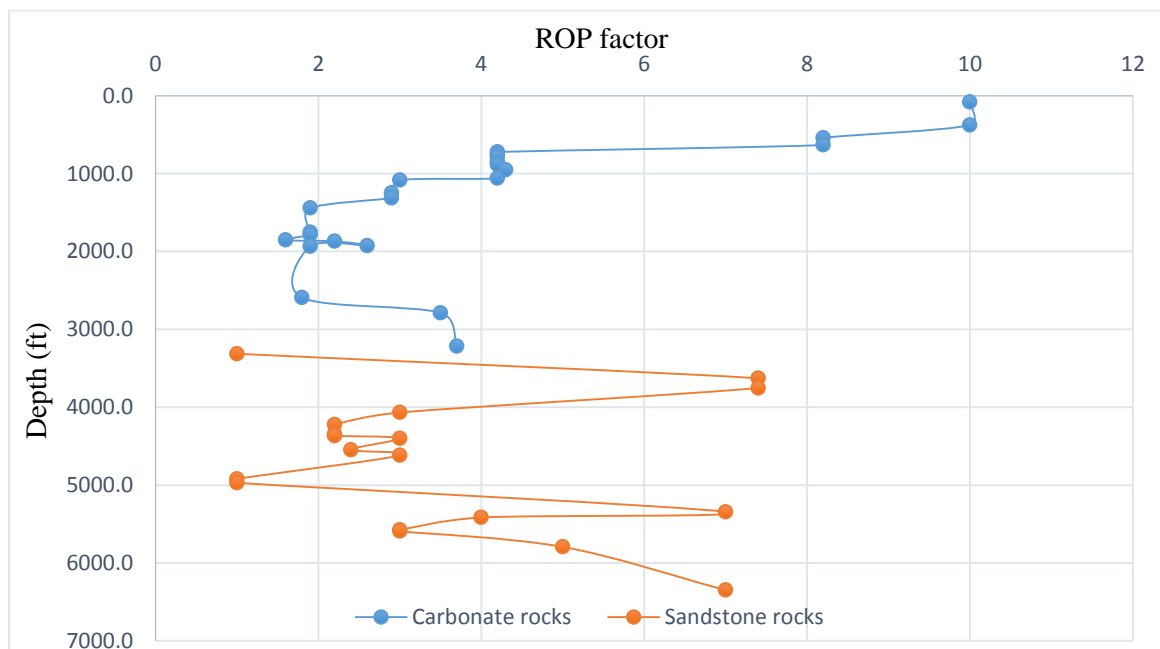


Διάγραμμα 10.15: Οι διακυμάνσεις του ROP των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων με το βάθος

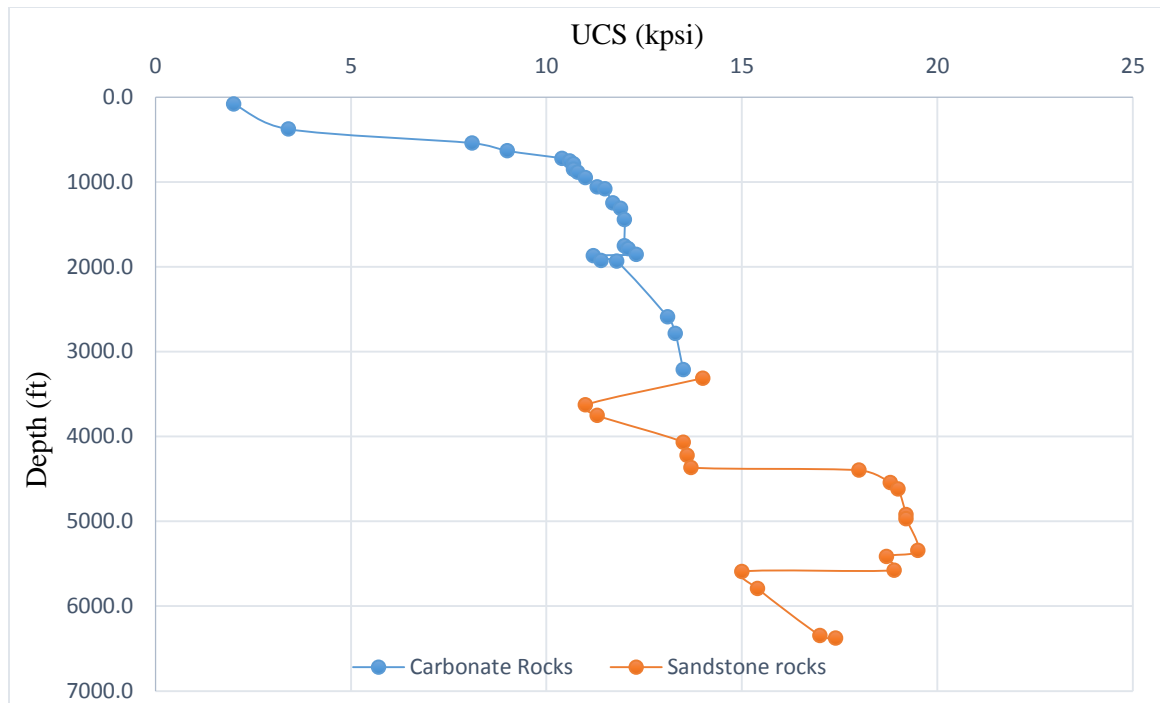
Από το παραπάνω Διάγραμμα προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

