



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Azerbaijan State University of Economics (UNEC)

Διεθνές Διδρυματικό - Διατμηματικό

Κοινό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών σπουδών

στην «Διαχείριση και μεταφορά φυσικού αερίου και πετρελαίου»

Hellenic -Azerbaijani Inter-University inter- Interdepartmental M.Sc.

Program

in «Petroleum oil and gas management and transportation»

M.Sc. MOGMAT

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με τίτλο:

‘Machine learning applications in oil & gas industry’ -

‘Εφαρμογές Μηχανικής Μάθησης στη βιομηχανία πετρελαίου & φυσικού αερίου’

Της φοιτήτριας: Ελευθερία Ζήσαρου

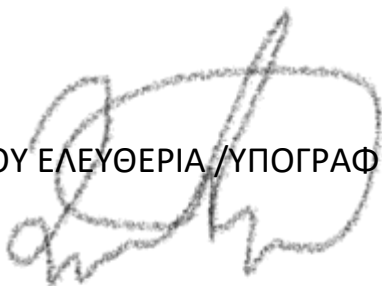
Επιβλέπων Καθηγητής: [Δρ. Καπαγερίδης Ιωάννης](#), Αναπληρωτής Καθηγητής

MOGMAT Καστοριά 2022

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία για τη λήψη του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην «Διαχείριση και Μεταφορά πετρελαίου και φυσικού αερίου» έχει συγγραφεί από εμένα προσωπικά και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό. Η εργασία αυτή έχοντας εκπονηθεί από εμένα, αντιπροσωπεύει τις προσωπικές μου απόψεις επί του θέματος. Οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής αναφέρονται στο σύνολό τους, δίνοντας πλήρεις αναφορές στους συγγραφείς, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο».

ΖΗΣΑΡΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ /ΥΠΟΓΡΑΦΗ



Copyright © 2022

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν

αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας και του Κρατικού Οικονομικού Πανεπιστημίου του Αζερμπαϊτζάν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάζεται η εφαρμογή των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, σε όλο το φάσμα των δραστηριοτήτων της.

Η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, αντιμετωπίζει την πρόκληση της σημαντικής μείωσης του λειτουργικού κόστους χωρίς να διακυβεύεται η ασφάλεια των λειτουργιών της. Οι τεχνολογικές βελτιώσεις και η επανάσταση των “big data” (Μεγάλων Δεδομένων), μπορούν να βοηθήσουν στην παροχή των κατάλληλων πληροφοριών για τη λήψη αποφάσεων με εξαιρετική μείωση του απαιτούμενου χρόνου.

Η συνεχόμενη αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων και η πορεία της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης οδηγεί τον κλάδο στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και την αξιοποίηση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων τους.

Στην εργασία πραγματοποιείται ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης του κλάδου και του μελλοντικού οφέλους από την ευρεία εφαρμογή των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

Λέξεις κλειδιά: μηχανική μάθηση, αλγόριθμοι, κλάδος πετρελαίου και φυσικού αερίου

Abstract: In this master's thesis, we examine the applications of machine learning algorithms in oil and gas industry, in their entire range of activities.

The 4th industrial revolution or “The oil and Gas 4.0 era’ and the continuous increase in fossil fuel prices is driving the industry to develop

new technologies in order to enhance efficiency and utilize their existing facilities.

The paper analyzes the current state of the industry and the future benefits from the widespread application of machine learning algorithms.

Keywords: machine learning, algorithms, oil and gas industry

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ (Machine Learning)	18
1.1 Ιστορία της Μηχανικής Μάθησης.....	19
1.2 Κατηγορίες Μηχανικής Μάθησης.....	23
1.2.1 Εποπτευόμενη μάθηση (Supervised Learning).....	24
1.2.2 Μη εποπτευόμενη μάθηση.....	27
1.2.3 Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement learning).....	27
1.2.4 Βαθιά Μάθηση (Deep Learning).....	30
1.2.5 Βαθιά Ενισχυτική Μάθηση (Deep Reinforcement Learning).....	29
1.3 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence).....	31
1.4 Τεχνητά Νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Network).....	32
1.5 Ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins).....	35
1.6 Μεγάλα Δεδομένα (Big Data).....	36
1.7 Εξόρυξη δεδομένων (Data mining).....	37
1.8 Αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πετρελαίου & φυσικού αερίου.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ & ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	44
2.1 Περιγραφή σχηματισμού Υδρογονανθράκων	45
2.2 Διαδικασία & τεχνικές εξερεύνησης πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	46
2.3 Περιγραφή Γεωφυσικών μεθόδων εξερεύνησης υδρογονανθράκων.....	49

2.4 Γεώτρηση πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	57
2.5 Η εξέλιξη της γεώτρησης πετρελαιοπηγών	59
2.6 Η Παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	63
2.7 Επεξεργασία αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	65
2.8 Αλυσίδα αξίας (Value Chain) Upstream, Midstream, Downstream της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	67
2.9 Ο κύκλος ζωής (lifecycle) της βιομηχανίας πετρελαίου & φυσικού αερίου.....	69
2.10 Η Διαδικασία διύλισης.....	73
2.10.1 Οι κύριες διεργασίες διύλισης.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	77
3.1 Εφαρμογές Μ.Μ. σε διάφορες βιομηχανίες.....	77
3.2 Η αναγκαιότητα του συνδυασμού της επιστήμης των δεδομένων και της τεχνολογίας τομέα.....	82
3.3 Μεθοδολογία δημιουργίας μοντέλων Μ.Μ.....	83
3.4 Προβλήματα και οφέλη από τη χρήση Μ.Μ. στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	89
3.5 Upstream Εφαρμογές Μ.Μ. στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	91
3.5.1 Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. στην Εξερεύνηση υδρογονανθράκων.....	93
3.5.2 Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. στην αξιολόγηση της υπεδάφιας γεωλογίας.....	98

3.5.3	Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. κατά τη διαδικασία Γεώτρησης.....	99
3.5.4	Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. στη Μηχανική ταμειυτήρων.....	102
3.5.5	Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. στη Μηχανική γεώτρησης.....	105
3.5.6	Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. στη Βελτιστοποίηση παραγωγής.....	106
3.6	Midstream Εφαρμογές Μ.Μ. στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	114
3.6.1	Αγωγοί.....	114
3.6.2	Συντήρηση εξοπλισμού.....	117
3.7	Downstream.....	119
3.7.1	Έξυπνο διυληστήριο.....	119
3.7.2	Πωλήσεις.....	124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Μ.Μ. ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ & ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.....127

4.1	Η 4 ^η βιομηχανική επανάσταση.....	127
4.2	Από την εποχή του ατμού, στην εποχή των αισθητήρων: Ιστορική αναδρομή.....	129
4.2.1	Πρώτη βιομηχανική επανάσταση.....	129
4.2.2	Δεύτερη βιομηχανική επανάσταση.....	129
4.2.3	Τρίτη βιομηχανική επανάσταση.....	129
4.2.4	Τέταρτη βιομηχανική επανάσταση.....	130

4.3	Τεχνολογίες που οδηγούν στην 4 ^η βιομηχανική επανάσταση.....	130
4.4	Ευκαιρίες, Δυσκολίες και μελλοντικές τάσεις.....	133
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	139
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	140

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Διαδικασία Μηχανικής Μάθησης. Ιστορικά δεδομένα->Ανάπτυξη Μοντέλου->Διαδικασία πρόβλεψης. Ιδία επεξεργασία.....	19
Εικόνα 2: Ορόσημα της Ιστορικής εξέλιξης της Μηχανικής Μάθησης. Πηγή: (Bing, 2020).....	20
Εικόνα 3: Κατηγορίες Μηχανικής Μάθησης. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Tutorials Point, 2020).....	25
Εικόνα 4: Τύποι προβλημάτων Εποπτευόμενης Μάθησης. Ιδία επεξεργασία.....	26
Εικόνα 5: Βήματα που εμπλέκονται στα προβλήματα Μηχανικής Μάθησης. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayanagaru, Namrata Bist, Hemangi Oza, 2021).....	29
Εικόνα 6: Διαδικασία λειτουργίας Βαθιάς Μάθησης. Ιδία επεξεργασία.....	31
Εικόνα 7: Σχέση Τεχνητής νοημοσύνης και Μηχανικής Μάθησης. Ιδία επεξεργασία.....	33
Εικόνα 8: Η δομή ενός νευρωνικού δικτύου. Πηγή: (Data Aspirant, 2022).....	34
Εικόνα 9: Αναπαράσταση ενός ψηφιακού διδύμου. Συλλογή δεδομένων από φυσική εγκατάσταση, προσομοίωση-δημιουργία ψηφιακού διδύμου, παρακολούθηση, καλύτερες αποφάσεις. Πηγή: (Bentley, 2022).....	36
Εικόνα 10: Ομοιότητες & Διαφορές "Μεγάλων δεδομένων" και "Μηχανικής Μάθησης". Ιδία επεξεργασία.....	39
Εικόνα 11: Σχηματισμός πετρελαίου και φυσικού αερίου. Πηγή: (Leicester Middle school, 2022).....	47
Εικόνα 12:Τυπικός ταμιευτήρας πετρελαίου & φυσικού αερίου. Πηγή: (Φυσικό αέριο, Μεθάνιο, 2010).....	50
Εικόνα 13: Πιθανές δομικές παγίδες κάτω από την επιφάνεια σε πετρώματα ταμιευτήρα .Πηγή: (Louisiana Government, 2000).....	50
Εικόνα 14: Η παρατήρηση αντικλίνων, δείχνει επίσης πιθανές παγίδες σε βάθος. Πηγή: (Louisiana Government, 2000).....	51
Εικόνα 15: Απεικόνιση γεωφυσικής έρευνας στην ξηρά. Παρατηρούμε το φορτηγό που δημιουργεί την δόνηση και τα γεώφωνα που λαμβάνουν τα ανακλώμενα ηχητικά κύματα και τα δεδομένα καταγράφονται σε μαγνητική ταινία που εκτυπώνεται για να αναπαραχθεί ένα γραφικό 2 διαστάσεων απεικονίζοντας την υπόγεια γεωλογία. Πηγή: (Louisiana Government, 2000).....	53
Εικόνα 16: Απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας μιας σεισμικής έρευνας. Πηγή: (Louisiana Government, 2000).....	53
Εικόνα 17: Σεισμική έρευνα υδρογονανθράκων offshore. Πηγή: (I2G cloud, 2022).....	54
Εικόνα 18: Απεικόνιση τρισδιάστατης σεισμικής έρευνας, που δείχνει απλοποιημένη διαμόρφωση του σεισμικού σκάφους και του υποεπιφανειακού κύβου δεδομένων. Πηγή: (Cameselle, 2010).....	55
Εικόνα 19: Τεχνικές εξερεύνησης υδρογονανθράκων. Πηγή: (S.H. Xu, C.C. Bi, Y. Zhang, 2015).....	56
Εικόνα 20: Δορυφορική εικόνα. Η σειρά των γραμμών και των βελών υποδεικνύει τον τύπο της δομής που υπάρχει στην επιφάνεια. Αυτά τα βουνά, αποτελούνται από έναν συνδυασμό δομών, τα αντίκλινα, συγκλίνα και ρήγματα. Αυτές οι δομές σχηματίζουν διάφορους τύπους παγίδων υδρογονανθράκων. Πηγή: (Louisiana Government, 2000).....	57

Εικόνα 21: Αεροφωτογραφία τύπου SLAR όπου απεικονίζονται τα αντίκλινα και τα σύγκλινα για τον προσδιορισμό υδρογονανθράκων. Πηγή: (Louisiana Government, 2000).....	58
Εικόνα 22: Αναζήτηση πετρελαίου με τη μέθοδο creekology . Πηγή: (Andi AB Salahuddin – Senior Reservoir Geologist, 2020).....	59
Εικόνα 23: Στην εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου, ένα χριστουγεννιάτικο δέντρο, είναι ένα συγκρότημα βαλβίδων, καρούλια περιθλήματος και εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της ροής σωληνών σε πηγάδι πετρελαίου, πηγάδι αερίου, φρεάτιο έγχυσης νερού, πηγάδι απόρριψης νερού, φρεάτιο έγχυσης αερίου, πηγάδι συμπυκνώματος και άλλοι τύποι φρεατίων, Πηγή: (Wikiwand, 2022).....	60
Εικόνα 24: Η τεχνητή ανύψωση (artificial lifting), είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται σε πετρελαιοπηγές για την αύξηση της πίεσης εντός της δεξαμενής και την ενθάρρυνση του πετρελαίου στην επιφάνεια. Όταν η φυσική ενέργεια κίνησης του ρεζερβουάρ δεν είναι αρκετά ισχυρή για να ωθήσει το πετρέλαιο στην επιφάνεια, χρησιμοποιείται τεχνητή ανύψωση για την ανάκτηση μεγαλύτερης παραγωγής. Πηγή: (Integrated lifting solutions for enhanced well production, 2022).....	61
Εικόνα 25: Απεικόνιση οριζόντιας και κάθετης γεώτρησης. Πηγή: (From the Styx, 2014).....	63
Εικόνα 26: Η οριζόντια κατευθυνόμενη διάτρηση, με ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση, η επιλογή της μεθόδου αποτελεί την πλέον αξιόπιστη λύση σε προβλήματα εγκατάστασης σωληνώσεων εκεί όπου η γενική εκσκαφή είναι αδύνατη. Πηγή: (Hdrill, 2022).....	64
Εικόνα 27: Απεικόνιση πολυμερούς γεώτρησης. Πηγή: (pet-oil, 2022)	65
Εικόνα 28: Απεικόνιση οριζόντιας εκτεταμένης γεώτρησης. Πηγή: (Xin Li, Deli Gao, Xuyue Chen, 2017).....	65
Εικόνα 19: Η αλυσίδα αξίας της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου. Πηγή: (OIL, GAS AND MINING, 2022).....	70
Εικόνα 20: Βήματα μεθοδολογίας δημιουργίας μοντέλων Μ.Μ. Ιδία επεξεργασία.....	91
Εικόνα 31: Περίγραμμα εξερεύνησης για επεξεργασία και ερμηνεία δεδομένων με τη χρήση μηχανικής μάθησης. Πηγή: (Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayanararu, Namrata Bist, Hemangi Oza, 2021).....	97
Εικόνα 32: Ροή εργασιών τομογραφίας πλήρους κύματος. Ιδία επεξεργασία. Πηγή:.....	99
Εικόνα 33: Σύγκριση τυχαίων δασών και γραμμική παλινδρόμηση για πρόβλεψη ROP. Το Σχ. (αριστερά) απεικονίζει την πρόβλεψη βάθους έναντι ROP και για τις δύο μεθόδους. Το Σχ. (δεξιά) είναι μια γραφική παράσταση πλαισίου που συνοψίζει τα κανονικοποιημένα σφάλματα του τυχαίου δάσους και της γραμμικής παλινδρόμησης για προβλέψεις ROP στον ψαμμίτη Tyler. Πηγή: (Chiranth Hegde, K.E.Gray, 2017).....	104
Εικόνα 34: Περίγραμμα μοντελοποίησης δεξαμενής με χρήση Τ.Ν.Δ.. Πηγή: (Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayanararu, Namrata Bist, Hemangi Oza, 2021).....	107
Εικόνα 35: Ροή εργασιών του σύγχρονου αγωγού μηχανικής μάθησης CICD.Ιδία επεξεργασία. Πηγή:.....	111
Εικόνα 36:Έξυπνο σύστημα λύσης αγωγών. ιδία επεξεργασία. πηγή: (A. Hochstein, E. Horn, M. Palomino, 2015).....	118
Εικόνα 37: Διάγραμμα ψηφιακού διδύμου μιας κινητής υπεράκτιας μονάδας παραγωγής και αποθήκευσης. Πηγή: (Akselos, Case Study: Physics-Based Digital Twins for FPSOs., 2018).....	120
Εικόνα 38: Μια λύση αγωγού επαυξημένης πραγματικότητας από την RE'FLEKT Inc.. Πηγή: (RE'FLEKT, 2022).....	121
Εικόνα 39: Λειτουργική αρχιτεκτονική «έξυπνου διυλιστηρίου». Πηγή: (Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang, 2018).....	125
Εικόνα 40: Χρήση του blockchain για την παρακολούθηση προϊόντων αλυσίδας βιομηχανίας LNG. Πηγή: (H. Lu, K. Huang, M. Azimi, L. Guo, 2019).....	128
Εικόνα 41: Το οικοσύστημα του «Oil and Gas 4.0». Πηγή:	139

ΠΙΝΑΚΕΣ

- ✓ Πίνακας 1: Περίληψη των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πετρελαίου & φυσικού αερίου με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. *Ιδία επεξεργασία.* Πηγή: (R.K. Pandey, A.K. Dahiya, A. Mandal, 2021).....41
- ✓ Πίνακας 2: Προηγμένες τεχνικές διάτρησης, *Ιδία επεξεργασία.* Πηγή: (American Petroleum Institute, 2022).....63
- ✓ Πίνακας 3: Περιγραφή σταδίων ανάκτησης πετρελαίου. *Ιδία επεξεργασία.*.....65
- ✓ Πίνακας 4: Ο κλυκλος ζωής των 5 φάσεων των *upstream* δραστηριοτήτων της βιομηχανίας πετρελαίου & φυσικού αερίου. *Ιδία επεξεργασία.* Πηγή: (Darco, 2014).....72
- ✓ Πίνακας 5: Η μεταποίηση του αργού πετρελαίου σε 3 απλά θήματα. *Ιδία επεξεργασία.* Πηγή: (Meyers, R A, 2004).....77
- ✓ Πίνακας 6: Δραστηριότητες *upstream*, εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί με την εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης. *Ιδία επεξεργασία.* Πηγή: (Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayavarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza, 2021).....94
- ✓ Πίνακας 7: Χρήση T.N. στην παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου. *Ιδία επεξεργασία.* Πηγή:.....112
- ✓ Πίνακας 8: Το ψηφιακό και έξυπνο πλαίσιο της *Sinorec Jiujiang Company*. *Ιδία επεξεργασία.* Πηγή: (Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang, 2018).....122
- ✓ Πίνακας 9: Ευκαιρίες της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου κατά την 4η βιομηχανική επανάσταση. *Ιδία επεξεργασία.* Πηγή:.....135
- ✓ Πίνακας 10: Δυσκολίες και μελλοντικές τάσεις στην εποχή της 4ης βιομηχανικής επανάστασης. *Ιδία επεξεργασία.* Πηγή:.....137

Συντομογραφίες

Τ.Ν. ----- Τεχνητή Νοημοσύνη

Μ.Μ. ----- Μηχανική Μάθηση

Τ.Ν.Δ.----- Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο

Ν.Δ.----- Νευρωνικό δίκτυο

ΔΤΠ-----Διαδίκτυο των Πραγμάτων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ζήτηση για πετρέλαιο και φυσικό αέριο έχει διαταραχθεί σημαντικά από την παγκόσμια κρίση υγείας που προκλήθηκε από την πανδημία COVID-19. Οι προσπάθειες lockdown και οι ταξιδιωτικοί περιορισμοί που υιοθετήθηκαν από πολλές χώρες έχουν περιορίσει τη ζήτηση ενέργειας παγκοσμίως.

Η επικαιρότητα της εργασίας έγκειται στην ανάκαμψη της ενεργειακής ζήτησης την στιγμή που η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου αναζητά την εύρεση αποδοτικότερων και ανθεκτικότερων μεθόδων στην κυκλική φύση της ενεργειακής βιομηχανίας.

Η τεχνητή νοημοσύνη κυριαρχεί στις **ερευνητικές εργασίες** τα τελευταία χρόνια και ειδικά στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, η τεχνολογία TN τραβά την προσοχή των ερευνητών, οι οποίοι έχουν αφοσιωθεί σε αυτήν. Προκειμένου να ανακαλυφθούν περισσότερα σχετικά με τις εφαρμογές της TN στην ανάπτυξη κοιτασμάτων πετρελαίου, έχει διεξαχθεί βιβλιογραφική έρευνα μεγάλου όγκου η οποία αναφέρεται σε αυτήν την εργασία.

Με βάση την **έρευνα**, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης σε σημαντικά ζητήματα της ανάπτυξης κοιτασμάτων πετρελαίου, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής πρόβλεψης παραγωγής πετρελαίου, της βελτιστοποίησης του σχεδίου ανάπτυξης, της αναγνώρισης υπολειπόμενου πετρελαίου, της αναγνώρισης θραύσης και της βελτιωμένης ανάκτησης πετρελαίου διερευνώνται και συνοψίζονται ειδικά.

Με βάση την ανάλυση και τη συζήτηση, συμπεραίνεται η τρέχουσα κατάσταση της εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στην ανάπτυξη

πετρελαιοπηγών και παρέχονται προτάσεις και πιθανές κατευθύνσεις για μελλοντικές εργασίες για την ευρύτερη εφαρμογή της TN στην ανάπτυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Οι ερευνητικές μελέτες σχετικές με την ανάπτυξη και εφαρμογή των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι αφιερωμένες σε πολυάριθμα έργα ξένων και ελλήνων επιστημόνων, μεταξύ των οποίων: Nasteski, V. , Richard E. Nearolitan, Xia Jiang, Ertekin T, Sun Q, A. Andrianova, M. Simonov, D. Perets, A. Margarit, D. Serebryakova, Y. Bogdanov, A. Bukharev, Δρ. Καπαγερίδης Ιωάννης. κ.α.