- Μέχρι τα 6000 ft όπου το ανθρακικό πέτρωμα είναι ασβεστόλιθος, οι τιμές του ROP συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με αυτές των ψαμμιτικών πετρωμάτων.
- Μετά τα 6500 ft όπου η λιθολογία των ανθρακικών πετρωμάτων είναι ασβεστόλιθος και δολομίτης, οι τιμές του ROP είναι μικρότερες με σχέση των ανθρακικών πετρωμάτων στα περισσότερα σημεία λόγω υψηλότερης αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.

Για να συγκριθούν πιο αποτελεσματικά οι τιμές του ROP factor για τα δύο πετρώματα, αρχικά θα παρθούν οι τιμές του ROP factor των ανθρακικών πετρωμάτων από το Well 1 – Section 1 που αναφέρεται από τα 82 – 3280 ft και των ψαμμιτικών πετρωμάτων από την ίδια γεώτρηση (Well 1 – Section 2) από τα 3312 – 6376 ft. Στο παρακάτω Διάγραμμα 10.16 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των τιμών του ROP factor για τα δύο πετρώματα. Για να γίνουν όμως οι τιμές το ROP factor πιο κατανοητές θα πρέπει να παρουσιαστούν και με τις τιμές UCS των πετρωμάτων που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 10.17.



Διάγραμμα 10.16: Οι διακυμάνσεις των τιμών του ROP factor των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων του Well 1 σε σχέση με το βάθος



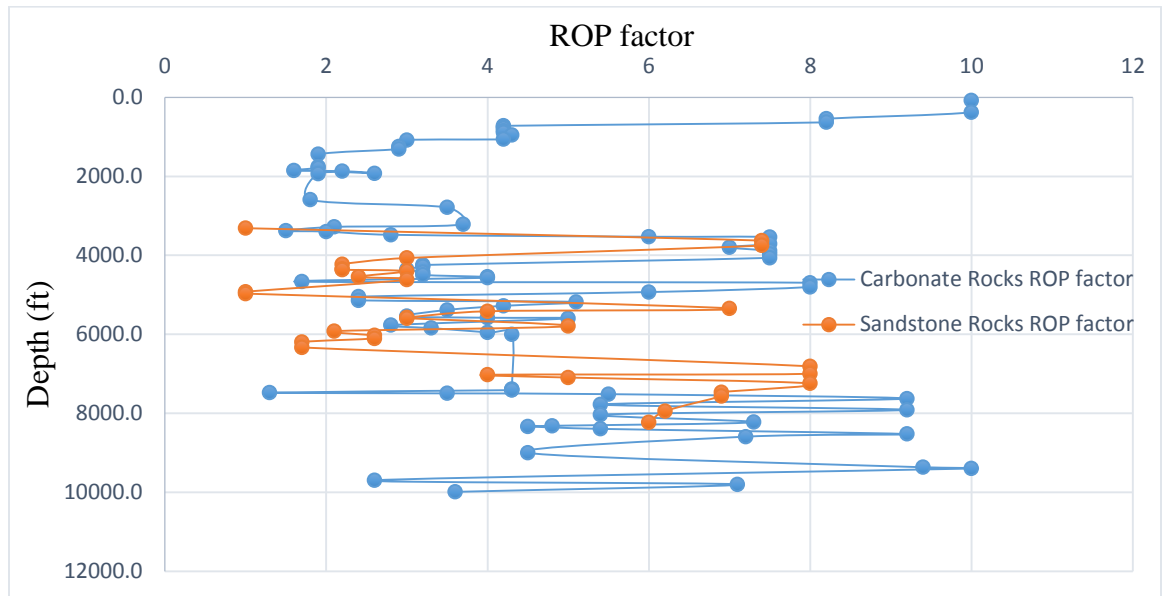
Διάγραμμα 10.17: Οι διακυμάνσεις των τιμών UCS των ανθρακικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων για το Well 1 σε σχέση με το βάθος

Από τα παραπάνω διαγράμματα πάρθηκαν τα εξής συμπεράσματα:

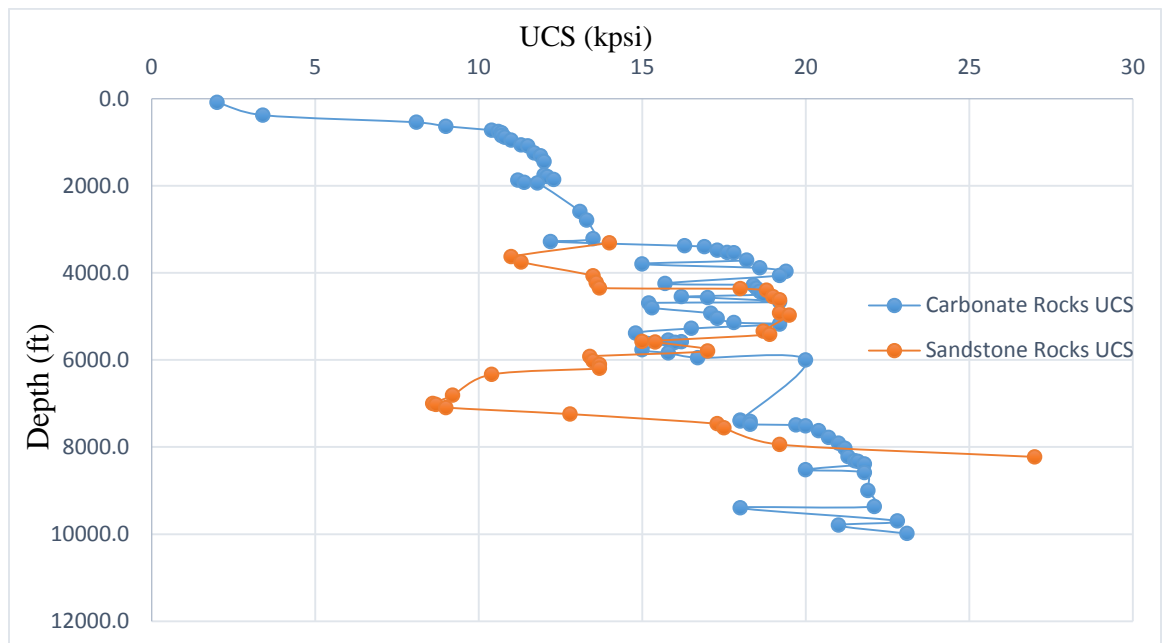
- Όταν υπάρχει αύξηση του UCS, το ROP factor μειώνεται διότι υψηλότερες τιμές UCS σημαίνει μικρότερο ROP, με αποτέλεσμα να χρειάζεται μικρότερη τιμή του ROP factor για να γίνει η αντιστοίχιση με το ROP της εταιρίας.
- Μολονότι δεν αναφερόμαστε στα ίδια βάθη, φαίνεται ότι για να γίνει επίτευξη μιας καλής προσομοίωσης, εισάγουμε τιμή ROP factor 2 - 5 για όλα ενώ μέγιστες τιμές φτάνουν το 10 για τα ανθρακικά πετρώματα σε αντίθεση με τα ψαμμιτικά που είναι το 7.