Σκοπός της έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη της δυναμικής των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης αλλά και οι προοπτικές ανάπτυξης και εξέλιξης τους στον διεθνή κλάδο.

Για την επίτευξη του σκοπού ορίστηκαν οι εξής **ερευνητικοί στόχοι** της εργασίας:

- Να αναλυθούν οι ανάγκες του κλάδου πετρελαίου και Φ/Α υπό το πρίσμα του ψηφιακού μετασχηματισμού
- Να ερευνηθούν τα οφέλη από την ευρεία εφαρμογή MM στον κλάδο Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου .
- Να συνοψισθούν και να συνταχθούν οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης, της μηχανικής μάθησης και της ανάλυσης δεδομένων σε διαφορετικούς τομείς του κλάδου
- Να επεξεργαστεί η διαφορά μεταξύ μηχανικής μάθησης και παραδοσιακών αλγορίθμων,
- Να επεξηγηθούν τα βήματα για την προεπεξεργασία δεδομένων πριν τροφοδοτηθούν στο μοντέλο μηχανικής μάθησης,

περιλαμβάνοντας τη συλλογή δεδομένων, την εκκαθάριση τους και τη μηχανική των χαρακτηριστικών

- Να συγκριθούν και να αξιολογηθούν τα διαφορετικά μοντέλα μηχανικής μάθησης (παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε μοντέλου) και
- Να περιγραφεί η αξιολόγηση της απόδοσης του εκάστοτε μοντέλου

Το αντικείμενο της έρευνας είναι θεωρητικές, μεθοδολογικές και εφαρμοσμένες πτυχές των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης σε όλο το κλάδο πετρελαίου και φυσικού αερίου καθώς και οι προοπτικές εξέλιξης τους ως συνιστώσα της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης.

Η **μεθοδολογική βάση της εργασίας** είναι η ολοκληρωμένη συλλογή διαφορετικών εφαρμογών MM σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου. Βασική υπόθεση της έρευνας αποτελεί η ανάλυση του κλάδου και η σύγκριση των παραδοσιακών μεθόδων με εκείνη των προηγμένων αλγορίθμων.

Οι **μέθοδοι έρευνας** στην εργασία είναι μια σύνθεση της εφαρμοσμένης μηχανικής, του προγραμματισμού και της ιστορικής προσέγγισης.

Η **βάση των πληροφοριών της έρευνας** αποτελείται από πραγματικά στοιχεία ερευνητικών μελετών, δημοσιεύσεις εξειδικευμένων περιοδικών, το Διαδίκτυο, καθώς και σε υλικό επιστημονικών συνεδρίων, μονογραφιών, στατιστικών στοιχείων και επίσημων περιοδικών.

Κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση, συγκεντρώσαμε τις περισσότερες από τις περιπτωσιολογικές μελέτες που εφάρμοσαν την τεχνητή νοημοσύνη με επιτυχία σε τομείς της μηχανικής πετρελαίου.

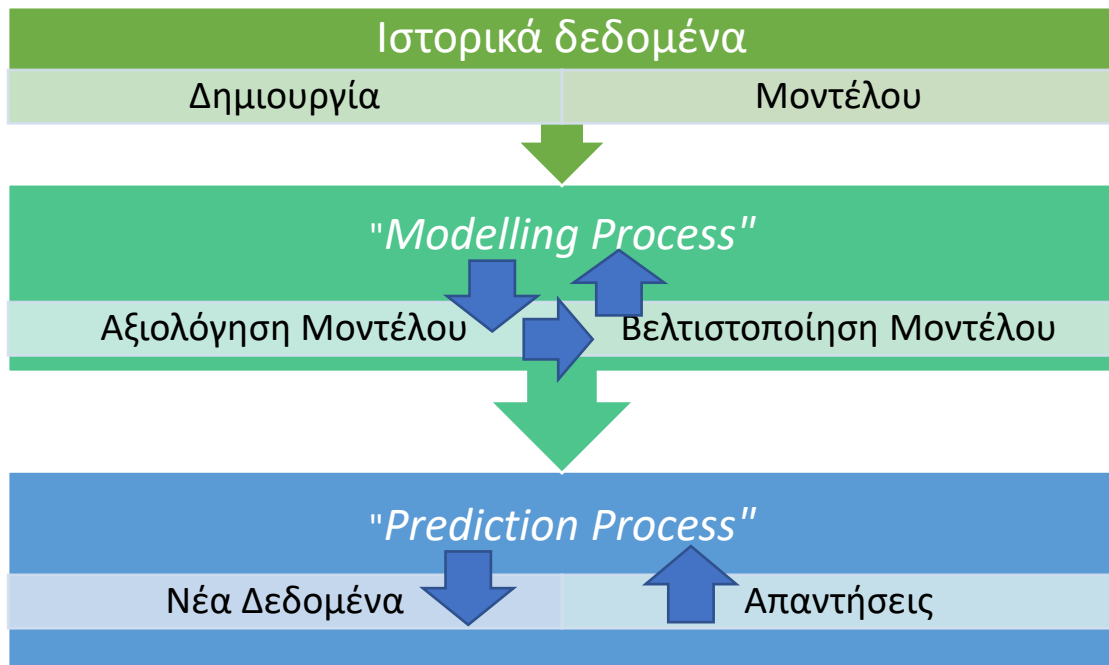
Η πρακτική σημασία των ερευνητικών αποτελεσμάτων, όπως επίσης και η πρακτική αξία των διατυπωμένων στην εργασία θεωρητικών θέσεων, συμπερασμάτων και συστάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια μεθοδολογική βάση για τον σχεδιασμό και την κατασκευή προγραμμάτων μηχανικής μάθησης τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν στη διαχείριση κινδύνου σε διάφορες φάσεις του κλάδου, στην ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων, κ.α.

Η δομή της διπλωματικής εργασίας: Η διπλωματική εργασία αποτελείται από την εισαγωγή, τέσσερα κεφάλαια, συμπεράσματα και βιβλιογραφία από 188 πηγές, σε 12 σελίδες.

Στο κυρίως κείμενο της εργασίας περιέχονται 120 σελίδες, όπου υπάρχουν 10 πίνακες, 42 εικόνες με σχήματα και διαγράμματα .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ (Machine Learning)

Η μηχανική μάθηση είναι υποπεδίο της τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence). Επικεντρώνεται στην εκπαίδευση των υπολογιστών με τη χρήση δεδομένων και τη βελτίωση τους από την εμπειρία που αποκτούν αντί να προγραμματίζονται για να το πράξουν. Μιμούνται δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι μαθαίνουν. Στην Εικόνα 1, παρατηρούμε την διαδικασία που ακολουθεί ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης για να εκπαιδευτεί από τα δεδομένα.



Εικόνα 5: Διαδικασία Μηχανικής Μάθησης. Ιστορικά δεδομένα->Ανάπτυξη Μοντέλου->Διαδικασία πρόβλεψης. Ιδία επεξεργασία.

Στη μηχανική μάθηση οι αλγόριθμοι εκπαιδεύονται για να βρίσκουν συσχετισμούς και μοτίβα σε μεγάλα σύνολα δεδομένων. Στόχος είναι η λήψη καλύτερων αποφάσεων αλλά και προβλέψεων βασισμένων σε αυτή την ανάλυση.

Οι εφαρμογές μηχανικής μάθησης βελτιώνονται με την εμπειρία και γίνονται πιο ακριβείς. Το μέγεθος των δεδομένων στα οποία έχουν

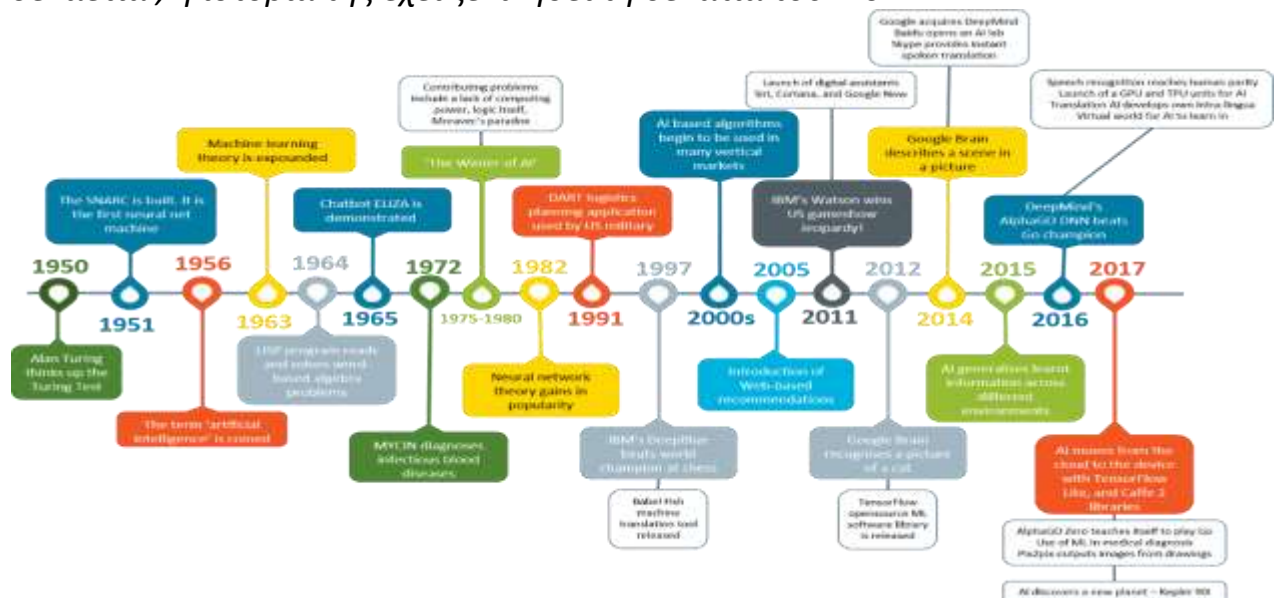
πρόσβαση οι υπολογιστές, είναι σημαντικός παράγοντας για την ακρίβεια των προβλέψεων.

Στην καθημερινή ζωή, η μηχανική μάθηση βρίσκεται παντού γύρω μας, στα μέσα ψυχαγωγίας, στα καλάθια αγορών μας, ακόμη και στην υγειονομική μας περίθαλψη.

(Alex Smola, S.V.N. Vishwanathan, 2008)

1.1 Ιστορία της Μηχανικής Μάθησης

Παρότι η μηχανική μάθηση έχει αποκτήσει φήμη την τελευταία δεκαετία, η ιστορία της έχει ξεκινήσει τη δεκαετία του '40.



Εικόνα 6: Ορόσημα της Ιστορικής εξέλιξης της Μηχανικής Μάθησης. Πηγή: (Bing, 2020)

Οι Water Pitts και Warren McCulloch παρουσίασαν το πρώτο μαθηματικό μοντέλο νευρωνικών δικτύων στην επιστημονική τους εργασία “A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity”. (WARREN S. MCCULLOCH & WALTER PITTS, 1943)

Το 1949 κυκλοφορεί το βιβλίο του Donald Hebb με τίτλο «The organization of behavior», στο οποίο αναπτύσσονται θεωρίες για τον συσχετισμό της συμπεριφοράς με τα νευρωνικά δίκτυα. Το

συγκεκριμένο βιβλίο αποτέλεσε έναν από τους μνημειώδεις πυλώνες της μηχανικής μάθησης. (HEBB, 1949)

Ο Arthur Samuel, ο πρωτοπόρος της μηχανικής μάθησης, το 1950 δημιούργησε ένα πρόγραμμα που έπαιζε πούλια υπολογιστών σε επίπεδο πρωταθλήματος. Η καινοτομία του προγράμματος έγκειτο στη χρήση του αλγορίθμου *minimax*¹ για την εύρεση της βέλτιστης κίνησης. Σχεδίασε επίσης μηχανισμούς ώστε το πρόγραμμα να βελτιώνεται συνεχώς. Αξίζει να τονίσουμε πως ο αλγόριθμος *minimax* εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως για παιχνίδια έως σήμερα. (Samuel, 1959)

Το 1951 οι Marvin Minsky και Dean Edmonds κατασκεύασαν το πρώτο τεχνητό νευρωνικό δίκτυο τη στιγμή που οι περισσότεροι υπολογιστές χρησιμοποιούσαν διάτρητες κάρτες. (Acst Jeff, 2019)

Οι Σοβιετικοί επιστήμονες Alexey Ivakhnenko και Valentin Lapa, το 1965 ανέπτυξαν ιεραρχική αναπαράσταση νευρωνικού δικτύου με τη χρήση συνάρτησης πολυωνυμικής ενεργοποίησης όπου εκπαιδευόντουσαν με τη μέθοδο ομαδικής διαχείρισης δεδομένων (GMDH²). Ο επιστήμων Ivakhnenko θεωρείται συχνά πατέρας της βαθιάς μάθησης και η αναπαράσταση του θεωρείται το πρώτο πολυστρωματικό perceptron³. (Machine Learning Knowledge, 2019)

Το 1967 δημοσιεύτηκε ένα άρθρο σχετικά με τον αλγόριθμο του πλησιέστερου γείτονα (K-nearest neighbor⁴), ο οποίος χρησιμοποιείται

¹ Ένας αλγόριθμος minimax είναι ένας αναδρομικός αλγόριθμος για την επιλογή της επόμενης κίνησης σε ένα παιχνίδι.

² Group Method of data Handling

³ Με τον όρο **perceptron** αναφερόμαστε σε μια μονάδα νευρωνικού δικτύου που κάνει ορισμένους υπολογισμούς για την ανίχνευση χαρακτηριστικών στα δεδομένα εισόδου.

⁴ Ο αλγόριθμος k-πλησιέστερος γείτονας είναι ένας απλός αλγόριθμος εποπτευόμενης μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων ταξινόμησης και παλινδρόμησης.

για την ταξινόμηση και την παλινδρόμηση στη μηχανική μάθηση. Το άρθρο δημοσιεύτηκε από τους Thomas Cover και Peter E.Hart του Πανεπιστημίου Stanford. (Thomas Cover & Peter E.Hart , 1967)

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στην ανάλυση εικόνων, είχαν αρχικά δημοσιευτεί από τον επιστήμονα Kunihiko Fukushima στην εργασία του 'Neocognitron'. Πρόκειται για ένα ιεραρχικό πολυεπίπεδο δίκτυο που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση προτύπων και εμπνέει συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα. (Fukushima, 1980)

Σημαντικό ορόσημο για την ιστορία της Μηχανικής Μάθησης αποτελεί και το τηλεκατευθυνόμενο ρομπότ, το *Stanford cart*, το οποίο μπορούσε να κινηθεί στο χώρο αυτόνομα χρησιμοποιώντας τρισδιάστατη χαρτογράφηση και πλοήγηση. Το έργο ξεκίνησε τη δεκαετία του '60 και παρουσιάστηκε το 1979. (Les Earnest, 2012)

Το 1986 ο γνωστικός επιστήμονας Paul Smolensky, μπορεί να αναλύσει ένα σύνολο εισόδων και να μάθει την κατανομή πιθανοτήτων από αυτές, χρησιμοποιώντας περιορισμένη μηχανική Boltzmann. Σήμερα αυτός ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται για προτάσεις που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη και προβλέψεις τιμών. (Paul Smolensky, 1986)

Στη δεκαετία του '90 η μηχανική μάθηση ξεκίνησε να εφαρμόζεται στην εξόρυξη δεδομένων, σε εφαρμογές ιστού, εκμάθηση κειμένων καθώς και εκμάθηση γλωσσών. Εκείνη την εποχή οι επιστήμονες ξεκινούν τη δημιουργία υπολογιστικών προγραμμάτων για την ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων (Big data) με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Ο Tim Kam Ho παρουσιάζει το 1995 σε μια εργασία του τα «δάση τυχαίας απόφασης» (Decision Trees⁵), στην οποία ο αλγόριθμος δημιουργεί και συγχωνεύει πολλαπλές αποφάσεις τεχνητής νοημοσύνης σε ένα δάσος. Το μοντέλο βελτιώνεται σημαντικά στην ακρίβεια και λήψη αποφάσεων όταν βασίζεται σε διαφορετικά «δέντρα αποφάσεων». (Tim Kam Ho, 1995)

Η απόδειξη πως οι μηχανές προσεγγίζουν την ανθρώπινη νοημοσύνη επήλθε το 1997 με την νίκη του υπολογιστή της IBP «Deep Blue» εναντίον του παγκόσμιου πρωταθλητή σκακιού Garry Kasparov. (The Editors of Encyclopaedia Britannica)

Κατά τη νέα χιλιετία υπήρξε έκρηξη προσαρμοστικού προγραμματισμού, οπουδήποτε απαιτούνταν προσαρμοστικά προγράμματα, η μηχανική μάθηση έδινε το παρόν. Τα προσαρμοστικά προγράμματα είναι ικανά να αναγνωρίζουν πρότυπα, να μαθαίνουν από την εμπειρία και να βελτιώνονται συνεχώς. Ένα παράδειγμα προσαρμοστικού προγραμματισμού αποτελεί και η βαθιά μάθηση, όπου οι αλγόριθμοι μπορούν να διακρίνουν αντικείμενα σε εικόνες και βίντεο.

Η ομάδα «X LAB» της Google το 2011 ανέπτυξε έναν αλγόριθμο τεχνητής νοημοσύνης ο οποίος το 2012 έγινε περίφημος στην επεξεργασία εικόνας, έχοντας τη δυνατότητα να αναγνωρίζει τις γάτες σε εικόνες. (Quoc V. Le, Marc'Aurelio Ranzato, Rajat Monga, Matthieu Devin, Kai Chen, Greg S. Corrado, Jeff Dean, Andrew Y. Ng, 2012)

⁵ Τα δέντρα αποφάσεων είναι μία μη-παραμετρική εποπτευόμενη μέθοδος μάθησης που χρησιμοποιείται για ταξινόμηση και παλινδρόμηση. Στόχο έχει την δημιουργία ενός μοντέλου που προβλέπει την αξία της μεταβλητής στόχου.

Αργότερα το 2014, η ερευνητική ομάδα του Facebook ανέπτυξε το «DeepFace» , ένα σύστημα αναγνώρισης προσώπου με βαθιά κλίση. Πρόκειται για ένα νευρωνικό δίκτυο 9 επιπέδων εκπαιδευμένο σε 4 εκατομμύρια εικόνες χρηστών Facebook. (Yaniv Taigman , Ming Yang , Marc’Aurelio Ranzato, Lior Wolf, 2014)

Η εταιρεία Waymo το 2017 ξεκινά να δοκιμάζει αυτόνομα αυτοκίνητα στις ΗΠΑ με εφεδρικά προγράμματα οδήγησης μόνο στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου. Την ίδια χρονιά εισάγουν εντελώς αυτόνομα ταξί στην πόλη του Φοίνιξ. (Waymo, 2018)

Η εταιρεία «Open AI» το 2020 ανακοίνωσε έναν πρωτοποριακό αλγόριθμο επεξεργασίας φυσικής γλώσσας τον GPT-3⁶ με αξιοσημείωτη ικανότητα να δημιουργεί κείμενο που μοιάζει με ανθρώπινο. Σήμερα το GTP-3 θεωρείται το μεγαλύτερο και πιο εξελιγμένο μοντέλο γλώσσας στον κόσμο χρησιμοποιώντας 175 δισεκατομμύρια παραμέτρους και τον υπερυπολογιστή της AI της Microsoft Azure για εκπαίδευση.

1.2 Κατηγορίες Μηχανικής Μάθησης

Η μηχανική μάθηση χωρίζεται στις εξής κατηγορίες σύμφωνα με την Εικόνα 3:



Εικόνα 7: Κατηγορίες Μηχανικής Μάθησης. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Tutorials Point, 2020)

⁶ Generative Pre-trained Transformer 3

1.2.1 Εποπτευόμενη μάθηση (Supervised Learning)

Η εποπτευόμενη μάθηση ή εποπτευόμενη μηχανική μάθηση, είναι μια κατηγορία της Μηχανικής Μάθησης και της τεχνητής νοημοσύνης. Η ονομασία της πηγάζει από το γεγονός πως χρησιμοποιεί επισημασμένα σύνολα δεδομένων για την εκπαίδευση αλγορίθμων που ταξινομούν δεδομένα ή προβλέπουν τα αποτελέσματα με ακρίβεια. Το μοντέλο τροφοδοτείται από τα δεδομένα εισόδου και προσαρμόζει τα βάρη του μέχρι την κατάλληλη τοποθέτηση του, ως μέρος της διαδικασίας διασταυρούμενης επικύρωσης. Η εποπτευόμενη μάθηση εξυπηρετεί ποικιλία επίλυσης πραγματικών προβλημάτων όπως η ταξινόμηση της ανεπιθύμητης ηλεκτρονικής αλληλογραφίας. (Qiong Liu, Ying Wu, 2012)

Η εποπτευόμενη μάθηση για να διδάξει τα μοντέλα να αποδώσουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, χρησιμοποιεί ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης το οποίο περιλαμβάνει εισόδους και σωστές εξόδους, οι οποίες επιτρέπουν στο μοντέλο να εκπαιδεύεται με την πάροδο του χρόνου. Μέσω της συνάρτησης απώλειας ο αλγόριθμος μετρά την ακρίβεια του και κάνει προσαρμογές έως ότου ελαχιστοποιηθεί επαρκώς το σφάλμα.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4 , η εποπτευόμενη μάθηση χωρίζεται στις εξής κατηγορίες προβλημάτων.