10.6. Σύγκριση υλοποίησης προσομοίωσης με PayZone ανθρακικά – ψαμμιτικά

Για να παρουσιαστούν οι διαφοροποιήσεις ως προς το ROP factor θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα διάγραμμα που να περιλαμβάνει όλα τα Wells και τα Sections μαζί. Στο παρακάτω Διάγραμμα 10.18 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις του ROP factor και για τα δύο πετρώματα και στο Διάγραμμα 10.19 οι τιμές του UCS σε σχέση με το βάθος.



Διάγραμμα 10.18: Μεταβολή ROP factor σε σχέση με το βάθος για τα ανθρακικά και ψαμμιτικά πετρώματα



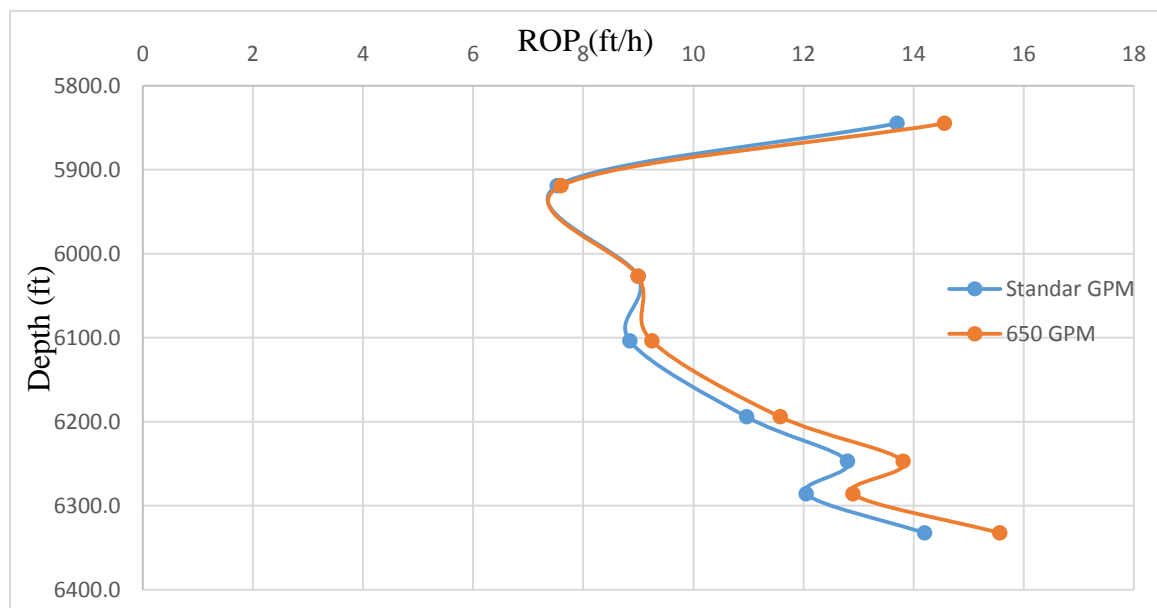
Διάγραμμα 10.19: Μεταβολή UCS σε σχέση με το βάθος για τα ανθρακικά και ψαμμιτικά πετρώματα

Από όλα τα Wells και τα Sections, το κομμάτι που ήταν το πιο δύσκολο στην προσομοίωση ήταν το Well 2 - Section 1 που είναι το ενδιάμεσο κομμάτι της γεώτρησης και αναφέρετε στα

ανθρακικά πετρώματα. Συνδυάζε υψηλές τιμές UCS με χαμηλές τιμές ROP και αυτό καθιστά πιο δύσκολη και χρονοβόρα την επιλογή του ROP factor. Επίσης χρειάστηκε να διαχωριστεί η λιθολογία σε περισσότερα κομμάτια διότι υπήρξαν αρκετές αλλαγές κοπτικών άκρων για αυτά τα 942 m και πάρα πολλές διακυμάνσεις των τιμών ROP. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρειαστεί να γίνει όλη η διαδικασία της γεώτρησης πολλές φορές για να γίνει η προσομοίωση όσο το δυνατό παρόμοια με την γεώτρηση της εταιρίας.

10.7. Βελτιστοποίηση της γεώτρησης Well 3 – Section 1

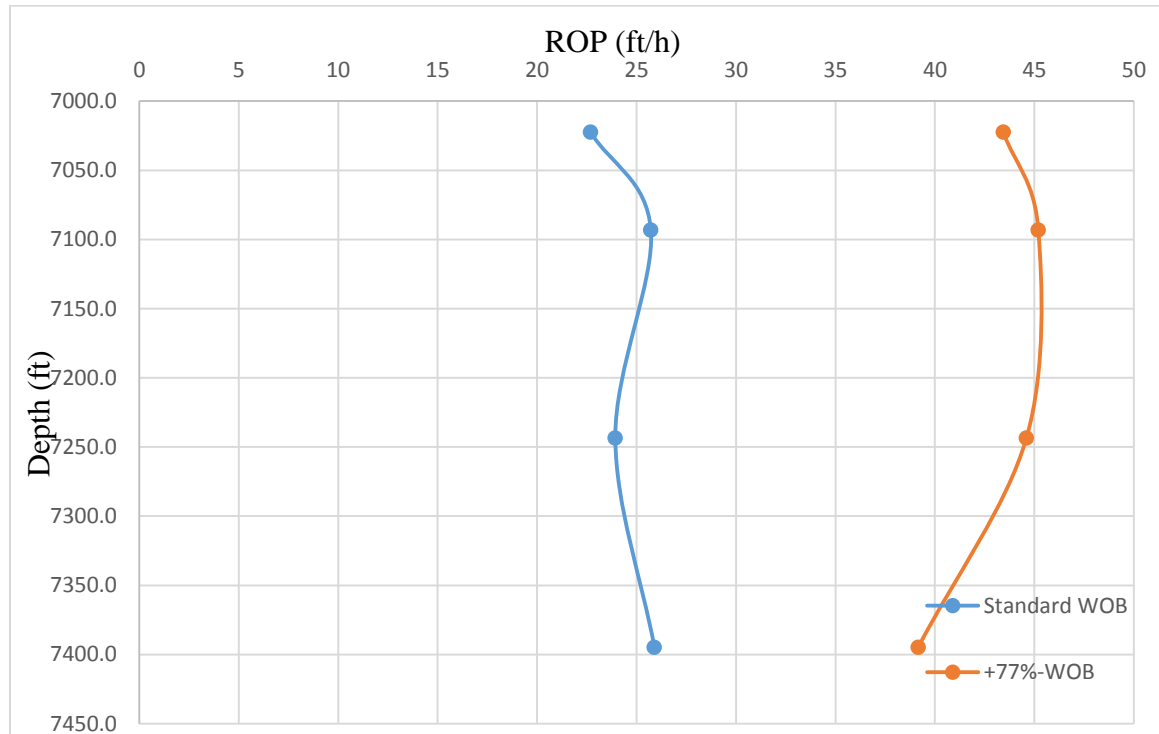
Στην παρούσα γεώτρηση στα 5845 – 6809 ft έγινε μείωση της παροχής της λάσπης στα 320 – 350 GPM. Έχοντας όλες τις άλλες παραμέτρους άθικτες, γίνεται αύξηση της παροχής στα 650 GPM για να δούμε εάν υπάρχει βελτιστοποίηση του ρυθμού διάνοιξης. Στο παρακάτω Διάγραμμα 10.20 παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ των ρυθμών διάνοιξης.



Διάγραμμα 10.20: Σύγκριση των τιμών ROP για αυξημένη παροχή

Τα συμπεράσματα του παραπάνω διαγράμματος είναι ότι επειδή υπήρχε μια πολύ μικρή αύξηση του ROP σχεδόν αμελητέα, βγήκε το συμπέρασμα ότι τα 320 – 350 GPM παροχή ήταν ήδη αρκετά έτσι ώστε να υπάρχει αποτελεσματική απομάκρυνση των θραυσμάτων από των πυθμένα της γεώτρησης.

Επίσης για το κομμάτι 7022 – 7409 ft της ίδιας γεώτρησης υπήρξε σημαντική μείωση του WOB με τιμή 22.000 lb. Έχοντας πάλι όλες τις άλλες παραμέτρους άθικτες, γίνεται αύξηση του WOB + 77% που ισούται με 40.000 lb για να δούμε εάν υπάρχει βελτιστοποίηση του ρυθμού διάνοιξης. Στο παρακάτω Διάγραμμα 10.21 παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ των ρυθμών διάνοιξης.