Εικόνα 8: Τύποι προβλημάτων Εποπτευόμενης Μάθησης. Ιδία επεξεργασία.

Σε αυτόν τον τύπο Μ.Μ., ένα σετ από Μ αριθμούς εισαγωγής (\mathbf{x}_i) εισόδου και (\mathbf{y}_i) εξόδου είναι διαθέσιμοι και χρησιμοποιούνται ως σετ εκπαίδευσης για την εκπαίδευση μοντέλων και την εύρεση μοτίβων που υπάρχουν στα δεδομένα εκπαίδευσης με υψηλή ακρίβεια.

Όπου \mathbf{x} είναι ένας πίνακας ματριξ $\mathbf{M} \times \mathbf{N}$ όπου:

\mathbf{M} = η συχνότητα κάθε χαρακτηριστικού και

\mathbf{N} = ο αριθμός των χαρακτηριστικών εισόδου

\mathbf{y}_i = ένα διάνυσμα χαρακτηριστικού απόκρισης.

Το \mathbf{x} και το \mathbf{y} θα μπορούσαν να εμφανίζονται ως αριθμοί, κείμενο, εικόνα κ.λπ. (Patrick Bangert, 2021)

*Ένα χαρακτηριστικό απόκρισης (\mathbf{y}_i) με τη μορφή αριθμού, υποδηλώνει πρόβλημα **παλινδρόμησης**. Διαφορετικά, πρόκειται για πρόβλημα **ταξινόμησης** ή αναγνώρισης προτύπων.*

Η **ταξινόμηση** (Classification) χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο για την αντιστοίχιση των δεδομένων δοκιμής σε συγκεκριμένες κατηγορίες. Ανάμεσα στο σύνολο δεδομένων αναγνωρίζει συγκεκριμένες οντότητες και προσπαθεί να συναγάγει ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι οντότητες θα πρέπει να ορίζονται. Κοινοί αλγόριθμοι ταξινόμησης αποτελούν οι:

- Γραμμικοί ταξινομητές (linear classifiers)
- Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support vector Machines)
- Δέντρα απόφασης (Decision Trees)
- Ο κ-πλησιέστερος γείτονας (k-nearest neighbor)

- Τυχαίο Δάσος (Random forest)

(Kotsiantis, 2007)

Η **παλινδρόμηση** (Regression) χρησιμοποιείται για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Συνήθως χρησιμοποιείται για προβλέψεις. Δημοφιλείς αλγόριθμοι παλινδρόμησης αποτελούν οι:

- Γραμμική παλινδρόμηση (Linear regression)
- Λογιστική παλινδρόμηση (Logistical Regression)
- Πολυωνυμική παλινδρόμηση (Polynomial Regression)

Οι πιο συχνοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται σε εποπτευόμενες διαδικασίες μηχανικής μάθησης, συνήθως χρησιμοποιώντας τις γλώσσες προγραμματισμού R ή Python είναι:

- Νευρωνικά δίκτυα (Neural networks)
- Αφελής Bayes (Naïve Bayes)
- Γραμμική Παλινδρόμηση (Linear Regression)
- Λογιστική παλινδρόμηση (Logistic Regression)
- Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support vector Machines)
- Ο κ-πλησιέστερος γείτονας (k-nearest neighbor)
- Τυχαίο Δάσος (Random forest)

(Nasteski, DOI 10.20544/HORIZONS.B.04.1.17.P05)

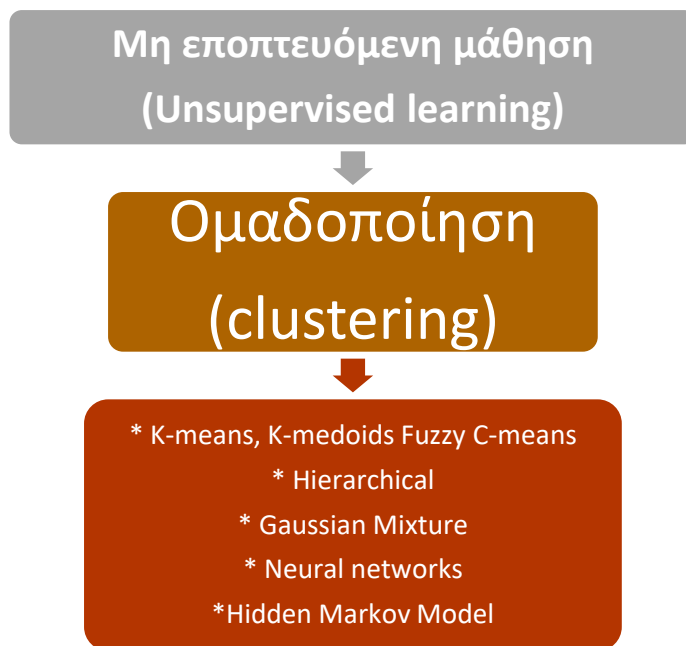
1.2.2 Μη εποπτευόμενη μάθηση

Η **μη εποπτευόμενη μάθηση** χρησιμοποιεί δεδομένα χωρίς ετικέτα, από τα οποία ανακαλύπτει μοτίβα που βοηθούν στην επίλυση προβλημάτων ομαδοποίησης ή συσχέτισης. Αυτό το γεγονός, καθιστά τον συγκεκριμένο τύπο μάθησης ιδιαίτερα χρήσιμο όταν οι ειδικοί σε

ένα θέμα δεν είναι βέβαιοι για τις κοινές ιδιότητες ενός συνόλου δεδομένων.

Η μη-εποπτευόμενη μάθηση λαμβάνει χώρα μόνο όταν ένα μέρος των δεδομένων εισόδου έχει επισημανθεί. (H.B., 1989)

Στην Εικόνα 5, παρατηρούμε τα βήματα που ακολουθούνται σε προβλήματα της Μ.Μ..



Εικόνα 5: Βήματα που εμπλέκονται στα προβλήματα Μηχανικής Μάθησης. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayanararu, Namrata Bist, Hemangi Oza, 2021)

1.2.3 Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement learning)

Η ενισχυτική μάθηση, είναι η εκμάθηση των μοντέλων μηχανικής μάθησης για τη λήψη μιας σειράς αποφάσεων. Ο παράγοντας μαθαίνει να επιτυγχάνει έναν στόχο σε ένα αβέβαιο και περίπλοκο περιβάλλον.

Στην ενισχυτική μάθηση, μια τεχνητή νοημοσύνη αντιμετωπίζει μία κατάσταση που μοιάζει σαν παιχνίδι. Ο υπολογιστής χρησιμοποιεί δοκιμή και σφάλμα για να βρει μια λύση σε ένα πρόβλημα.

Για να κάνει το μηχάνημα αυτό που θέλει ο προγραμματιστής, η τεχνητή νοημοσύνη λαμβάνει είτε ανταμοιβές είτε ποινές για τις ενέργειες που εκτελεί. Στόχος του είναι να μεγιστοποιήσει τη συνολική ανταμοιβή.

Παρότι ο σχεδιαστής ορίζει την πολιτική ανταμοιβής δεν δίνει στο μοντέλο υποδείξεις για τον τρόπο επίλυσης του παιχνιδιού. Το μοντέλο μπορεί να αντιληφθεί τον τρόπο με τον οποίο θα εκτελέσει την εργασία για να μεγιστοποιήσει την ανταμοιβή, ξεκινώντας με τυχαίες δοκιμές και καταλήγοντας σε εξελιγμένες τακτικές και υπεράνθρωπες δεξιότητες.

Αξιοποιώντας την δύναμη της αναζήτησης και πολλών δοκιμών, η ενισχυτική μάθηση αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό τρόπο για την υπόδειξη της δημιουργικότητας της μηχανής.

Σε αντίθεση με τα ανθρώπινα όντα, η T.N., μπορεί να συγκεντρώσει εμπειρία από χιλιάδες παράλληλα παιχνίδια, υπό την προϋπόθεση πως ο αλγόριθμος ενίσχυσης εκμάθησης εκτελείται σε μια αρκετά ισχυρή υποδομή υπολογιστή. (Richard S. Sutton, Andrew G. Barto, 2018)

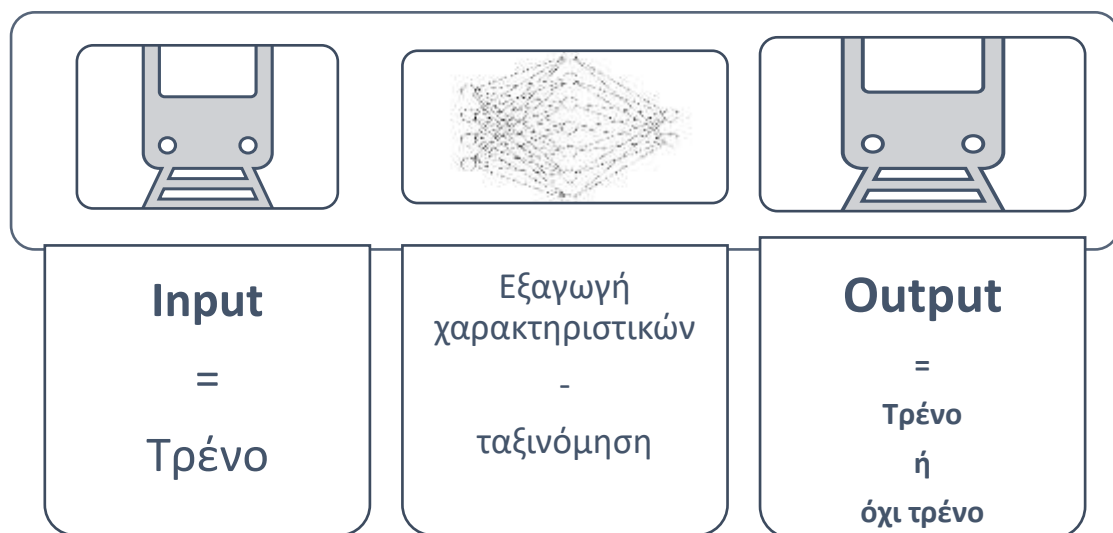
1.2.4 Βαθιά Μάθηση (Deep Learning)

Η βαθιά μάθηση, υποσύνολο της μηχανικής μάθησης, ασχολείται με αλγορίθμους εμπνευσμένους από τη δομή και τη λειτουργία του εγκεφάλου οι οποίοι ονομάζονται τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Αυτά τα νευρωνικά δίκτυα προσπαθούν να προσωμοιώσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά με την εκμάθηση από μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Αυτή η προσέγγιση προσπαθεί να αποτυπώσει στη δημιουργία ενός

μοντέλου τον τρόπο με τον οποίο ο ανθρώπινος εγκέφαλος επεξεργάζεται τον ήχο και το φως και τα μετατρέπει σε ακοή και όραση. (John Paul Mueller, Luca Massaron, 2019)

Η λέξη «βαθιά» που συνοδεύει τον όρο μάθηση, πηγάζει από τα νευρωνικά δίκτυα και αναφέρεται στο βάθος των στρωμάτων ενός νευρωνικού δικτύου. Ένα νευρωνικό δίκτυο που αποτελείται από περισσότερα από 3 επίπεδα τα οποία περιλαμβάνουν τις εισόδους και τις εξόδους, μπορεί να θεωρηθεί αλγόριθμος βαθιάς μάθησης.

Η βαθιά μάθηση εξαλείφει μέρος της προεπεξεργασίας δεδομένων που συνήθως εμπλέκεται με τη Μ.Μ. και μπορεί να απορροφά και να επεξεργάζεται δομημένα δεδομένα όπως κείμενο και εικόνες και αυτοματοποιεί την εξαγωγή χαρακτηριστικών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6: Διαδικασία λειτουργίας Βαθιάς Μάθησης. Ιδία επεξεργασία.

1.2.5 Βαθιά Ενισχυτική Μάθηση (Deep Reinforcement Learning)

Η βαθιά ενισχυτική μάθηση συνδυάζει την ενισχυτική μάθηση και την βαθιά μάθηση. Όπως ήδη αναφέραμε, η ενισχυτική μάθηση εξετάζει το πρόβλημα ενός υπολογιστικού παράγοντα που μαθαίνει να λαμβάνει αποφάσεις με δοκιμή και σφάλμα.

Η βαθιά ενισχυτική μάθηση, ενσωματώνει τη βαθιά μάθηση στη λύση, επιτρέποντας στους παράγοντες (agents) να λαμβάνουν αποφάσεις από μη δομημένα δεδομένα εισόδου χωρίς χειροκίνητη μηχανική.

Η βαθιά ενισχυτική μάθηση έχει χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εφαρμογές, όπως τη ρομποτική, τα βιντεοπαιχνίδια, την επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP) , την όραση των υπολογιστών, τις μεταφορές, την εκπαίδευση, των οικονομικών, της υγειονομικής περίθαλψης. (Laura Graesser, Wah Loon Keng, 2020)

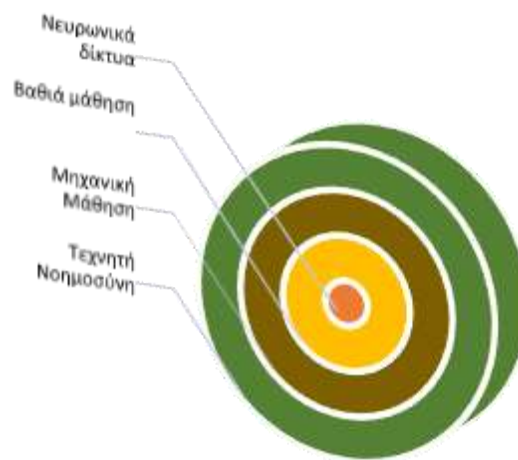
1.3 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

Με τον όρο « τεχνητή νοημοσύνη» αναφερόμαστε στην τεχνολογία από την οποία προκύπτουν ευφυή συστήματα τα οποία προσομοιάζουν την ανθρώπινη νοημοσύνη.

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι ο γονέας όλων των υποσυνόλων της μηχανικής μάθησης. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7, η μηχανική μάθηση, η βαθιά μάθηση καθώς και τα νευρωνικά δίκτυα, ταιριάζουν ως ομόκεντρα υποσύνολα της τεχνητής νοημοσύνης.

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι εκείνη που επεξεργάζεται δεδομένα για την λήψη αποφάσεων και προβλέψεων. Οι αλγόριθμοι της μηχανικής μάθησης όμως επιτρέπουν στην τεχνητή νοημοσύνη να επεξεργάζεται

τα δεδομένα και να τα χρησιμοποιεί για να γίνεται ευφύτερη χωρίς πρόσθετο προγραμματισμό.



Εικόνα 7: Σχέση Τεχνητής νοημοσύνης και Μηχανικής Μάθησης. Ιδία επεξεργασία

Οι αλγόριθμοι της τεχνητής νοημοσύνης έχουν σχεδιαστεί για τη λήψη αποφάσεων χρησιμοποιώντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.

Συνδυάζουν πληροφορίες από μια πληθώρα διαφορετικών πηγών, αναλύουν το υλικό αμέσως και ενεργούν βάση των πληροφοριών που προήλθαν από εκείνα τα δεδομένα. (Richard E. Neapolitan, Xia Jiang, 2018)

Η διαφορά της βαθιάς μάθησης και της μηχανικής μάθησης έγκειται στον τρόπο με τον οποίο οι αλγόριθμοι μαθαίνουν.

Η βαθιά μάθηση αυτοματοποιεί μεγάλο μέρος του τμήματος εξαγωγής χαρακτηριστικών της διαδικασίας εξαλείφοντας την ανθρώπινη παρέμβαση.

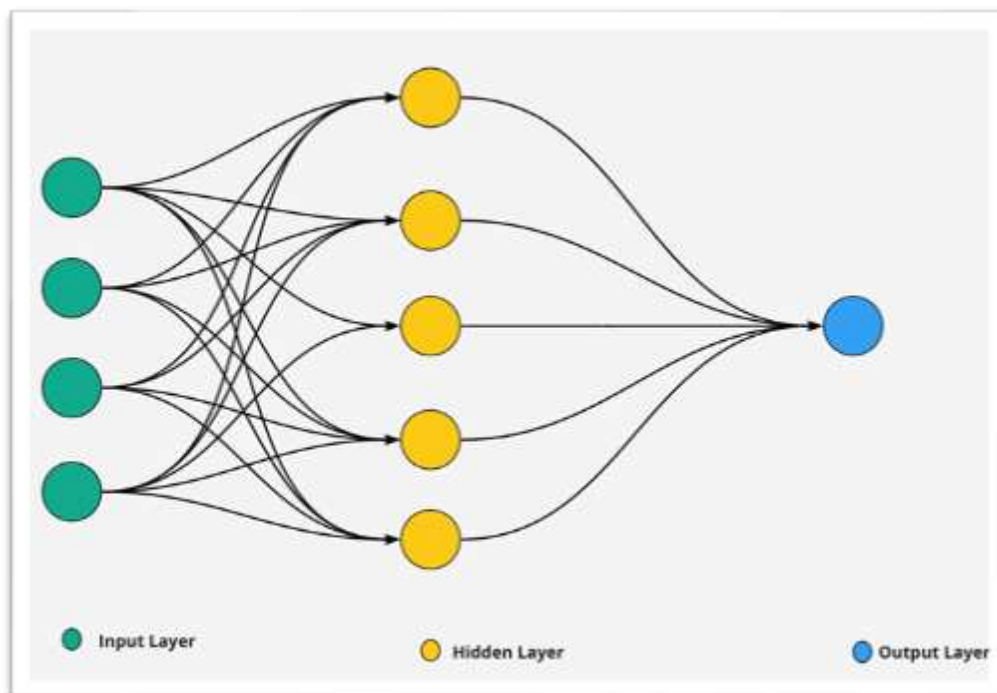
1.4 Τεχνητά Νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Network)

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν εμπνευστεί από τον ανθρώπινο εγκέφαλο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη.

Χρησιμοποιώντας αυτά τα δίκτυα, μπορούμε να επιλύσουμε διάφορα προβλήματα μέσω υπολογιστή. Το τεχνητό δίκτυο έχει διαμορφωθεί στη δομή του βιολογικού εγκεφάλου και αποτελείται από ένα αφηρημένο μοντέλο διασυνδεδεμένων νευρώνων, η ειδική διάταξη των οποίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση προβλημάτων εφαρμογών που βασίζονται σε υπολογιστή σε τομείς όπως στατιστική, τεχνολογία, οικονομία. (Maad M. Mijwel, Adam Esen, Aysar Shamil, 2019)

Το νευρωνικό δίκτυο αποτελεί ερευνητικό αντικείμενο της Νευροπληροφορικής και μέρος της τεχνητής νοημοσύνης. Πριν καταφέρουν να επιλύσουν προβλήματα, τα νευρωνικά δίκτυα πρέπει να εκπαιδεύονται.

Η δομή και λειτουργία ενός νευρωνικού δικτύου μπορεί να περιγραφεί από την Εικόνα 8.



Εικόνα 8: Η δομή ενός νευρωνικού δικτύου. Πηγή: (Data Aspirant, 2022)

Αρχικά, το αφηρημένο μοντέλο ενός νευρωνικού δικτύου αποτελείται από νευρώνες, οι οποίοι ονομάζονται και κόμβοι . Μπορούν να λάβουν πληροφορίες από το εξωτερικό περιβάλλον ή από άλλους νευρώνες, να τις περάσουν σε άλλους νευρώνες ή να τις εξάγουν ως τελικό αποτέλεσμα. Μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ νευρώνων εισόδου (Input Layer), κρυφών νευρώνων (Hidden Layer) και νευρώνων εξόδου (Output Layer), όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.

Τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς όπως:

- Αναγνώριση εικόνας
- Αναγνώριση φωνής
- Αναγνώριση προτύπων
- Σύνθεση ομιλίας
- Αναγνώριση χειρογράφου
- Έλεγχος περίπλοκων διαδικασιών
- Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης
- Ανάλυση χρονοσειρών
- Μετάφραση βάση μηχανής
- Προσομοιώσεις πολύπλοκων συστημάτων
- Βιομετρικά συστήματα
- Οικονομικά μοντέλα κ.α

(Kevin L. Priddy, Paul E. Keller, 2005)

Ένα απλοποιημένο νευρωνικό δίκτυο μπορεί να αναπαρασταθεί μαθηματικά ως εξής:

$$h_{\theta}(\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + e^{-\theta^T \mathbf{x}}}$$

Όπου:

$h_{\theta}(x)$, είναι η έξοδος

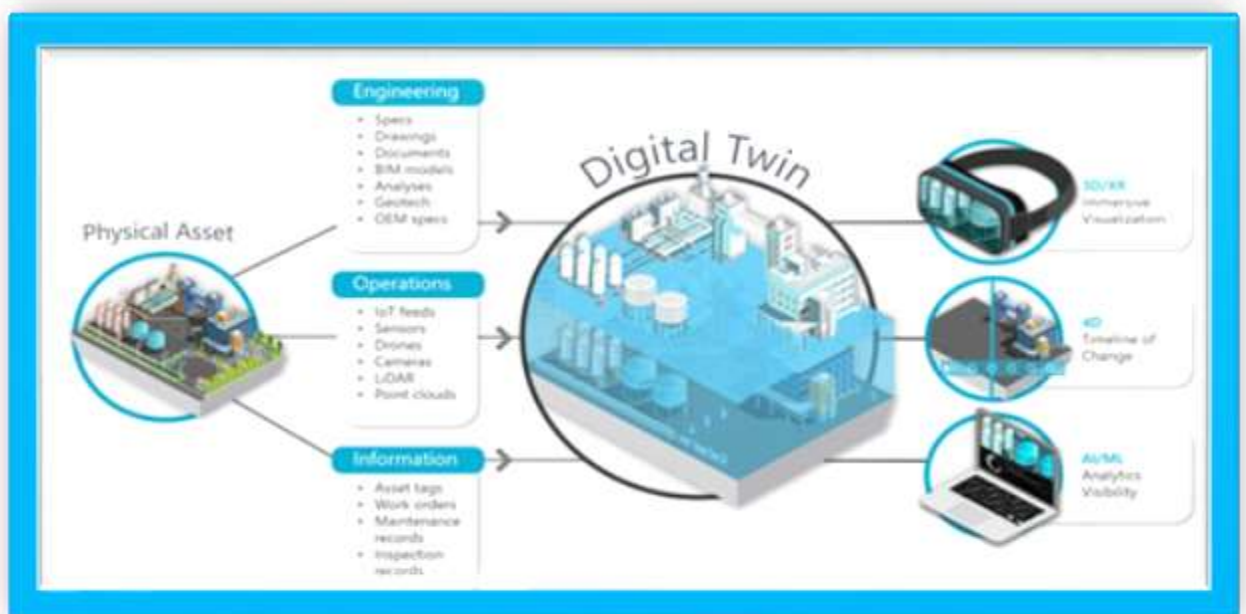
x , είναι η είσοδος αλλά

χ, θ είναι τα διανύσματα των παραμέτρων.

(M. Saggaf, M.N. Toksöz, H.M. Mustafa, 2003)

1.5 Ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins)

Ένα ψηφιακό δίδυμο είναι μια εικονική αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή συστήματος που εκτείνεται στον κύκλο ζωής του, ενημερώνεται από δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιεί προσομοίωση, μηχανική μάθηση και συλλογισμό για να εξυπηρετήσει στη λήψη αποφάσεων, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 9. (Shyam Varan Nath, Pieter van Schalkwyk, Dan Isaacs, 2021)



Εικόνα 9: Αναπαράσταση ενός ψηφιακού διδύμου. Συλλογή δεδομένων από φυσική εγκατάσταση, προσομοίωση-δημιουργία ψηφιακού διδύμου, παρακολούθηση, καλύτερες αποφάσεις. Πηγή: (Bentley, 2022)

Κάποια από τα πλεονεκτήματα και οφέλη των ψηφιακών διδύμων είναι τα εξής:

- **Καλύτερη έρευνα και ανάπτυξη**

Η χρήση των ψηφιακών διδύμων καθιστά δυνατή την αποτελεσματικότερη έρευνα και τον σχεδιασμό προϊόντων με άφθονα δεδομένα που δημιουργούνται σχετικά με πιθανά αποτελέσματα απόδοσης. Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν τις ανάλογες εταιρείες να κάνουν τις απαραίτητες βελτιώσεις προϊόντων πριν ξεκινήσουν την παραγωγή.

- **Μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα**

Τα ψηφιακά δίδυμα, μπορούν να βοηθήσουν στον “καθρέφτη” και την παρακολούθηση συστημάτων παραγωγής με στόχο την επίτευξη και τη διατήρηση της μέγιστης απόδοσης σε όλη τη διαδικασία παραγωγής.

- **Το τέλος του κύκλου ζωής του προϊόντος**

Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν τους κατασκευαστές να αποφασίσουν τι να κάνουν με τα προϊόντα που φτάνουν στο τέλος του κύκλου ζωής των και χρειάζεται να υποβληθούν σε τελική επεξεργασία μέσω ανακύκλωσης ή άλλων τρόπων. Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να καθορίσουν ποια υλικά προϊόντος μπορούν να συλλεχθούν. (Michael Batty, 2018)

1.6 Μεγάλα Δεδομένα (Big Data)

Τα μεγάλα δεδομένα όπως αναφέρει και το όνομα τους, είναι η συλλογή και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων καθώς και η ανακάλυψη κρυφών μοτίβων και άλλων πληροφοριών. Τα μεγάλα δεδομένα συνήθως χρησιμοποιούνται για πληροφορίες που οδηγούν σε

καλύτερες αποφάσεις και στρατηγικές. Στην Εικόνα 10, παρουσιάζονται οι ομοιότητες και διαφορές των μεγάλων δεδομένων και της Μ.Μ.

(Saswat Sarangi, Pankaj Sharma, 2020)

Μεγάλα δεδομένα	Μηχανική Μάθηση
Τα μεγάλα δεδομένων χρησιμοποιούνται για ποικίλους σκοπούς, όπως έρευνα, οικονομικά, δεδομένα πωλήσεων κ.α.	Η μηχανική μάθηση είναι η τεχνολογία πίσω από τις προηγμένες μηχανές προτάσεων (recommendation engines)
Τα μεγάλα δεδομένα χρησιμοποιούν υπάρχουσες πληροφορίες και προσπαθούν να αναγνωρίσουν μοτίβα που μπορούν να εξυπηρετήσουν στη λήψη αποφάσεων	Η μηχανική μάθηση εκπαιδεύεται από τα υπάρχοντα δεδομένα και προσπαθεί να εκπαιδεύεται μόνη της.
Τα μεγάλα δεδομένα αποκαλύπτουν μοτίβα χρησιμοποιώντας ταξινόμηση και ανάλυση αλληλουχίας	Η μηχανική μάθηση χρησιμοποιεί τον ίδιο αλγόριθμο με τα "Big Data" για να μάθει αυτόματα από τη συλλογή δεδομένων
Τα μεγάλα δεδομένα έχουν ενδιαφέρον σε μεγάλα σύνολα δεδομένων (Big datasets), όπου η διαχείριση τόσο μεγάλων συνόλων αποτελεί πρόβλημα	Η μηχανική μάθηση έχει ενδιαφέρον σε μικρά σύνολα δεδομένων
Σκοπός είναι η αποθήκευση μεγάλων συνόλων δεδομένων και η αναγνώριση των μοτίβων	Σκοπός είναι η μάθηση από τα εκπαιδευόμενα δεδομένα και η πρόβλεψη αποτελεσμάτων

Εικόνα 10: Ομοιότητες & Διαφορές "Μεγάλων δεδομένων" και "Μηχανικής Μάθησης". Ιδία επεξεργασία.

1.7 Εξόρυξη δεδομένων (Data mining)

Η εξόρυξη δεδομένων ορίζεται ως η διαδικασία εξαγωγής συγκεκριμένων πληροφοριών από μια βάση δεδομένων που ήταν κρυφή και μη διαθέσιμη για τον χρήστη, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο διαφορετικών τεχνικών όπως Μ.Μ..

Η εξόρυξη δεδομένων χρησιμοποιείται από αλγόριθμους Μ.Μ. για να βρει συνδέσμους μεταξύ διαφόρων γραμμικών και μη γραμμικών σχέσεων.

Οι εταιρείες συχνά χρησιμοποιούν εξόρυξη δεδομένων για να βοηθήσουν στη συλλογή τους σχετικά με διάφορες πτυχές της επιχείρησης όπως η τάση πωλήσεων, η απόδοση παραγωγής, τα στοιχεία ολοκληρώσεων, βασικοί δείκτες του χρηματιστηρίου, κ.λπ. (Ian H. Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall, 2020)

Η εξόρυξη δεδομένων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να εισέλθει μέσω ιστοτόπων, διαδικτυακών πλατφορμών και μέσων κοινωνικής δικτύωσης για συλλογή και κατάρτιση πληροφοριών.

Συχνά η Μ.Μ. και η εξόρυξη δεδομένων είναι στενά συνδεδεμένες. Η εξόρυξη δεδομένων αφορά την εύρεση συγκεκριμένων πληροφοριών ενώ η Μ.Μ. επικεντρώνεται στην απόδοση ενός συγκεκριμένου θέματος με τη δημιουργία μοντέλων υψηλής ακρίβειας.

(Belyadi H., Fathi E., Belyadi F. , 2019)

1.8 Αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πετρελαίου & φυσικού αερίου

Τα δεδομένα που σχετίζονται με τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι μεγάλα (big data) και η διαδικασία καθίσταται εξαιρετικά περίπλοκη για συσχετίσεις δεδομένων. Στον Πίνακα 1 καταγράφονται οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου αναφέροντας το πεδίο εφαρμογής τους, τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα τους.

Πίνακας 11: Περίληψη των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πετρελαίου & φυσικού αερίου με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (R.K. Pandey, A.K. Dahiya, A. Mandal, 2021)

Αλγόριθμος	Εφαρμογή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> • Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN : Artificial neural networks) • Πολυστρωματικό Perceptron (MLP: multi-layer perceptron) • FF: feed forward • Συνάρτηση ακτινικής βάσης (RBF: radial basis function) • Συνελκτικός (CN convolutional) • FN functional • PN probabilistic 	Παλινδρόμηση/ ταξινόμηση/ ομαδοποίηση (Regression/ classification/ clustering)	Οι αλγόριθμοι μάθησης είναι απλοί. Με τα διαθέσιμα δεδομένα μπορεί να υπερέχει οποιουδήποτε άλλου μοντέλου. Δεν εξαρτάται από τη γραμμικότητα κάποιας συνάρτησης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προβλήματα που είναι δύσκολα. Τα ΤΝΔ (ANN) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εργασίες που δεν μπορούν να χειριστούν τα γραμμικά προγράμματα. Εξαιτίας της παράλληλης φύσης των δικτύων, μπορούν να προχωρήσουν χωρίς προβλήματα ακόμα κι αν τα στοιχεία αποτυγχάνουν. Μπορούν να μάθουν από την εμπειρία και να αποφύγουν τον επαναπρογραμματισμό. Είναι εφαρμόσιμη στα περισσότερα προβλήματα.	Είναι στη φύση τους «μαύρο κουτί», οπότε δεν είναι εύκολο να γίνει κατανοητό ή να ερμηνευτεί. Δεν έχουν την ικανότητα γενίκευσης διότι εκτίθεται σε 'overtraining' και μπορούν να απομνημονεύουν συγκεκριμένα δεδομένα. Για μικρά σύνολα δεδομένων, οι προβλέψεις δεν είναι αποδεκτές. Τα νευρωνικά δίκτυα χρειάζονται εκπαίδευση για να χρησιμοποιηθούν. Η αρχιτεκτονική διαφέρει από πρόβλημα σε Πρόβλημα. Για μεγάλα δίκτυα, η εκπαίδευση και η επεξεργασία απαιτούν υψηλό χρόνο. Χρειάζονται ικανότητες παράλληλης επεξεργασίας.

		<p>Είναι ανεκτικό σε ελαττώματα. Μπορεί να μάθει από την εμπειρία. Η επίδραση των μικρών αλλαγών είναι μικρή. Χειρίζετε μη γραμμικά δεδομένα.</p>	<p>Μπορεί να παγιδευτεί στην τοπική βέλτιστη λύση. Καταναλώνει αρκετό χρόνο στην εκπαίδευση του.</p>
<p>Ασαφής λογική (FL : Fuzzy logic)</p>	<p>ταξινόμηση/ ομαδοποίηση</p> <p>Classification/clustering</p>	<p>Γρήγορο, εύκολο, δυνατό με μηδαμινές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Δίνει έναν συνδυασμό εικόνας αριθμητικών και συμβολικών συστημάτων. Μπορεί να χειριστεί προβλήματα με αυστηρές προϋποθέσεις ή ακόμα και χωρίς ακριβή λύση. Μπορεί να περιγραφεί με λίγα σημεία δεδομένων ή κατά προσέγγιση σύνολα δεδομένων. Απλή συλλογιστική, εφαρμογή και μπορεί να χειριστεί αβεβαιότητες και μη γραμμικότητες. Είναι σε θέση να ανιχνεύσει το βέλτιστο υπερεπίπεδο του Διαχωρισμού. Ασχολείται με υψηλότερους βαθμούς διαστάσεων. Οι πυρήνες του μπορούν να μάθουν ακριβείς έννοιες. Διάσταση Varnik–Chervonenkis. Λειτουργεί καλά συνήθως.</p>	<p>Ο αλγόριθμος FL χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση χαμηλών υπολογιστικών δυνατοτήτων.</p> <p>Δεν είναι εύκολο να αποδείξει τα χαρακτηριστικά του συστήματος καθότι τυγχάνει έλλειψης μαθηματικών.</p> <p>Έλλειψη δύναμης. Κατά την εκπαίδευση του χρειάζεται να του δωθούν θετικά και αρνητικά παραδείγματα.</p>
<p>Υποστήριξη διανυσματικού</p>	<p>Παλινδρόμηση/ ταξινόμηση/ ομαδοποίηση</p>	<p>Παρέχει ταξινομητές υψηλής ακρίβειας.</p>	<p>Είναι μια τεχνική δυαδικής ταξινόμησης, άρα</p>

<p>παράγοντα (SVM : Support vector machine)</p>	<p>Regression/ classification/ clustering</p>	<p>Προτιμάται για εφαρμογές ταξινόμησης κειμένου που είναι συνήθως προβλήματα υψηλών διαστάσεων.</p> <p>Εντατική κατανάλωση μνήμης.</p> <p>Παρέχει χρήσιμες πληροφορίες από μικρά σύνολα δεδομένων.</p> <p>Είναι εύκολο στην κατανόηση και η ετοιμασία των δεδομένων καθίσταται γρήγορη.</p> <p>Μπορεί να διαχειριστεί τόσο αριθμητικά αλλά και κατηγορικά δεδομένα.</p> <p>Μπορούν να χρησιμοποιηθούν στατιστικά δεδομένα για την εξακρίβωση των μοντέλων.</p> <p>Μπορεί να διαχειρίζεται μεγάλα δεδομένα σε μικρό χρονικό διάστημα.</p>	<p>Χρειάζεται ταξινόμηση κατά ζεύγη για να πραγματοποιηθεί πολυταξική ταξινόμηση που σημαίνει μία τάξη ενάντια σε όλους τους άλλους, για όλες τις τάξεις.</p> <p>Εκτελείται αργά και απαιτεί υψηλό υπολογιστική δύναμη.</p> <p>Χαμηλή η απόδοση του στα μεγάλα δεδομένα.</p>
<p>Δέντρα απόφασης (DT : Decision tree)</p>	<p>Παλινδρόμηση/ ταξινόμηση/ ομαδοποίηση</p> <p>Regression/ classification/ clustering</p>	<p>Η μη γραμμικότητα μεταξύ των παραμέτρων δεν επηρεάζει την απόδοση των δέντρων απόφασης.</p> <p>Ερμηνεύσιμο.</p> <p>Σε περίπτωση λίγων μεταβλητών πρόβλεψης, είναι εύκολο να κατανοήσεις.</p> <p>Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη δημιουργία μοντέλων που περιέχουν ειδικούς τύπους δεδομένων, όπως κείμενο.</p>	<p>Έχουν τεράστιες απαιτήσεις αποθήκευσης.</p> <p>Η επιλογή της συνάρτησης ομοιότητας που χρησιμοποιείται για τη συσχέτιση περιπτώσεων είναι ευαίσθητη.</p> <p>Δεν υπάρχουν σαφείς αρχές για την επιλογή k.</p> <p>Ο υπολογιστικός ρυθμός είναι υψηλός.</p>
<p>KNN : K nearest neighbors</p>	<p>ταξινόμηση/ ομαδοποίηση</p> <p>Classification/ clustering</p>	<p>Οι κλάσεις δεν χρειάζεται να είναι γραμμικά διαιρετές.</p> <p>Κατανωτή και εύκολη στην εφαρμογή τεχνική.</p>	<p>Τείνει να αγνοεί τη σημασία των χαρακτηριστικών.</p> <p>Υποτονικός και ακριβός αλγόριθμος.</p> <p>Ευαίσθητο σε τοπική</p>

		<p>Μπορεί να εκπαιδευτεί γρήγορα.</p> <p>Ανθεκτικό σε περίπτωση σχετικού θορύβου.</p> <p>Είναι κυρίως κατάλληλο για πολυτροπική ταξινόμηση.</p> <p>Υψηλή απόδοση.</p>	<p>Δομή δεδομένων.</p> <p>Περιορισμός μνήμης.</p> <p>Εποπτευόμενος τύπος μάθησης.</p>
Τυχαία δάση (RF : Random forest)	ταξινόμηση/ ομαδοποίηση Classification/ clustering	Μπορεί να μάθει σταδιακά.	<p>Δεν εξαρτάται από τις μεταβλητές.</p> <p>Αγνοεί την αρχική γεωμετρία των δεδομένων.</p> <p>Χαμηλή απόδοση με δεδομένα εκπαίδευσης που σχετίζονται με χαρακτηριστικά.</p>
K-means	ταξινόμηση/ ομαδοποίηση Classification/ clustering	<p>Το σημείο δεδομένων επιτρέπεται να υπάρχει σε διαφορετικές Συστάδες (clusters).</p> <p>Φυσιολογική αναπαράσταση της συμπεριφοράς των γονιδίων.</p> <p>Μεταβλητό μοντέλο που μπορεί να προσαρμόσει διαφορετική κατανομή δεδομένων.</p> <p>Εάν τα δεδομένα εκπαίδευσης αυξηθούν, ο αριθμός των παραμέτρων δεν αλλάζει.</p>	<p>Ανάγκη καθορισμού αριθμού συστάδων c.</p> <p>Πρέπει να οριστεί η αποκοπή της ιδιότητας μέλους.</p> <p>Η αρχική αντιστοίχιση των κεντροειδών επηρεάζει τις συστάδες.</p> <p>Σε ορισμένες περιπτώσεις, η σύγκλιση είναι αργή.</p>
Fuzzy C-means	ταξινόμηση/ ομαδοποίηση Classification/ clustering	<p>Εύκολος στην κατανόηση Αλγόριθμος.</p> <p>Ως τεχνική τοπολογικής ομαδοποίησης χωρίς επίβλεψη, μπορεί να χειριστεί δεδομένα μη γραμμικά.</p> <p>Μοναδική δυνατότητα μείωσης κατευθυντικότητας</p> <p>Μπορεί να μετατρέψει πρόβλημα υψηλών διαστάσεων σε 1–2 Διαστάσεις.</p>	Χρονοβόρα τεχνική.

<p>Επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο (RNN Recurrent neural network)</p>	<p>Παλινδρόμηση/ ταξινόμηση/ Regression/ classification/</p>	<p>Μπορεί να καταγράψει τις πληροφορίες ως ενεργοποιήσεις συσχετιζόμενες με το χρόνο. Μπορεί να διαχειρίζετε διαδοχικές πληροφορίες τυχαίες σε μήκος.</p>	<p>Επηρεάζεται από τον τύπο εξαφάνισης της κλίσης.</p>
<p>Συνελικτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN Convolutional neural network)</p>	<p>Παλινδρόμηση/ ταξινόμηση/ επεξεργασία εικόνας Regression/ classification/ image processing</p>	<p>Δυνατότητα εντοπισμού σχετικών χαρακτηριστικών μόνο από δοθέντα Σύνολα δεδομένων. Οι ίδιες παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικά Προβλήματα. Γρήγορη εκπαίδευση.</p>	<p>Ο συντονισμός των παραμέτρων είναι δύσκολος. Απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων.</p>
<p>Παραγωγικό ανταγωνιστικό δίκτυο (GAN Generative adversarial network)</p>	<p>Παλινδρόμηση/ ταξινόμηση Regression/ classification</p>	<p>Δεν χρειάζονται τεχνικές προσέγγισης. Δεν απαιτεί πολλές καταχωρήσεις στα δείγματα.</p>	<p>Η ποιότητα μπορεί να είναι χαμηλή. Ασταθής εκπαίδευση. Η δημιουργία διακριτών δεδομένων καθίστανται δύσκολη.</p>
<p>Δίκτυο βαθιών πεποιθήσεων (DBN Deep belief network)</p>	<p>Παλινδρόμηση/ ταξινόμηση Regression/ classification</p>	<p>Η στρατηγική μάθησης επίπεδο προς επίπεδο το καθιστά ικανό να μάθει τα χαρακτηριστικά. Ασχολείται με δεδομένα χωρίς ετικέτα και μπορεί να είναι ασφαλής από τα θέματα overftting και underftting. Δεν επηρεάζεται από τον κατακερματισμό της εκπαίδευσης των δεδομένων .</p>	<p>Ορισμένοι αλγόριθμοι πριν την εκπαίδευση τους, μειώνουν την απόδοση τους καθώς τα δεδομένα εισόδου συμπιέζονται. Ο χρόνος εκτέλεσης είναι μεγάλος. Χαμηλότερη ποιότητα εξόδου.</p>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ & ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου αποτελεί την σημαντικότερη βιομηχανία στην αγορά της ενέργειας και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία.