Διάγραμμα 10.21: Μεταβολή του ρυθμού διάνοιξης με αύξηση του WOB

Με αύξηση του WOB κατά 77% παρουσιάζεται μια πολύ υψηλή αλλαγή ως προς τον ρυθμό διάνοιξης που φτάνει και την διπλάσια τιμή με σχέση πριν. Η χαμηλή επιλογή τιμής του WOB μπορεί να οφείλεται στο ότι η γεώτρηση είναι wildcat well και ήθελαν χαμηλότερες τιμές WOB για να έχουν μικρότερο ROP για ασφάλεια για αν υπάρξει εισροή ρευστών στην γεώτρηση (kick) να προλάβουν να κάνουν τις απαραίτητες ενέργειες για να μην υπάρξει Blow Out.

10.7. Συμπεράσματα

- Το λογισμικό PayZone μπορεί με επιτυχία να προσομοιώσει γεωτρήσεις που η λιθολογία τους αποτελείται κυρίως ανθρακικά και ψαμμιτικά πετρώματα.
- Επαληθεύεται και μέσω των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιηθεί μια γεώτρηση, ότι τα ανθρακικά πετρώματα έχουν υψηλότερη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σε σχέση με τα ψαμμιτικά.
- Για την υλοποίηση γεωτρήσεων σε ανθρακικά πετρώματα χρησιμοποιούνται λιγότερα κοπτικά άκρα σε αντίθεση με τα ψαμμιτικά πετρώματα. Επίσης χρησιμοποιούνται δύο PDC κοπτικά άκρα στα ασβεστολιθικά πετρώματα και επτά για τα ψαμμιτικά.
- Οι πιέσεις ρωγμάτωσης είναι υψηλότερες στα ψαμμιτικά πετρώματα σε αντίθεση με τα ανθρακικά.
- Οι πυκνότητες της λάσπης που χρησιμοποιήθηκαν για να διατηρηθούν τα ψαμμιτικά πετρώματα, ήταν σχεδόν σε όλα τα βάθη υψηλότερη σε σχέση με τα ανθρακικά.
- Το PayZone σαν λογισμικό δίνει την δυνατότητα στο άτομο να κατανοήσει καλύτερα η διαδικασία υλοποίησης της γεώτρησης και βοηθάει να γίνουν πιο αντιληπτοί οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να γίνει η γεώτρηση. Είναι εφικτό να μπορέσει να γίνει κατανοητό πώς οι διακυμάνσεις των τιμών WOB, RPM, Q-flow, mud density και τα κοπτικά άκρα μπορούν να επηρεάσουν τον ρυθμό διάνοιξης.
- Είναι πολύ καλό εργαλείο ως προς την βελτιστοποίηση των γεωτρήσεων διότι έχοντας έχει γίνει προσομοίωση μιας γεώτρησης, γεώτρηση έπειτα είναι εφικτό να αλλάξεις τις τιμές στις παραμέτρους ούτως ώστε να παρουσιαστεί ένα καλύτερο μοντέλο της συγκεκριμένης γεώτρησης.

10.8. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Μέσα από τη εργασία και από τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάστηκαν και μελετήθηκαν προέκυψαν περαιτέρω ιδέες για έρευνα.

- Προτείνεται η περαιτέρω έρευνα των διαφορών ως προς την διατρησιμότητα των πετρωμάτων αλλά με δεδομένα από περισσότερες γεωτρήσεις.
- Να δίδονται από την εταιρία που πραγματοποίησε την γεώτρησης οι τιμές UCS των πετρωμάτων έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται τα ακριβή δεδομένα για πιο αποτελεσματική προσομοίωση.
- Τρόποι βελτιστοποίησης των γεωτρήσεων μέσω των παραμέτρων WOB, RPM, Q-Flow από παρούσες γεωτρήσεις στην ίδια περιοχή.