Οι διαδικασίες αλλά και τα συστήματα που εμπλέκονται στην παραγωγή και την διανομή του πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι εξαιρετικά περίπλοκα και απαιτούν την συνύπαρξη τεχνογνωσίας, τεχνολογίας, κεφαλαίου.

Ιστορικά το φυσικό αέριο έχει συνδεθεί με το πετρέλαιο εξαιτίας της παραγωγικής διαδικασίας. Το φυσικό αέριο θεωρούταν ενοχλητικό και ακόμη και σήμερα αναφλέγεται σε ορισμένα μέρη του κόσμου. (Peter R. Hartley, Kenneth B Medlock, III, Jennifer E. Rosthal, 2019)

Σε παλαιότερες εποχές το φυσικό αέριο παραγόταν ως υποπροϊόν της γεώτρησης πετρελαίου. Η έλλειψη υποδομών, προκάλεσε προβλήματα στην εκμετάλλευση αυτού του φυσικού πόρου κατά τα παλαιότερα χρόνια.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στη γεώτρηση, τις μεταφορές και την επεξεργασία, επέτρεψαν στο φυσικό αέριο να διεισδύσει στην βιομηχανία ενεργειακών πόρων.

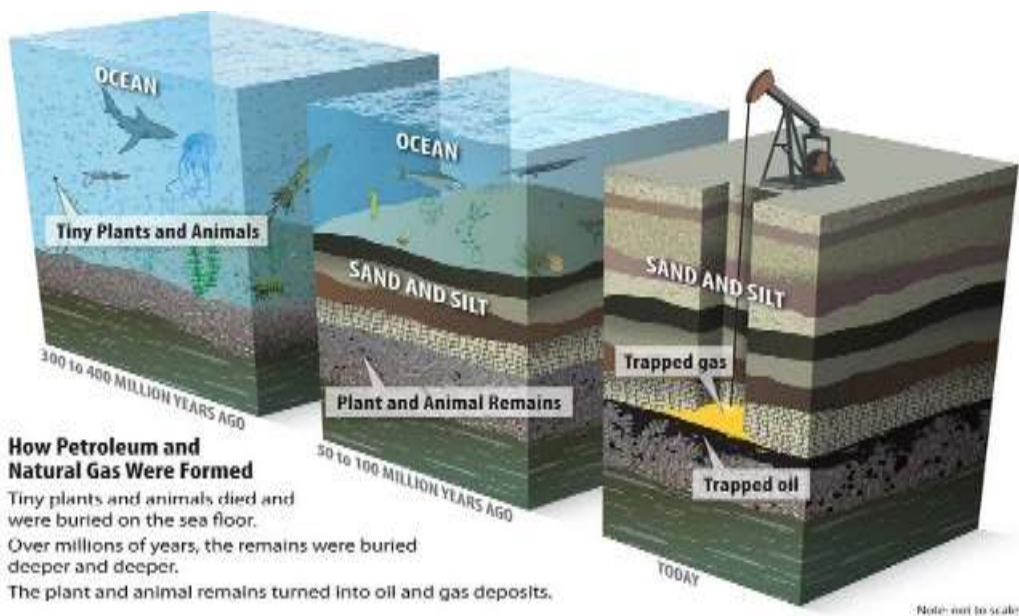
Το φυσικό αέριο έχει αναλάβει εξέχοντα ρόλο στον ενεργειακό εφοδιασμό του κόσμου ως συνέπεια της ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου και των χαμηλότερων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την καύση του συγκριτικά με το πετρέλαιο και τον άνθρακα. (Ma, 2017)

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε τις δραστηριότητες της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου, θα καλύψουμε την

σύντομη ιστορία του κλάδου και θα αναφερθούμε στον σχηματισμό υδρογονανθράκων.

2.1 Περιγραφή σχηματισμού Υδρογονανθράκων

Η δημιουργία του πετρελαίου είναι μία φυσική διαδικασία η οποία ξεκινά πριν εκατομμύρια χρόνια με την συλλογή στον πυθμένα του ωκεανού ή των βάλτων αποσυντιθένης ύλης προερχόμενης από ζωοπλαγκτόν και φυτοπλαγκτόν. (N.B. Vassoyevich , Yu. I. Korchagina , N.V. Lopatin & V.V. Chernyshev, 2009)



Εικόνα 11: Σχηματισμός πετρελαίου και φυσικού αερίου. Πηγή: (Leicester Middle school, 2022)

Η συλλογή της νεκρής οργανικής ύλης στον πυθμένα των ωκεανών καλύφθηκε με το πέρας των ετών από ανόργανο υλικό εισερχόμενο διαμέσω των ποταμών σε αναερόβιες συνθήκες. Τα ιζήματα στη διάρκεια των ετών αυξήθηκαν, η πίεση και η θερμοκρασία επίσης και το οργανικό υλικό μετατράπηκε με αργό ρυθμό σε μια συλλογή υδρογονανθράκων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11.

Οι αρχαίες θάλασσες με την πάροδο των ετών στέρεψαν και παρέμειναν ξηρές λεκάνες, τις οποίες ονομάζουμε ιζηματογενείς λεκάνες. Κάτω από τις ιζηματογενείς λεκάνες, το οργανικό υλικό μεταξύ του μανδύα της γης συμπίεστηκε με πολύ υψηλές θερμοκρασίες και εκατομμύρια τόνους πετρωμάτων και ιζημάτων από πάνω.

Σε αναερόβιες συνθήκες, η οργανική ύλη άρχισε να μετατρέπεται σε κηρογόνο⁷.

Η συνεχόμενη πάροδος των ετών, η αύξηση της θερμότητας και της πίεσης, μετασχημάτισαν το κηρογόνο με τη διαδικασία της καταγένεσης, σε υδρογονάνθρακες. Διαφορετικοί συνδυασμοί μπορούν να δημιουργήσουν διαφορετικές μορφές υδρογονανθράκων. Οι ιζηματογενείς λεκάνες αποτελούν την βασική πηγή πετρελαίου.

Στη συνέχεια, στο στάδιο της καταγένεσης⁸, το κηρογόνο μετατρέπεται σε φυσικό αέριο και πετρέλαιο, με την μεγαλύτερη ποσότητα υδρογονανθράκων να δημιουργείται σε αυτό ακριβώς το στάδιο.

(Andrew S.Pepper, Peter J.Corvi, 1995)

Ακολουθεί το στάδιο της μεταγένεσης⁹, κατά το οποίο παράγεται ξηρό αέριο και άλλες στερεές δομές από το υπολλειμματικό κηρογόνο, τα πυροβιτουμένια.

⁷ Με τον όρο κηρογόνο εννοούμε την ομάδα των αδιάλυτων σε οργανικούς διαλύτες συστατικών του οργανικού υλικού στα ιζήματα. Δημιουργείται στο στάδιο της διαγένεσης και έχει εκτιμώμενη ποσότητα στη φύση 1000 φορές μεγαλύτερη από άνθρακα και πετρέλαιο αθροιστικά. Πηγή: (Ζεληλίδης, 2022)

⁸ Στο στάδιο της καταγένεσης, συναντάμε το παράθυρο γένεσης του πετρελαίου (oil window), το οποίο εκτείνεται έως τους 175°C , ενώ σε θερμοκρασίες με τιμή άνω των 225°C , παράγονται μόνο αέριοι υδρογονάνθρακες. Πηγή:

⁹ Στο στάδιο της μεταγένεσης παράγεται αποκλειστικά σχεδόν ξηρό αέριο (μεθάνιο) από τη θερμική διάσπαση δεσμών C-C των υδρογονανθράκων που έχουν δημιουργηθεί στα προηγούμενα στάδια ωρίμανσης. Πηγή:

Ο σχηματισμός του πετρελαίου δεν μπορεί να εξηγηθεί ικανοποιητικά, υπάρχουν μέχρι σήμερα αρκετές αντικρουόμενες απόψεις με τις έρευνες να συνεχίζονται ακόμη.

(MikaelHöökUgoBardibLianyongFengcXiongqiPangd, 2010)

Υπάρχουν ειδικοί που υποστηρίζουν πως το πετρέλαιο σχηματίστηκε από ανόργανα συστατικά. (Δ.Καρώνης, Ε.Λόης, Φ.Ζαννίκος)

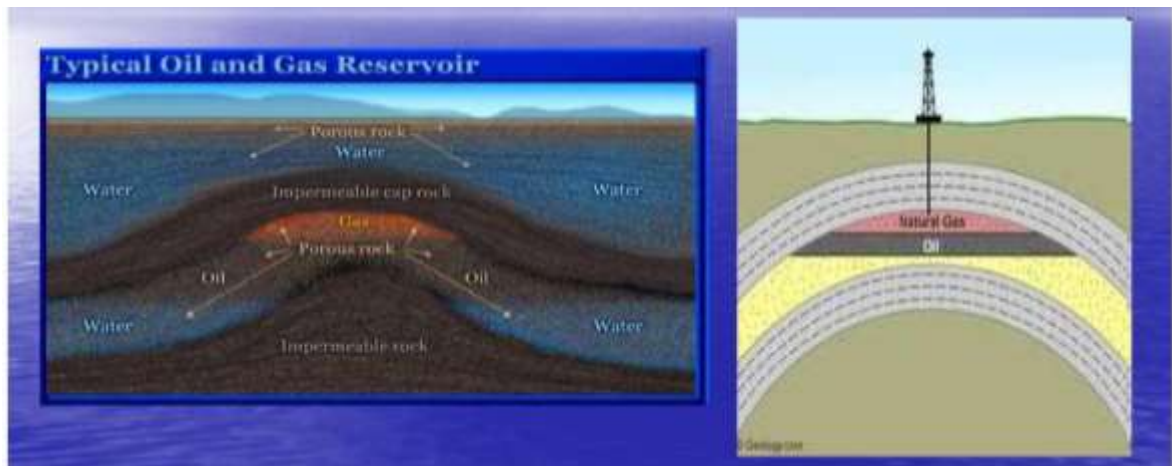
2.2 Διαδικασία & τεχνικές εξερεύνησης πετρελαίου και φυσικού αερίου

Το πετρέλαιο βρίσκεται σε υπόγειους θήλακες, τις λεγόμενες δεξαμενές (reservoirs), όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 12.

Η πίεση βαθιά κάτω από τη γη είναι υψηλή, έτσι το πετρέλαιο διαφεύγει αργά προς την επιφάνεια, εκεί όπου υπάρχει χαμηλότερη πίεση.

Η κίνηση του πετρελαίου από υψηλότερη σε χαμηλότερη πίεση συνεχίζεται έως ότου συναντήσει ένα αδιαπέραστο στρώμα βράχου και συλλέγεται στους λεγόμενους ταμιευτήρες. (Andrew S. Pepper, Peter J. Corvi, 1995)

Η εύρεση των ταμιευτήρων πετρελαίου ονομάζεται **εξερεύνηση**.



Εικόνα 12: Τυπικός ταμιευτήρας πετρελαίου & φυσικού αερίου. Πηγή: (Φυσικό αέριο, Μεθάνιο, 2010)

Σε κάθε περίπτωση, τα ερευνητικά φρέατα θα επιβεβαιώσουν τις πιθανότητες ύπαρξης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η συγκεκριμένη διαδικασία καθίσταται δαπανηρή και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και εξοπλισμό.

Η εύρεση του κατάλληλου σημείου της γέωτρησης πέραν από επιστήμη απαιτεί και τέχνη. Η πρωταρχική αναζήτηση υδρογονανθράκων συχνά ξεκινά με την παρατήρηση του επιφανειακού εδάφους.

Η θέση των ρηγμάτων στην επιφάνεια είναι σημαντική διότι υποδεικνύει τις πιθανές δομικές παγίδες κάτω από την επιφάνεια στα πετρώματα του ταμιευτήρα.



Εικόνα 13: Πιθανές δομικές παγίδες κάτω από την επιφάνεια σε πετρώματα ταμιευτήρα. Πηγή: (Louisiana Government, 2000)

Ένας άλλος τρόπος εύρεσης των πιθανών δομικών παγίδων είναι η παρατήρηση των αντικλίνων. Οι φυσικές διαρροές αργού πετρελαίου, μαυρίζουν το έδαφος και απλώνουν σαν φιλμ ουράνιου τόξου στα ρέματα.



Εικόνα 14: Η παρατήρηση αντικλίνων, δείχνει επίσης πιθανές παγίδες σε βάθος. Πηγή: (Louisiana Government, 2000)

Αυτές οι άμεσες αποδείξεις είναι χρήσιμες αλλά τα μέρη με τα συγκεκριμένα σημάδια έχουν ήδη εντοπιστεί και εξερευνηθεί προ πολλού. Καλείται λοιπόν σήμερα ο σύγχρονος γεωλόγος της εξερεύνησης να βασιστεί και να χρησιμοποιήσει άλλες τεχνικές.

Οι 3 κύριες μέθοδοι για την εύρεση υδρογονανθράκων στο υπέδαφος είναι:

- Γεωφυσική (Geophysical)
- Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing)
- Wildcatting ¹⁰

¹⁰ Όρος που χρησιμοποιείται από την βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου όταν επιχειρούνται δοκιμαστικές γεωτρήσεις σε ανεξερεύνητες ή άγριες περιοχές

2.3 Περιγραφή Γεωφυσικών μεθόδων εξερεύνησης υδρογονανθράκων

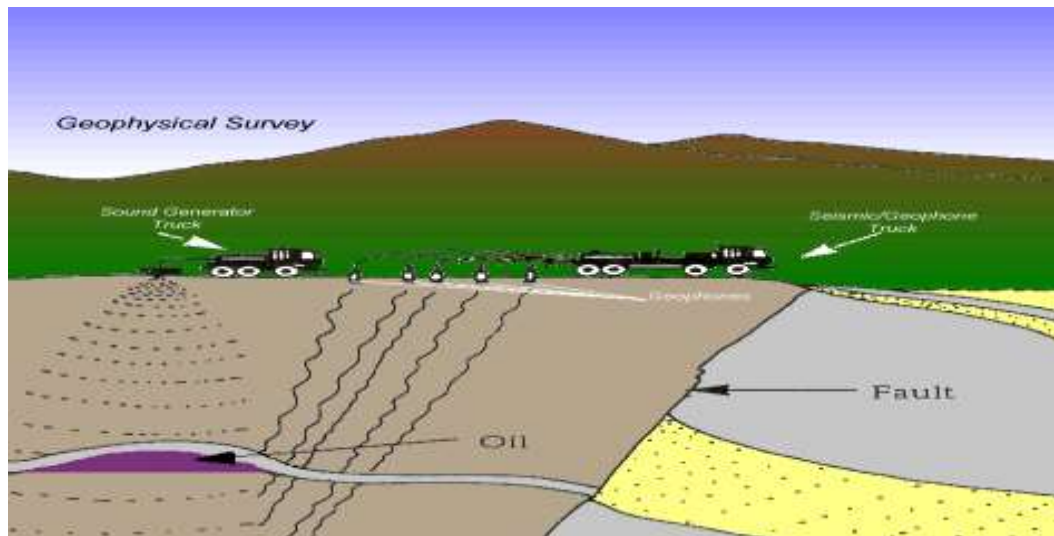
Οι γεωφυσικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξερεύνηση πετρελαίου χρησιμοποιούν κατάλληλο εξοπλισμό για την μέτρηση των ηλεκτρικών ρευμάτων, τη μέτρηση βαρυτικής και μαγνητικής ανωμαλίας, τη ροή της θερμότητας, τις διακυμάνσεις πυκνότητας.

Κάθε μία τεχνική από τις προαναφερόμενες, καταγράφει ένα διαφορετικό σύνολο χαρακτηριστικών που μπορούν να αξιοποιηθούν για τον εντοπισμό υδρογονανθράκων.

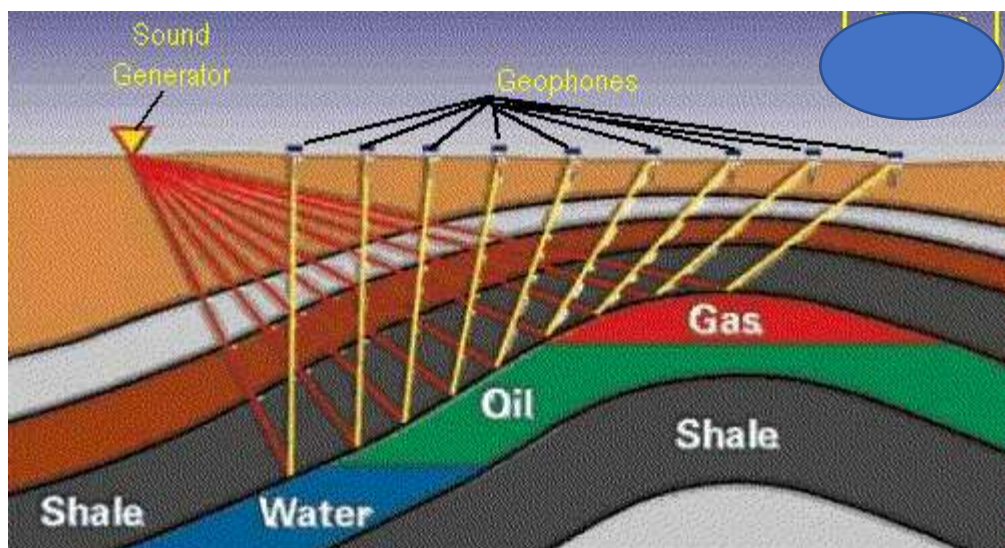
Οι σεισμικές έρευνες χρησιμοποιούν δόνηση που πυροδοτείται είτε με την χρήση εκρηκτικών είτε με εξοπλισμό παραγωγής ήχου για να αποκτήσουν μία εικόνα των υπόγειων πετρωμάτων συχνά έως και 30.000 πόδια κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Below Ground Level). (ZHANG Chun-He, QIAO De-Wu , LI Shi-Zhen, ZHANG Ying, YANG Hui, HU Lai-Dong, SHANG Ying-Jun, XU Lei-Liang, CHAI Ji-Tang, TAN Han-Dong, LIU Jin-Song, 2011)

Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ηχητικών κυμάτων προς τον φλοιό της γης, τα οποία αντανακλούν διάφορα όρια μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων βράχων.

Στην ξηρά, τα ηχητικά κύματα παράγονται από μικρά εκρηκτικά ή από φορτηγά δόνησης, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 15 & 16.



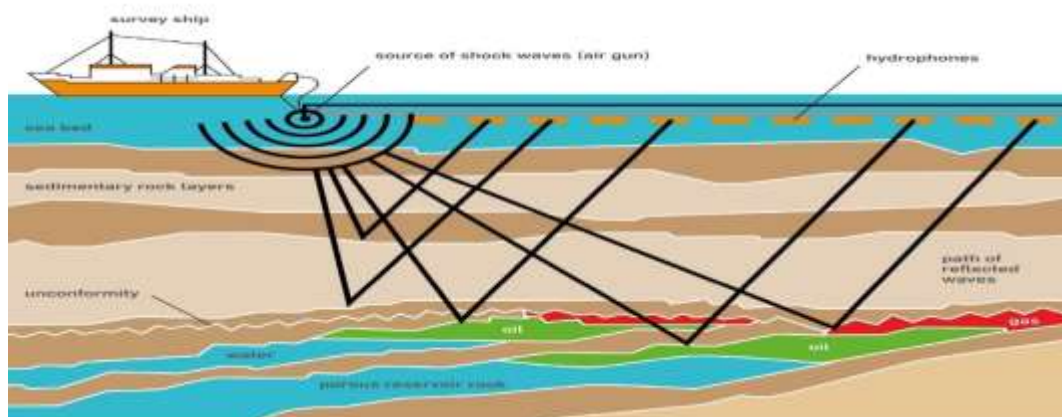
Εικόνα 15: Απεικόνιση γεωφυσικής έρευνας στην ξηρά. Παρατηρούμε το φορτηγό που δημιουργεί την δόνηση και τα γεώφωνα που λαμβάνουν τα ανακλώμενα ηχητικά κύματα και τα δεδομένα καταγράφονται σε μαγνητική ταινία που εκτυπώνεται για να αναπαραχθεί ένα γραφικό 2 διαστάσεων απεικονίζοντας την υπόγεια γεωλογία. Πηγή: (Louisiana Government, 2000)



Εικόνα 16: Απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας μιας σεισμικής έρευνας. Πηγή: (Louisiana Government, 2000)

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης, εδώ και 4 δεκαετίες αποτελεί το κύριο στοιχείο της σύγχρονης εξερεύνησης και πέραν των μελετών που απεικονίζουν τις γεωλογικές δομές, το πάχος της ακολουθίας των πετρωμάτων, η έρευνα ξεκινά με μετρήσεις σεισμικής ανάκλασης.