Βιβλιογραφία

- 1 International Energy Agency, *Top 10 oil largest oil producing countries*, 2013.
- 2 Nalcor Energy oil and gas, *Final Well Report at Permit 03-103*, Western Newfoundland, <http://www.nr.gov.nl.ca/nr/energy/petroleum/onshore/NalcorSeamusFWR>, 2010.
- 3 Saga Petroleum a.s, *Final Well Report Wildcat well 31/3-3*, Bergen, 1985.
- 4 Nalcor Energy oil and gas, *Final well Report at Permit 03-102*, Western Newfoundland, 2011.
- 5 GA Cooper, JF Mota, AG Cooper, *Integrated petroleum engineering simulation and decision making teaching program*. Paper SPE 36660 presented at the SPE Annual Technical Conf, Denver CO, 6-9 Oct., 1996.
- 6 V.C. Kelessidis, P. Dalamarinis, *Monitoring drilling bit parameters allows optimization of drilling rates*, 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & EXPO SGEM 2009, Albena, Bulgaria, 14-19 June, 2009.
- 7 R. Mahmoud, V.C. Kelessidis, M. Karimi and V. Sankar, *Optimization of Casing Drilling Performance Using PAYZONE Simulator and Historical Well Data*. Paper SPE-156348-PP presented at the IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conf. and Exhibition, Tianjin, China, 9-11 July, 2012.
- 8 Vassilios C. Kelessidis, *Drilling Engineering*. Technical University of Crete, Chania, 2009.
- 9 M. Ebrahimi, E. Noveiri, *Cost-Per-Foot Reduction by Bit-Run Optimization: A Simulation study*. Presentation at the Trinidad and Tobago Energy Resources Conference Held in Spain, Trinidad, June, 2010.
- 10 Ali Amani and Kahil Shawbazi, *Prediction of rock strength using Drilling data and Sonic Logs*. International Journal of Computer Application. Petroleum University of Ahwaz, Iran. Volume 81-No2, Iran, 2013.
- 11 Vassilios C. Kelessidis, *Prediction of Rock Drillability for Exploration Drilling for Minerals and Hydrocarbons – how close are we ?*. Technical University of Crete, Chania, 2010.

- 12 GA Cooper, AG Cooper, G Bihn, *An interactive drilling simulator for teaching and research*. Paper SPE 30213 presented at the Petroleum Computer Conference, Houston, Texas, 11-14 June, 1995.
- 13 Christaras, B & Chatziagelou, M., *Rock mass Description and Classification*. Department of Civil Infrastructure Engineering, School of Technological Applications of Thessaloniki, Greece, 2004.
- 14 D. Oyler, C. Mark & G M. Molinda. *Correlation of Sonic Travel Time to the Uniaxial Compressive Strength of U.S Coal Measure Rocks*. NIOSH-Pittsburgh Research Laboratory, U.S, July, 2008.
- 15 Azzar, J.J. and Robello, S.G., *Drilling Engineering*, Tulsa, Okla, 2007.
- 16 Lang, Karl R., *Basic Drilling and Well Completion Technology*, Boston, 1985.
- 17 G.V. Chilingarian and P. Vorabutr, *Drilling and drilling fluids*. Distributors for the United States and Canada, Elsevier Science Pub. Co., New York, 1983.
- 18 Rabia H., *A Unified Prediction Model for Percussive and Rotary Drilling*. Mining Sci and Technology, 2, 207-216, 1985.
- 19 Warren T.M, WK Armagost. *Laboratory Drilling Performance for PDC Bits*. Paper SPE 15617 presented at the 61th Annual Technical Conf. and Exhibition, New Orleans, LA, Oct. 5 – 8, 1986.
- 20 Warren T.M. *Penetration Rate Performance of Roller Cone Bits*. Paper SPE 13259, SPE Drill. Engr., March 9 -18, 1987.
- 21 Duklet C.P., T.R. Bates, *Predicting DiamondBit Drilling Rates*. World Oil April, 117-225, 1981.
- 22 Fear M.J., *How to Improve Rate of Penetration in Field Operations*, Paper IADC/SPE 35107, Drilling Conf., New Orleans, March 12 – 15, 1996.
- 23 Teal R., A.D Murdock, S.M. Evans, *High Penetrations Rates and Extended Bit life through Revolutionary hydraulic and Mechanical Design in PDC Drill Bit Development*, SPE Drill. & Completion 14 (1) 34 – 41, 1999.

24 Walker B.H., A.D. Black, W.P. Klauber, T. Little, M. Khodaverdian, *Roller Cone Bits Penetration Rates Response as a Function of Rock Properties and Well Depth*, Paper SPE 15620 presented at the 61th Annual Technical Conf. and Exhibition, New Orleans, LA, Oct. 5 – 8, 1986.