Στις υπεράκτιες έρευνες τα σκάφη ρυμουλκούν καλώδια στο νερό που περιέχουν υδρόφωνα¹¹, όπως φαίνεται στην Εικόνα 17. Τα ηχητικά κύματα δημιουργούνται από παλμούς πεπιεσμένου αέρα που δημιουργούν μεγάλες φυσαλίδες, οι οποίες σκάνε κάτω από την επιφάνεια του νερού δημιουργώντας ήχο.



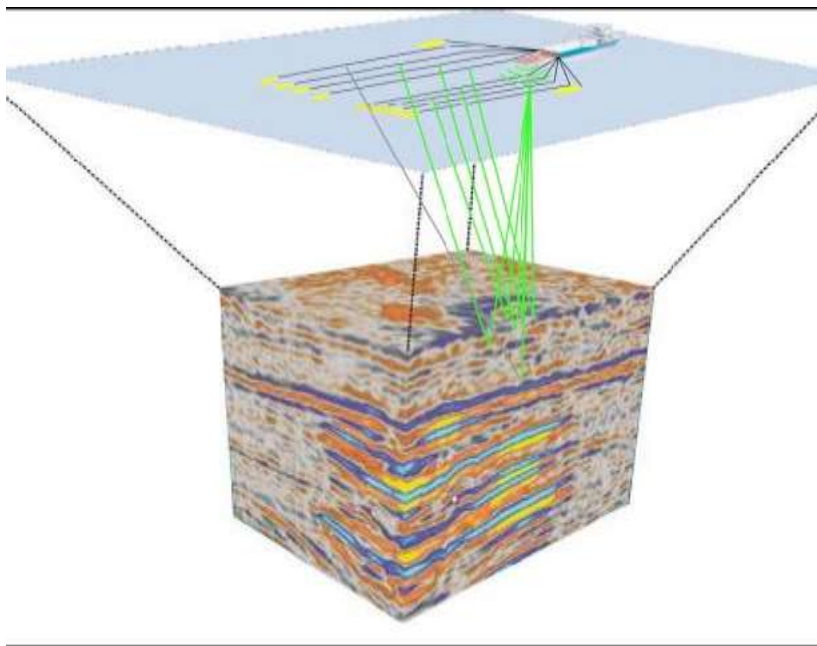
Εικόνα 17: Σεισμική έρευνα υδρογονανθράκων offshore. Πηγή: (12G cloud, 2022)

Με αυτόν τον τρόπο τα ηχητικά κύματα ταξιδεύουν μέχρι τον πυθμένα της θάλασσας, διαπερνούν τους βράχους και επιστρέφουν στην επιφάνεια όπου αναχαιτίζονται από τα υδρόφωνα. Η επεξεργασία και η απεικόνιση είναι όμοια με την διαδικασία που χρησιμοποιείται στην ξηρά.

Τα ηχητικά κύματα τα οποία στέλνονται στη γη, αντανακλώνται από τα διαφορετικά στρώματα βράχου. Ο χρόνος που χρειάζεται για να επιστρέψουν στην επιφάνεια μετριέται συναρτήση του χρόνου και έτσι αποκαλύπτει το βάθος των ανακλαστικών στρωμάτων. Όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα τόσο βαθύτερο είναι το στρώμα βράχου. Επιπροσθέτως, διαφορετικοί βράχοι μεταδίδουν διαφορετικά ηχητικά κύματα και έτσι καθορίζεται ο τύπος βράχου που υπάρχει.

¹¹ Το υδρόφωνο είναι μία συσκευή που χρησιμοποιείται για τη λήψη ηχητικών κυμάτων (πίεσης) μέσα στο νερό. Οι περισσότεροι τύποι υδρόφωνων βασίζονται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.

Σήμερα, υπάρχουν πιο εξελιγμένες σεισμικές έρευνες, οι οποίες είναι τρισδιάστατες. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα επεξεργάζονται από υπολογιστή παρέχοντας μεγαλύτερη λεπτομέρεια των σχηματισμών και των δομών κάτω από την επιφάνεια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 18 .
(Berkhout, 1987)



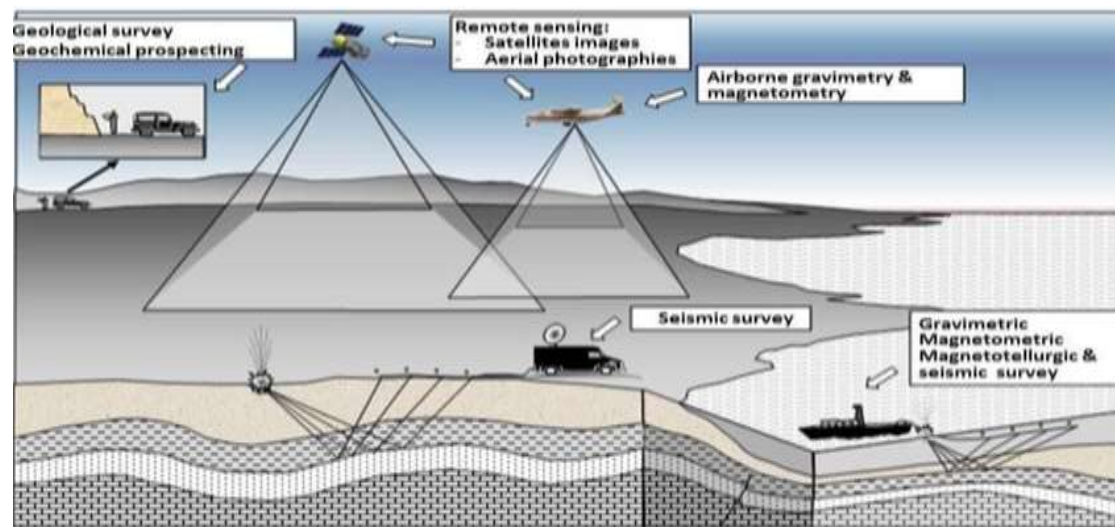
Εικόνα 18: Απεικόνιση τρισδιάστατης σεισμικής έρευνας, που δείχνει απλοποιημένη διαμόρφωση του σεισμικού σκάφους και του υποεπιφανειακού κύβου δεδομένων. Πηγή: (Cameselle, 2010)

Το μαγνητόμετρο, το οποίο ανιχνεύει το μαγνητικό πεδίο της γης, είναι μία συσκευή που τραβιέται πίσω από ένα αεροπλάνο σε ένα μακρύ καλώδιο και ανιχνεύει τις διακυμάνσεις του μαγνητικού πεδίου, στην Εικόνα 19 απεικονίζονται οι κυριότερες τεχνικές γεωφυσικών ερευνών .

Συγκριτικά με άλλους τύπους πετρωμάτων, τα ιζηματογενή πετρώματα έχουν χαμηλές μαγνητικές ιδιότητες. Το βαρύμετρο μετρά τις μικρές διαφορές στην έλξη της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης. (βλέπε Εικόνα 19)

Η χαρτογράφηση αυτών των διαφορών, αποκαλύπτει μεγάλες μάζες πυκνών υπόγειων πετρωμάτων επιτρέποντας στους γεωλόγους να αποκτήσουν πληρέστερη εικόνα για τις δομές κάτω από το έδαφος.

Η γεωχημική έρευνα, χρησιμοποιεί ευαίσθητα όργανα για την ανίχνευση μικρών ποσοτήτων αερίων που διαρρέουν πάνω από τα κοιτάσματα πετρελαίου.

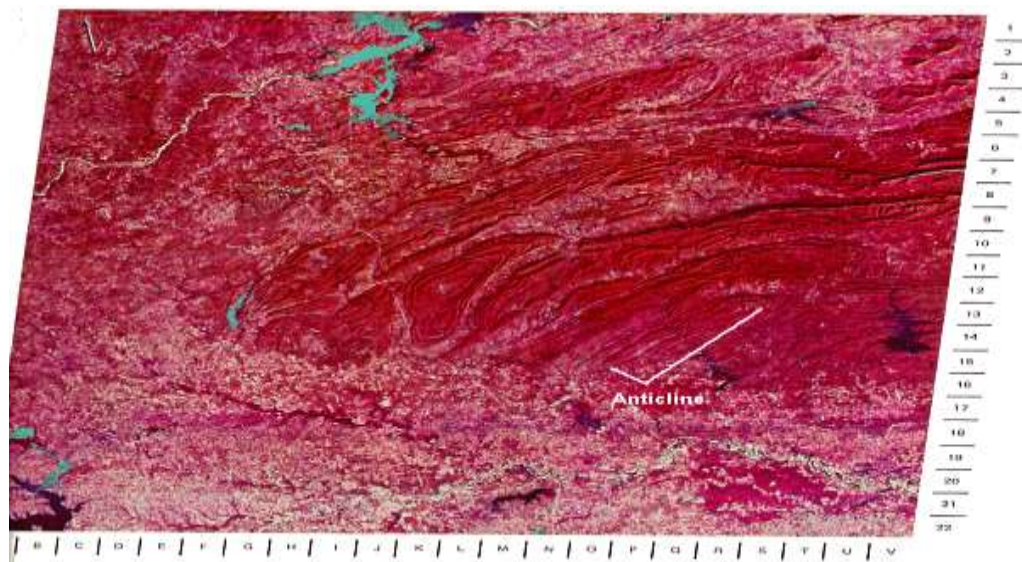


Εικόνα 19: Τεχνικές εξερεύνησης υδρογονανθράκων. Πηγή: (S.H. Xu, C.C. Bi, Y. Zhang, 2015)

Η χρήση αεροφωτογραφιών (βλέπε Εικόνα 19) για τον εντοπισμό και την χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης, ονομάζεται τηλεπισκόπηση (Remote Sensing). Αυτές οι δορυφορικές εικόνες αποκαλύπτουν πέραν του οφθαλμού, παραλλαγές στην υγρασία του εδάφους, την κατανομή των ορυκτών και της βλάστησης, τον τύπο του εδάφους. (TRONIN, 2007)

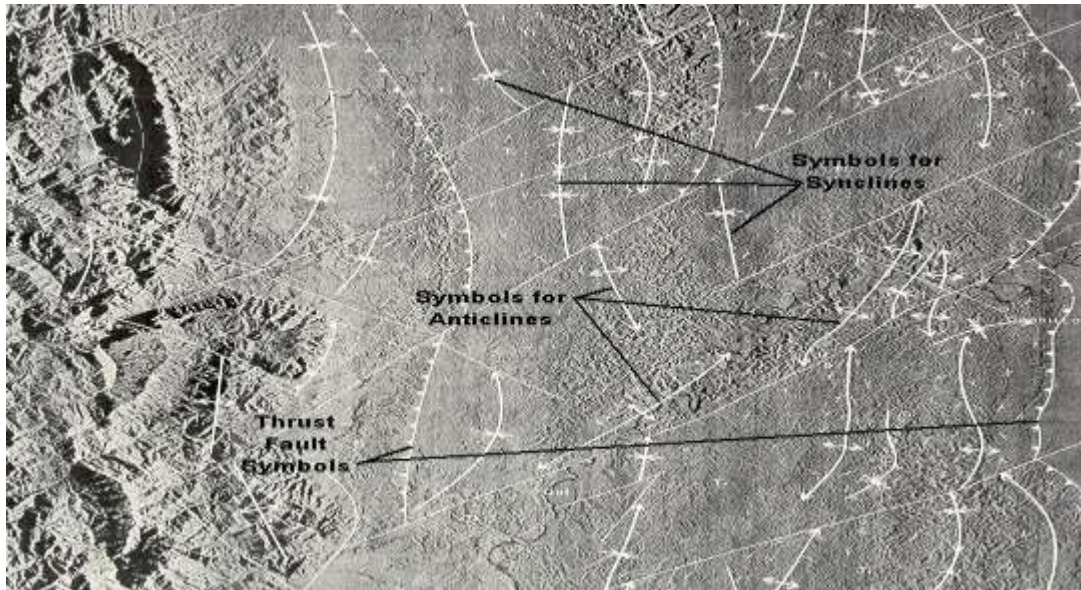
Στην Εικόνα 20, απεικονίζεται μία δορυφορική εικόνα που λήφθηκε το 1972 από δορυφόρο της NASA σε τροχιά 500 μίλια έξω στο διάστημα. Η εικόνα δείχνει την τοπογραφία της επιφάνειας μιας περιοχής στην Οκλαχόμα με το όνομα *Quachita Mountains*. (Louisiana Government, 2000)

Μία άλλη τεχνική τηλεπισκόπησης είναι η χρήση εικόνων που δημιουργήθηκαν από ένα ρανταρ που κοιτάζει το έδαφος, το λεγόμενο Airborne Rantar (SLAR). Μερικές από αυτές τις εικόνες μεταδίδονται με αεροσκάφος ενώ άλλες μέσω δορυφόρων ή διαστημικού λεωφορείου.



Εικόνα 20: Δορυφορική εικόνα. Η σειρά των γραμμών και των βελών υποδεικνύει τον τύπο της δομής που υπάρχει στην επιφάνεια. Αυτά τα βουνά, αποτελούνται από έναν συνδυασμό δομών, τα αντίκλινα, συγκλίνα και ρήγματα. Αυτές οι δομές σχηματίζουν διάφορους τύπους παγίδων υδρογονανθράκων. Πηγή: (Louisiana Government, 2000)

Υπάρχουν περιοχές όπου εξαιτίας συνεχόμενης κάλυψης από σύννεφα, δεν έχουν εξερευνηθεί ποτέ. Η εικόνα SLAR όμως, επιτρέπει στους γεωλόγους την εύρεση αντίκλινων για τον προσδιορισμό υδρογονανθράκων. Στην Εικόνα 21 παρουσιάζεται μία εικόνα SLAR όπου απεικονίζονται τα αντίκλινα και τα σύγκλινα.

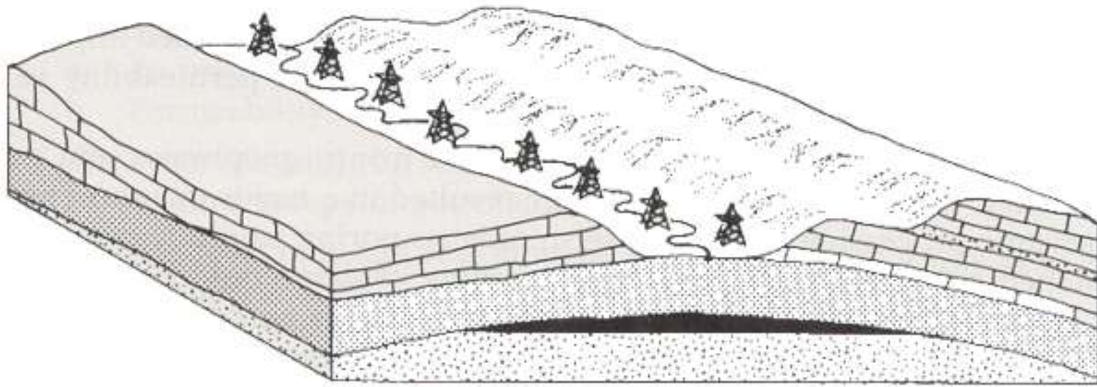


Εικόνα 21: Αεροφωτογραφία τύπου SLAR όπου απεικονίζονται τα αντίκλινα και τα σύγκλινα για τον προσδιορισμό υδρογονανθράκων. Πηγή: (Louisiana Government, 2000)

Όπως ήδη αναφέραμε, όταν επιχειρείται η διάνυξη ενός φρεατίου σε περιοχή που δεν υπάρχουν πληροφορίες ή δεν έχουν ανοιχτεί άλλα πηγάδια, η διαδικασία ονομάζεται *wildcat*. Η καταγεγραμμένη στατιστική υποδεικνύει πως 1 στα 10 πηγάδια *wildcat* βρίσκει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, ενώ μόνο 1 στα 50 καταφέρνει να εντοπίσει οικονομικά σημαντικές ποσότητες.

Τα πηγάδια *wildcat* βασίζονται είτε στην διαίσθηση είτε στην εμπειρία. Στην Εικόνα 22, φαίνεται ένα από τα πρώτα εργαλεία εξερεύνησης ‘*wildcat*’, που αναφέρεται ως “*creekology*”¹².

¹² **Creekology**, ονομάζεται η μέθοδος αναζήτησης πετρελαίου που εμφανίστηκε τον 19ο αιώνα στις Νότιες πολιτείες πετρελαίου & φυσικού αερίου των ΗΠΑ. Στην απλούστερη μορφή του, είναι η αναζήτηση για υπέργειες ενδείξεις πετρελαίου, όπως φυσικές διαρροές και κολπίσκοι.



Εικόνα 22: Αναζήτηση πετρελαίου με τη μέθοδο creekology. Πηγή: (Andi AB Salahuddin – Senior Reservoir Geologist, 2020)

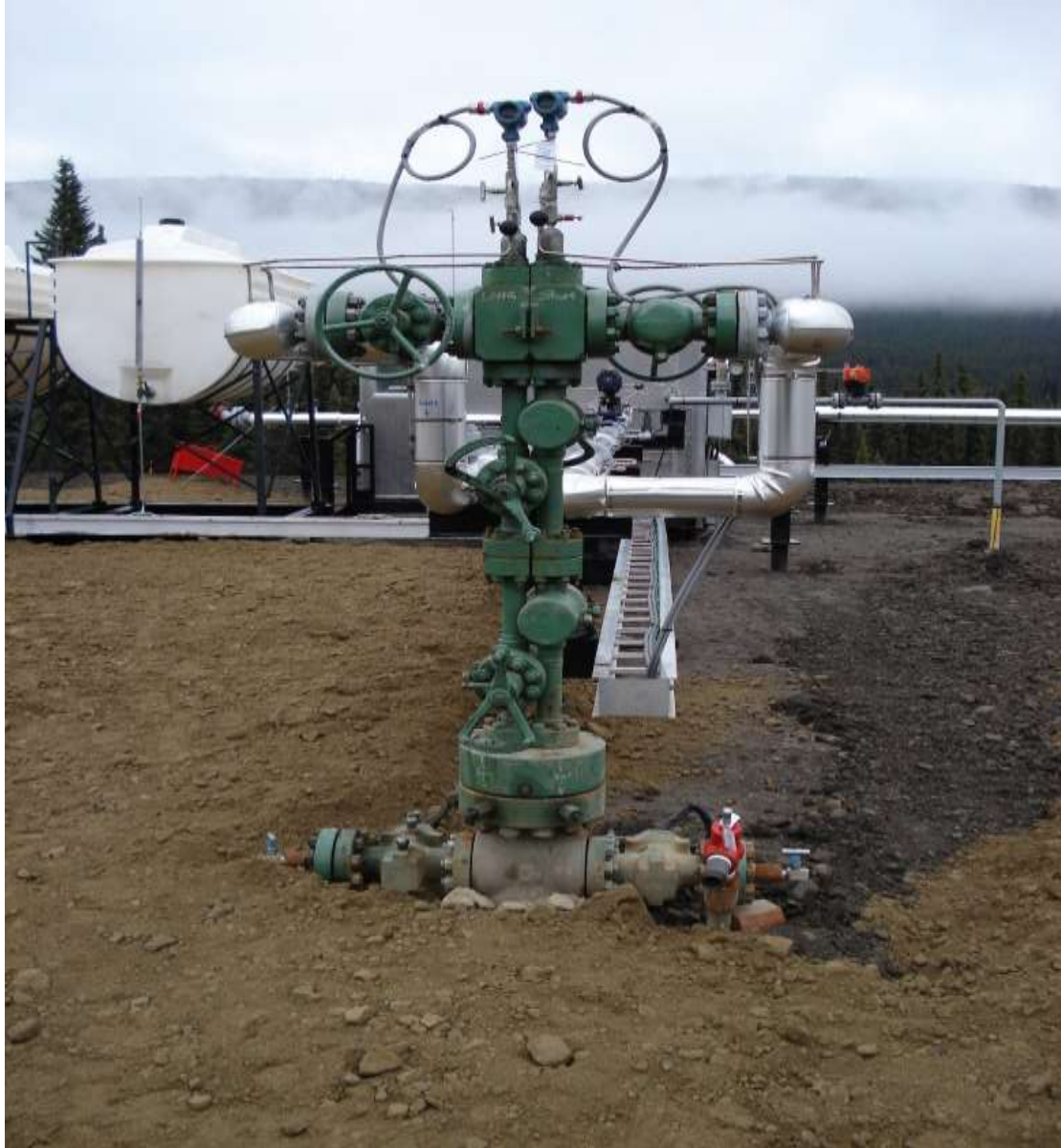
2.4 Γεώτρηση πετρελαίου και φυσικού αερίου

Όπως αναφέραμε νωρίτερα, εξαιτίας της χρήσης δορυφορικών φωτογραφιών, σήμερα υπάρχουν ακριβείς χάρτες με όλα τα μέρη του πλανήτη. (Wood (Environment and Infrastructure solutions), 2019) Τα στοιχεία όμως συμπληρώνονται με γεωλογικές μελέτες πεδίου και διατυπώνεται μία πιο αξιόπιστη άποψη για το πάχος, τη μορφή και την ηλικία των πετρωμάτων.

Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα δοκιμών πεδίου επιδείξουν κατάλληλα κριτήρια για την ύπαρξη κοιτασμάτων, πραγματοποιούνται ειδικές εξετάσεις δειγμάτων των πετρωμάτων καθώς και στρατιγραφική διερεύνηση για τον εντοπισμό των μητρικών και ταμιευτήριων πετρωμάτων. (Δ.Καρώνης, Ε.Λόης, Φ.Ζαννίκος)

Η δοκιμαστική διαδικασία γεώτρησης ξεκινάει εφόσον εντοπιστούν δυνητικά βιώσιμα πεδία. Ανάλογα με τη δομή και την ιστορία του ταμιευτήρα, η εσωτερική πίεση της δεξαμενής μπορεί να είναι αρκετά υψηλή, δηλαδή με την διάνοιξη ενός φρέατος, το πετρέλαιο θα ρέει εξαιτίας των υπόγειων πιέσεων.

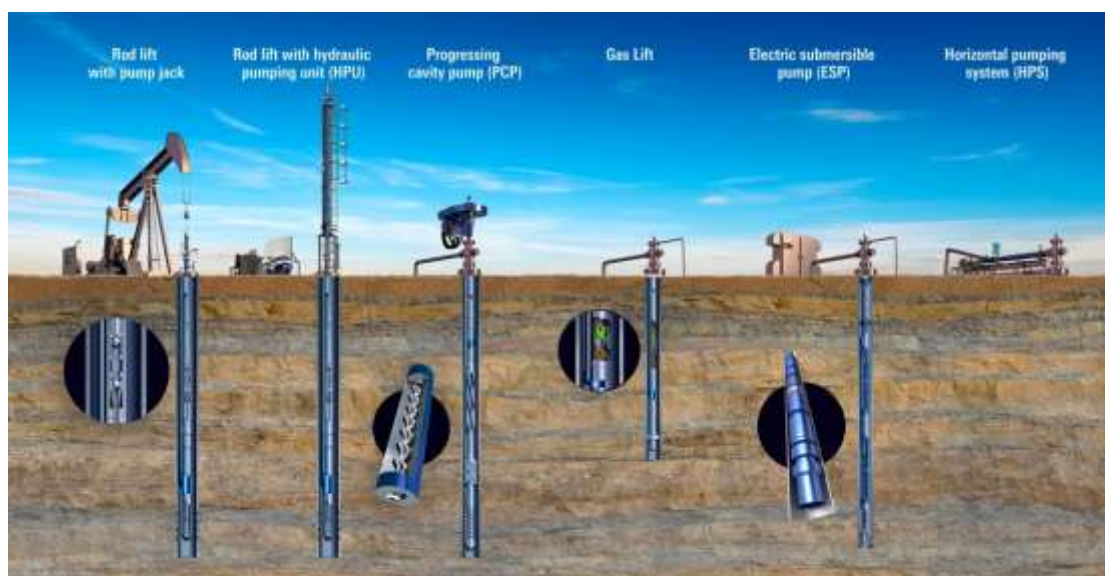
Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται στην κεφαλή του φρεατίου το λεγόμενο «χριστουγεννιάτικο δέντρο» (Christmas tree), όπως φαίνεται στην Εικόνα 23.



Εικόνα 23: Στην εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου, ένα χριστουγεννιάτικο δέντρο, είναι ένα συγκρότημα βαλβίδων, καρούλια περιβλήματος και εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της ροής σωλήνων σε πηγάδι πετρελαίου, πηγάδι αερίου, φρεάτιο έγχυσης νερού, πηγάδι απόρριψης νερού, φρεάτιο έγχυσης αερίου, πηγάδι συμπυκνώματος και άλλοι τύποι φρεατίων, Πηγή: (Wikiwand, 2022)

Σε περίπτωση που η εσωτερική πίεση δεν είναι αρκετή για την άντληση του πετρελαίου, η διαδικασία πρέπει να υποστηριχθεί από αντλίες.

Αυτή είναι μια διαδικασία γνωστή ως 'artificial lifting', όπως φαίνεται στην Εικόνα 24.



Εικόνα 24: Η τεχνητή ανύψωση (artificial lifting), είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται σε πετρελαιοπηγές για την αύξηση της πίεσης εντός της δεξαμενής και την ενθάρρυνση του πετρελαίου στην επιφάνεια. Όταν η φυσική ενέργεια κίνησης του ρεζερβουάρ δεν είναι αρκετά ισχυρή για να ωθήσει το πετρέλαιο στην επιφάνεια, χρησιμοποιείται τεχνητή ανύψωση για την ανάκτηση μεγαλύτερης παραγωγής. Πηγή: (Integrated lifting solutions for enhanced well production, 2022)

Με την έναρξη της παραγωγής, μετράται η παραγωγικότητα του φρέατος με καταγραφή ωριαίων και ημερήσιων μετρήσεων για τον όγκο πετρελαίου και φυσικού αερίου που παράγεται.

Αυτές οι μετρήσεις είναι σημαντικές για τον υπολογισμό των διακαιωμάτων εκμετάλλευσης, για τον υπολογισμό της διάρκειας ζωής του πηγαδιού και τον καθορισμό της συντήρησης του για την εξασφάλιση της μέγιστης παραγωγικότητας.

2.5 Η εξέλιξη της γεώτρησης πετρελαιοπηγών

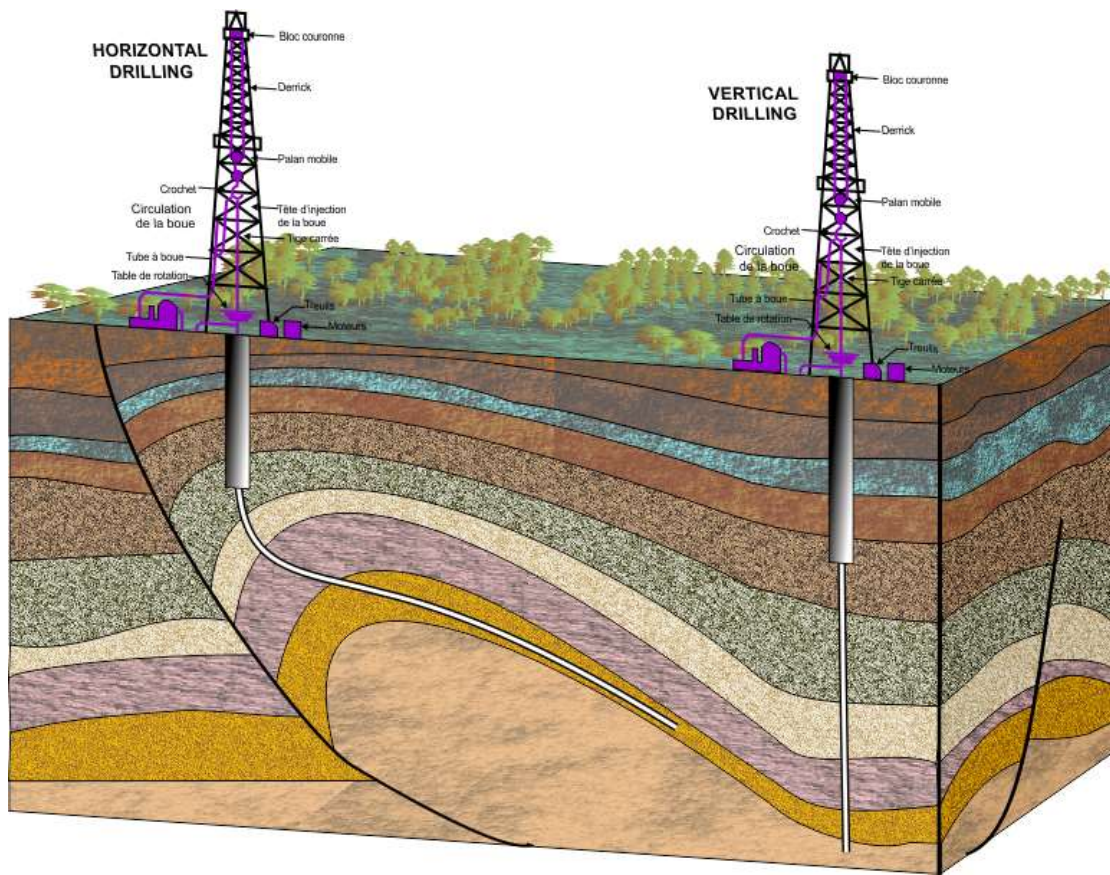
Στην Κίνα τον 6^ο αιώνα, χρησιμοποιούσαν τρυπάνια προσαρτημένα σε κοντάρια μπαμπού και έσκαβαν πηγάδια βάθους 240 m. Το παραγόμενο πετρέλαιο μεταφέρονταν μέσω αγωγών κατασκευασμένων από μπαμπού

και χρησιμοποιήθηκε για πρώιμες εφαρμογές φωτισμού και θέρμανσης.
(Borregaard, 2021)

Παλαιότερα οι γεωτρήσεις πετρελαίου πραγματοποιούνταν με κάθετη διάνοιξη. Με την πρόοδο της τεχνολογίας όμως καθίσταται δυνατή η οριζόντια διάνοιξη γεωτρήσεων επιτρέποντας τη σύλληψη περισσότερων από τους πόρους πετρελαίου και φυσικού αερίου, την εξοικονόμηση χρόνου, τη μείωση του λειτουργικού κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η τεχνολογική εξέλιξη στο τέλος του 20^{ου} αιώνα, οδήγησε σε πιο ακριβείς δυνατότητες γεώτρησης με τη χρήση κατευθυντικού ή κατευθυνόμενου εξοπλισμού γεώτρησης. Τα φρεάτια θεωρούνται οριζόντια όταν προσεγγίζουν γωνία γεώτρησης 85-90°. (Shamil Islamov ,Alexey Grigoriev , Ilia Beloglazov , Sergey Savchenkov and Ove Tobias Gudmestad , 2021)

Η οριζόντια γεώτρηση που ονομάζεται και κατευθυνόμενη γεώτρηση διευκολύνει την αύξηση του όγκου της παραγωγής από ένα μόνο φρεάτιο με πρόσβαση σε μεγαλύτερη επιφάνεια ζώνης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στην Εικόνα 25 , απεικονίζονται οι διαφορές της κάθετης και οριζόντιας γεώτρησης.



Εικόνα 25: Απεικόνιση οριζόντιας και κάθετης γεώτρησης. Πηγή: (From the Styx, 2014)

Οι νέες τεχνολογίες περιλαμβάνουν τις τεχνικές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 12: Προηγμένες τεχνικές διάτρησης, Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (American Petroleum Institute, 2022)

Μέθοδοι Διάτρησης	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα
Οριζόντια γεώτρηση (Horizontal Drilling), (βλ. Εικόνα 26)	Η συγκεκριμένη μέθοδος επιτρέπει στους τεχνικούς να κάνουν οριζόντια διάτρηση χωρίς να σκάψουν μεγάλη έκταση.	<ul style="list-style-type: none"> • Ανθεκτικότητα • Ταχύτερη εγκατάσταση • Ευελιξία, καθώς το σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί σχεδόν οπουδήποτε • Αμελητέα ρύπανση του εδάφους (F.M. Giger; L.H. Reiss; A.P. Jourdan, 1984)

**Πολυμερής γεώτρηση
(multilateral drilling),
(βλέπε Εικόνα 27)**

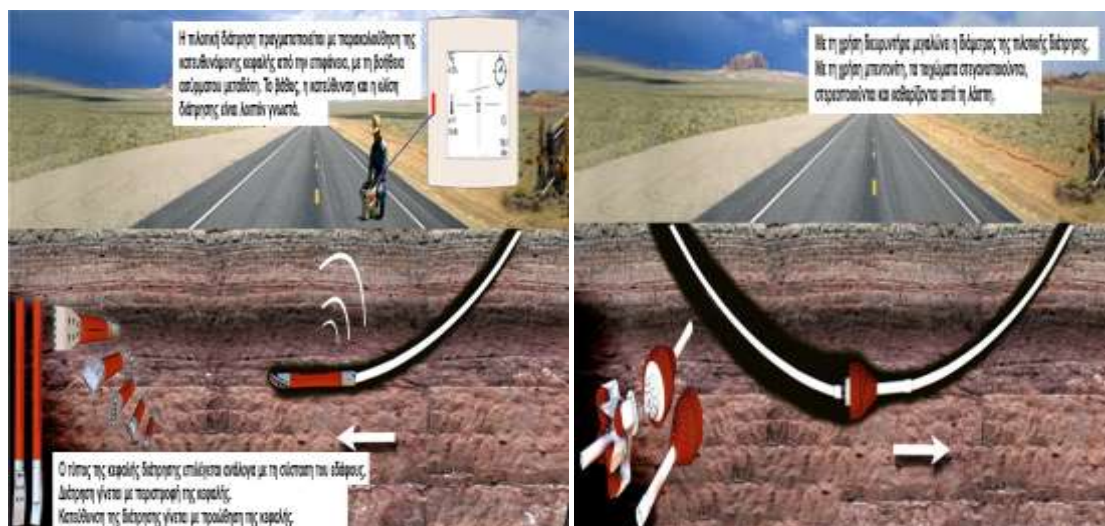
Μερικές φορές τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου βρίσκονται σε χωριστά υπόγεια στρώματα. Η πολυμερής γεώτρηση επιτρέπει την διακλάδωση από το κεντρικό πηγάδι για την άντληση σε διαφορετικά βάθη.

Δραματική αύξηση της παραγωγής με μείωση των αριθμών των φρεατίων που ανοίγονται στην επιφάνεια και ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
(Taha Murtuza Husain, Leong Chew Yeong, Aditya Saxena, Ugur Cengiz,, Sarath Ketineni, Amey Khanzhode, Hadi Muhamad, 2011)

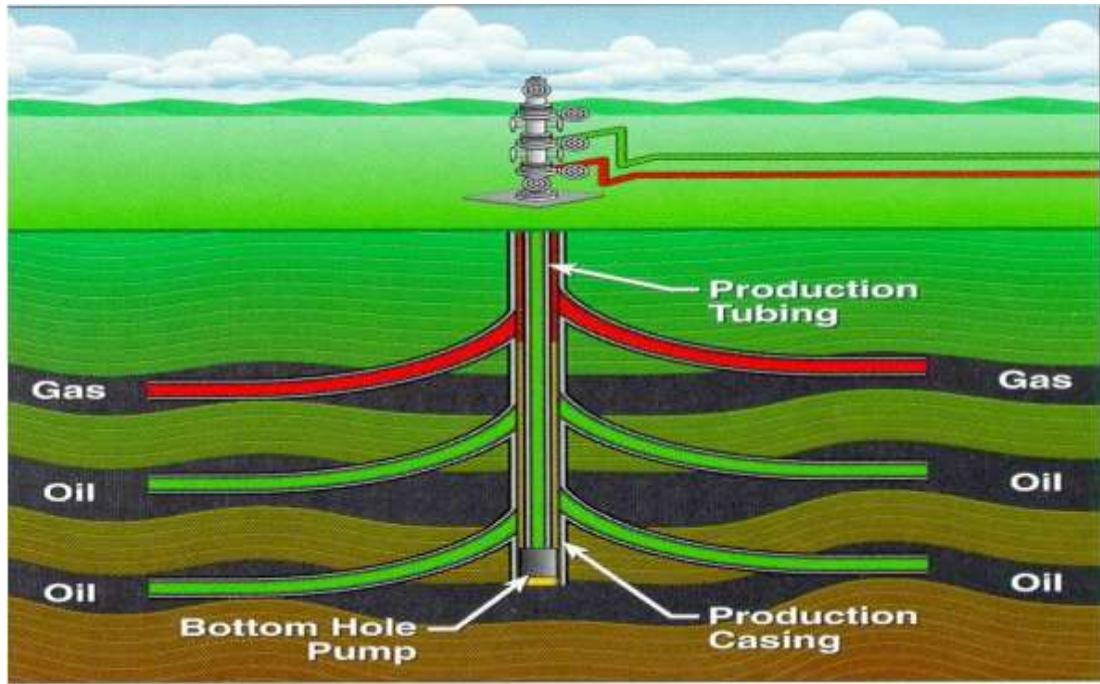
**Εκτεταμένη γεώτρηση
(Extended reach drilling),
(βλέπε Εικόνα 28)**

Η συγκεκριμένη μέθοδος επιτρέπει την πρόσβαση σε κοιτάσματα που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις από το γεωτρήπανο.

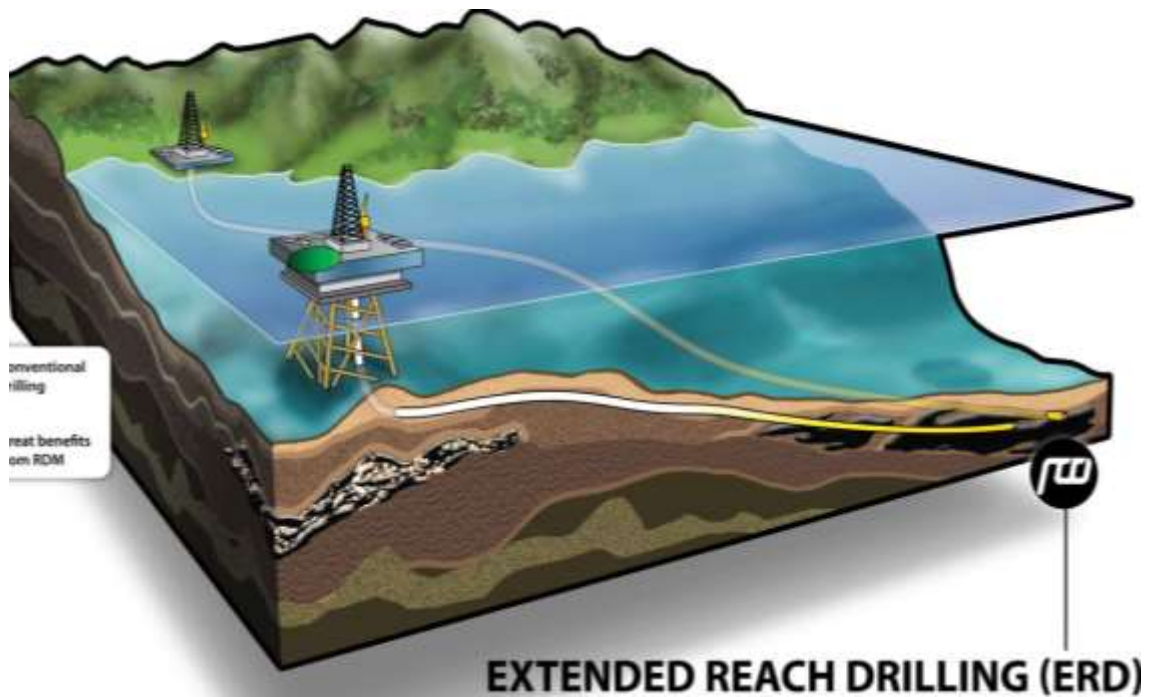
Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα και οφέλη από την εκτεταμένη γεώτρηση. Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ανάκτηση περισσότερου πετρελαίου από μεγαλύτερη περιοχή, μεγιστοποίηση της ικανότητας αποστράγγισης και της παραγωγικότητας.
(Introduction to Extended Reach Drilling - ERD, 2016)



Εικόνα 26: Η οριζόντια κατευθυνόμενη διάτρησι, με ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση, η επιλογή της μεθόδου αποτελεί την πλέον αξιόπιστη λύση σε προβλήματα εγκατάστασης σωληνώσεων εκεί όπου η γενική εκσκαφή είναι αδύνατη. Πηγή: (Hdriill, 2022)



Εικόνα 27: Απεικόνιση πολυμερούς γεώτρησης. Πηγή: (ret-oil, 2022)



Εικόνα 28: Απεικόνιση οριζόντιας εκτεταμένης γεώτρησης. Πηγή: (Xin Li, Deli Gao, Xuyue Chen, 2017)

2.6 Η Παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου

Η παραγωγή του πετρελαίου υποδιαιρείται στο πρωτογενή στάδιο ανάκτησης, το δευτερογενή στάδιο ανάκτησης και το τριτογενή στάδιο

ανάκτησης, στον Πίνακα 3 αναφέρεται η περιγραφή του κάθε σταδίου.
(S. Thomas, 2007)

Πίνακας 13: Περιγραφή σταδίων ανάκτησης πετρελαίου. Ιδία επεξεργασία.

Στάδιο Ανάκτησης	Περιγραφή
<p data-bbox="252 577 564 611">Πρωτογενής Ανάκτηση</p>  <p>The diagram illustrates primary recovery. It shows a cross-section of an oil reservoir with a production well. An oil pipe is connected to the well. Arrows indicate the flow of oil and gas from the reservoir into the well. The well is labeled 'Production well' and the pipe is labeled 'Oil pipe'.</p>	<p data-bbox="821 461 1358 1368">Σε αυτό το στάδιο το πετρέλαιο & το φυσικό αέριο παράγονται με την πίεση του κοιτάσματος ως κινητήριο δύναμη. Συχνά τα φρέατα υποβοηθούνται με την έγχυση ρευστών, τα οποία εξυπηρετούν στην διάσπαση των δεσμών υδρογονανθράκων, βελτιώνοντας έτσι την ροή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου προς το φρεαρ. Εκτιμάται ότι με την πρωτογενή ανάκτηση , το 10-15% του συνολικού πετρελαίου που υπάρχει στο κοίτασμα καταφέρνει τελικώς να ανακτηθεί. Άλλες τεχνικές χρησιμοποιούνται, όταν τελικώς η πίεση του κοιτάσματος μειωθεί.</p>
<p data-bbox="252 1402 587 1435">Δευτερογενής Ανάκτηση</p>  <p>The diagram illustrates secondary recovery. It shows a cross-section of an oil reservoir with two wells: an injection well and a production well. The injection well is labeled 'Injection well' and the production well is labeled 'Water or natural gas'. Arrows indicate the flow of water or natural gas from the injection well into the reservoir, and the flow of oil and gas from the reservoir to the production well.</p>	<p data-bbox="821 1402 1358 1727">Σε αυτό το στάδιο καταφέρνει να ανακτηθεί το 10-20% του συνολικού πετρελαίου που υπάρχει στο κοίτασμα. Μηχανισμοί όπως, επανέγχυση αερίου και πλημμύριση με νερό χρησιμοποιούνται.</p>

Τριτογενής Ανάκτηση



Η έγχυση διοξειδίου του άνθρακα, η χρήση ατμού ή θερμού νερού, αποτελούν λύσεις του τριτογενή σταδίου για την υποβοήθηση της ροής του πετρελαίου & φυσικού αερίου με σκοπό την παραγωγή επιπλέον ποσοτήτων ρευστών που δεν εξήχθησαν κατά τη διάρκεια του πρωτογενές και δευτερογενές σταδίου. Σε αυτό το στάδιο, ανακτάται το 30-50% του συνολικού πετρελαίου που υπάρχει στο κοίτασμα.

2.7 Επεξεργασία αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου

Τα συστήματα που εμπλέκονται στην εξόρυξη αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου από τις πηγές τους, αποτελούν ζωτικής σημασίας στη βιομηχανική εφαρμογή και τον σχετικό εξοπλισμό του διαχωρισμού τους. Οι διαδικασίες που εμπλέκονται βρίσκονται σε μια κατάσταση σημαντικής αλλαγής, υπό κάθε είδους πιέσεις: τεχνολογικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές.

Για περισσότερο από έναν αιώνα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο εξορύσσονταν από υπόγειες πηγές, τόσο στην ξηρά αλλά κατά τον τελευταίο μισό αιώνα και στις υπεράκτιες πηγές (offshore). Οι μέθοδοι εξόρυξης πλέον έχουν καθιερωθεί και μόνο τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει καταστεί απαραίτητη η αναζήτηση άλλων πόρων πιο δυναμικά.

Οι συνέπειες αυτής της επέκτασης έγκειται στο γεγονός πως το πετρέλαιο εξορύσσεται από διαφορετικές πηγές - πετρελαϊκοί

σχιστόλιθοι και πισσώδη άμμο - ενώ είναι πλέον οικονομικό να παράγεται φυσικό αέριο από μη συμβατικές πηγές, με το σχιστολιθικό αέριο το πιο σημαντικό. (Ana Maria Esteves, Bruce Coyne, Ana Moreno, 2013)

Ως αποτέλεσμα, το φάσμα των απαιτήσεων της διαδικασίας διαχωρισμού για την εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου περιλαμβάνει πλέον:

- την προετοιμασία της γεωτρυτικής ιλύος
- τον διαχωρισμό στερεών σωματιδίων, αερίων και άλλων υγρών από το αργό πετρέλαιο
- τον καθαρισμό του υπόγειου φυσικού αερίου απαλλαγμένου από σωματίδια, υγρά (κυρίως πετρέλαιο και νερό) και άλλα αέρια
- την παρασκευή υγρών (κυρίως νερού) για χρήση σε πλημμύρες μερικώς εξαντλημένων δεξαμενών για αύξηση της παραγωγής πετρελαίου
- τον διαχωρισμό του απελευθερωμένου πετρελαίου από κοιτάσματα άμμου και σχιστόλιθου και από το νερό που απελευθερώνεται
- την παρασκευή υγρών υδραυλικής θραύσης (fracking) για χρήση στην απελευθέρωση φυσικού αερίου από σχιστόλιθους αερίου
- την διαύγαση των αερίων (συνήθως διοξειδίου του άνθρακα) πριν από την έγχυσή τους σε δεξαμενές αερίου, για την αύξηση των ρυθμών παραγωγής του αερίου
- την επεξεργασία του παραγόμενου νερού, από πηγάδια πετρελαίου και φυσικού αερίου (είτε νερό σχηματισμού, που σχηματίζεται με το πετρέλαιο, είτε νερό έγχυσης, που εγχέεται

για αύξηση των ρυθμών παραγωγής) - για να καταστεί το παραγόμενο νερό κατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση ή τοπική διάθεση

- την παραγωγή πόσιμου νερού για τοποθεσίες παραγωγής που είναι απομακρυσμένες από τον πολιτισμό (στην ξηρά ή έξω από αυτήν)
- Την επεξεργασία όλων των λυμάτων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προέρχονται από καθήκοντα καθαριότητας, για την απομάκρυνση υδρογονανθράκων και άλλων τοξικών υλικών, πριν από τη διάθεσή τους στην ξηρά ή στη θάλασσα.

(Devold, Havard, 2013)

2.8 Αλυσίδα αξίας (Value Chain) Upstream, Midstream, Downstream της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου

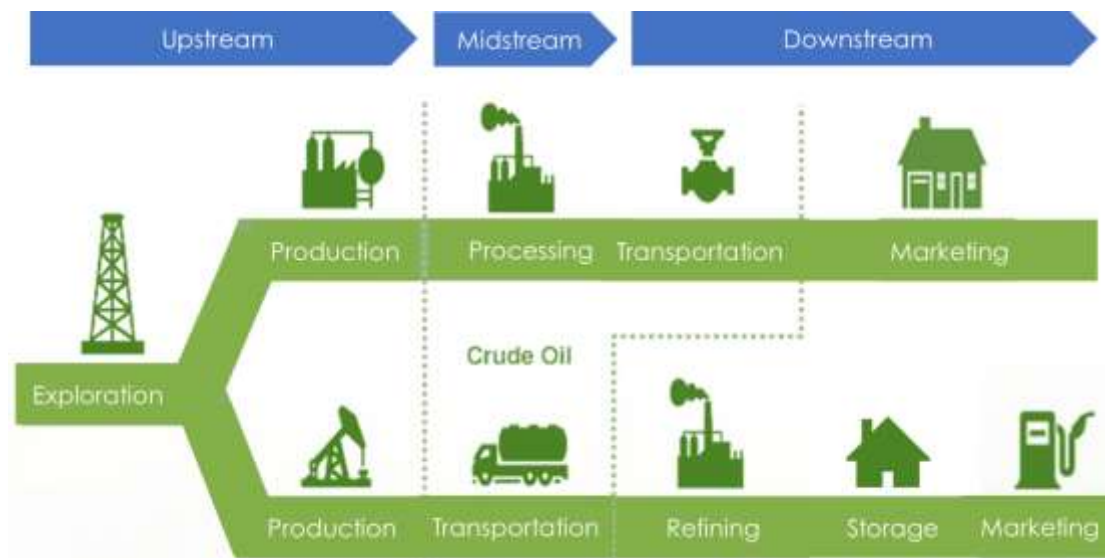
Οι **upstream** ενέργειες της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου, περιλαμβάνουν δραστηριότητες εξερεύνησης, γεωλογικές έρευνες, απόκτηση δικαιωμάτων γης και δραστηριότητες παραγωγής είτε σε χερσαίες είτε σε υπεράκτιες γεωτρήσεις.

Η εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου περιλαμβάνει τις διαδικασίες αλλά και τις μεθόδους που εμπλέκονται στον εντοπισμό πιθανών τοποθεσιών για γεώτρηση και εξόρυξη. Μπορεί να υπάρχουν επιφανειακά σημάδια, όπως διαρροές πετρελαίου και φυσικού αερίου αλλά οι εξελίξεις στην επιστήμη και την τεχνολογία έχουν κάνει την εξερεύνηση των υδρογονανθράκων πιο αποτελεσματική. (Cai Xunyu, Liu Jinlian, Zhao Peirong, Liu Chaoying, Cheng Zhe , 2020)

Οι **midstream** δραστηριότητες ξεκινούν μετά τις upstream διαδικασίες και περιλαμβάνουν την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη μεταφορά πετρελαίου και φυσικού αερίου στα διυλιστήρια.

Το τμήμα των midstream δραστηριοτήτων διαχωρίζεται από εκείνο των upstream και downstream διότι θεωρείτο χαμηλού κινδύνου εξαιτίας της έλλειψης πολυπλοκότητας όπως συμβαίνει με τα υπόλοιπα τμήματα της βιομηχανίας, στην Εικόνα 29 ,αποτυπώνεται ξεκάθαρα η αλυσίδα αξίας του κλάδου.

(MAJID SHAKHSI-NIAEI, SEYED HOSSEIN IRANMANESH and SEYED ALI TORABI, 2013)



Εικόνα 39: Η αλυσίδα αξίας της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου. Πηγή: (OIL, GAS AND MINING, 2022)

Η midstream βιομηχανία είναι υπεύθυνη για τη διασύνδεση απομακρυσμένων περιοχών παραγωγής πετρελαίου με τα αστικά κέντρα.

Οι διαφορετικοί τομείς των Midstream δραστηριοτήτων της βιομηχανίας περιλαμβάνουν:

- Αγωγούς
- Μεταφορές

- Επεξεργασία

Το τμήμα των **downstream** δραστηριοτήτων του κλάδου, ασχολείται με την διύλιση, την αποθήκευση, τη διανομή και τη λιανική πώληση προϊόντων πετρελαίου. Διυλιστήρια, πετροχημικές μονάδες, διανομείς προϊόντων πετρελαίου καθώς και εταιρείες διανομής φυσικού αερίου περιλαμβάνονται στο downstream τμήμα της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Τα προϊόντα είναι πολυάριθμα όπως ντιζελ, βενζίνη, συνθετικό καουτσουκ, πλαστικά, φυτοφάρμακα, φαρμακευτικά προϊόντα, φυσικό αέριο, προπάνιο και jet oil.

Οι διάφοροι τομείς του περιλαμβάνουν:

- Διανομείς
- Καταστήματα λιανικής όπως πρατήρια βενζίνης
- Μονάδες παραγωγής

(Camilo Lima, Susana Relvas, Ana Paula F.D., Barbosa-Póvoa, 2016)

2.9 Ο κύκλος ζωής των upstream δραστηριοτήτων της βιομηχανίας πετρελαίου & φυσικού αερίου

Οι παράγοντες που διαφοροποιούν τον κύκλο ζωής των upstream δραστηριοτήτων της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι:

- Κοινωνικοί και πολιτικοί παράγοντες
- Φυσικοί και τεχνικοί παράγοντες
- Παράγοντες επιχειρηματικού συντονισμού

Στον Πίνακα 4, αποτυπώνεται το χρονοδιάγραμμα των upstream δραστηριοτήτων του κλάδου.

Πίνακας 14: Ο κλυκλος ζωής των 5 φάσεων των upstream δραστηριοτήτων της βιομηχανίας πετρελαίου & φυσικού αερίου. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Darco, 2014)

Φάση	Διάρκεια	Δραστηριότητες
Εξερεύνηση	1-5 έτη	Εξερεύνηση πιθανών αξιόπιστων κοιτασμάτων με την διένεργεια γεωλογικών ερευνών. Εφόσον βρεθούν αξιόπιστα κοιτάσματα, η εξερεύνηση συνεχίζεται και οι εταιρείες δημιουργούν ένα πλάνο τεχνικών και οικονομικών αξιολογήσεων καθώς και μελέτη κοινωνικών-περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
Εκτίμηση-Αξιολόγηση	4-10 έτη	Το πιθανό πεδίο εξερευνείται με λεπτομέρεια και δημιουργείται η υποδομή για εξερευνητική γεώτρηση. Σε περίπτωση που δεν βρεθούν εμπορικά αξιοποιήσιμα κοιτάσματα, οι

		δραστηριότητες τερματίζονται, ενώ στην περίπτωση που υπάρξουν, οι εταιρείες εξερεύνησης ετοιμάζουν την ανάπτυξη του πεδίου.
Ανάπτυξη	4-10 έτη	Σε αυτό το στάδιο χρειάζεται η ανανέωση των αδειών και των συμβάσεων για την προετοιμασία της παραγωγής. Μέρος της υποδομής υπάρχει ήδη εξαιτίας του προηγούμενου ερευνητικού σταδίου, της εξερευνητικής γεώτρησης. Στο τέλος της φάσης της ανάπτυξης όμως, θα ξεκινήσει να παράγεται πετρέλαιο & φυσικό αέριο.
Παραγωγή	20-50 έτη	Τα κοιτάσματα πετρελαίου & φυσικού αερίου εξορύσσονται και έπειτα μεταφέρονται, επεξεργάζονται και διανέμονται. Ο όγκος της παραγωγής είναι

		<p>δύσκολο να προβλεφθεί, καθότι υπάρχουν διακυμάνσεις. Ο ρυθμός άντλησης αυξάνεται φτάνοντας σε μια κορυφή και απο εκεί και έπειτα μειώνεται, γεγονός που σηματοδοτεί το τέλος της εμπορικής ζωής του πεδίου.</p>
Τερματισμός	2-10 έτη	<p>Όταν σταματήσει η άντληση των υπόλοιπων αποθεμάτων να είναι οικονομικά αποδοτική, το πεδίο εγκαταλείπεται. Υπεύθυνοι για την μεταφορά του πεδίου στην αρχική του κατάσταση, είναι οι εταιρείες που το εκμεταλλεύτηκαν. Σε περίπτωση που χρειαστεί περιβαλλοντική παρακολούθηση του πεδίου, η φάση τερματισμού μπορεί να διαρκέσει δεκαετίες.</p>

Το βάθος, η γεωλογική θέση ενός πεδίου, εάν πρόκειται για χερσαία ή για υπεράκτια γεώτρηση, αποτελούν παράγοντες κλειδί για την εκτίμηση του χρόνου υλοποίησης του έργου. Επίσης η διαθεσιμότητα υποδομών όπως πρόσβαση σε μεταφορές (συνήθως αναφέρονται σε δρόμους), νερό, ηλεκτρικό ρεύμα, εάν δεν υπάρχουν και χρειάζεται να αναπτυχθούν, επιβαρύνουν τον χρόνο υλοποίησης της διαδικασίας.

Η ικανότητα και συμπεριφορά της κυβέρνησης, η ανταπόκριση της κοινότητας, η δέσμευση της εταιρείας, αποτελούν παράγοντες που μπορεί να αποδειχθούν χρονοβόροι. (CHEN Pengchao; FENG Wenxing; YAN Bingchuan, 2019)

Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή του ρυθμιστικού περιβάλλοντος αποτελεί ευθύνη της κυβέρνησης. Σε περίπτωση που το κανονιστικό περιβάλλον δεν ευνοεί την εξερεύνηση ή την παραγωγή ή δεν είναι σταθερό ή προβλέψιμο, υπάρχει η πιθανότητα η διαδικασία της εξερεύνησης ή της παραγωγής να καθυστερήσει ή ακόμη και να αποτραπεί η επένδυση.

Ο βαθμός συντονισμού μεταξύ των επιπέδων της κυβέρνησης (συνεργασία μεταξύ των Υπουργείων Περιβάλλοντος, Οικονομίας, Εργασίας, Επενδύσεων) είναι σημαντικός παράγοντας για την ομαλή και ταχεία υλοποίηση της επένδυσης.

2.10 Η Διαδικασία διύλισης

Η διύλιση είναι το στάδιο που προσθέτει αξία καθώς μετατρέπει το αργό πετρέλαιο, σε μια σειρά εξευγενισμένων προϊόντων, όπως καύσιμα μεταφοράς, κατάλληλα για συγκεκριμένες τελικές χρήσεις.

Τα διυλιστήρια πετρελαίου είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις στις οποίες λαμβάνει χώρα αυτός ο μετασχηματισμός. Τα διυλιστήρια είναι μεγάλες παραγωγικές εγκαταστάσεις έντασης κεφαλαίου που λειτουργούν 24 ώρες το 24ωρο και καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις.

Η ικανότητα επεξεργασίας τους είναι συνήθως της τάξης των εκατοντάδων χιλιάδων βαρελιών αργού πετρελαίου την ημέρα. (Oil Refinery Process, 2022)

Υπάρχουν σχεδόν 700 διυλιστήρια σε όλο τον κόσμο, με ικανότητα επεξεργασίας περίπου 98,1 εκατομμυρίων βαρελιών αργού πετρελαίου την ημέρα. (A. Gauran, 2017)

2.10.1 Οι κύριες διεργασίες διύλισης

Ένα διυλιστήριο πετρελαίου περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία διεργασιών οι οποίες ταξινομούνται ανάλογα με τον τύπο του φυσικοχημικού μετασχηματισμού που πραγματοποιούν,

- σε διαδικασίες απόσταξης (διαχωρισμού ή κλασματοποίησης),
- διεργασίες μετατροπής και
- ποιοτικές διεργασίες (επεξεργασία ελαφρού πετρελαίου, επεξεργασία και ανάμειξη). (Lucas Herrmann, Mark Bloomfield, Phil Corbett, Sebastian Yoshida, 2013)

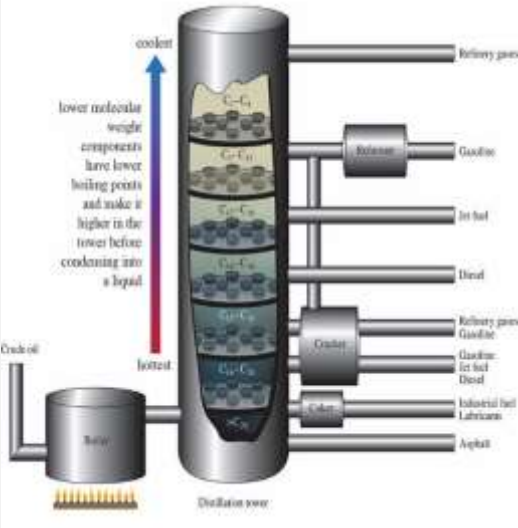
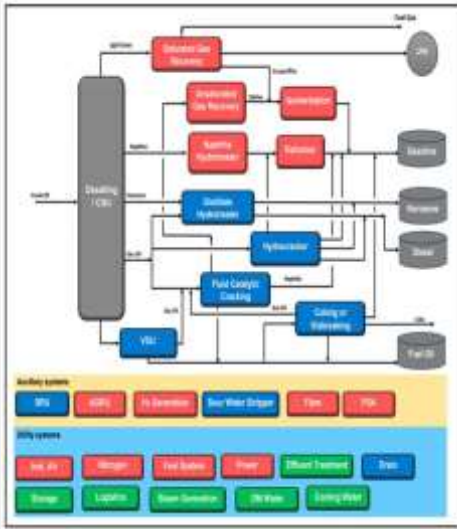
Η ιστορία της βιομηχανίας και των διεργασιών διύλισης συνδέεται με την εξέλιξη των προδιαγραφών του τελικού προϊόντος.

Οι εξελίξεις που έγιναν κατά τον περασμένο αιώνα έχουν μετατρέψει τη βιομηχανία διύλισης σε μια από τις πιο τεχνολογικά προηγμένες βιομηχανίες στον κόσμο, ικανές να παραδώσουν περίπου 80

εκατομμύρια βαρέλια εξευγενισμένων προϊόντων υψηλής ποιότητας σε καθημερινή βάση.

Το διυλιστήριο χρησιμοποιεί τα εξής 3 βήματα για την μεταποίηση του αργού πετρελαίου σε αξιοποιήσιμα προϊόντα, όπως αποτυπώνεται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 15: Η μεταποίηση του αργού πετρελαίου σε 3 απλά βήματα. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Meyers, R A, 2004)

Βήμα 1: Απόσταξη (Distillation)	Βήμα 2: Μετατροπή (Conversion)	Βήμα 3: Ποιότητα (Quality)
		
<p>Στην αυτή τη διαδικασία, το αργό πετρέλαιο αποστάζεται σε ενδιάμεσα προϊόντα με θέρμανση του αργού πετρελαίου μέχρι τα διάφορα σημεία βρασμού των μερών του</p> <ul style="list-style-type: none"> • Η διαδικασία λαμβάνει χώρα στη μονάδα απόσταξης ακατέργαστου πετρελαίου (CDU: Crude Distillation Unit). 	<p>Μόλις αποσταχθεί, τα βαρύτερα ενδιάμεσα μετατρέπονται σε ελαφρύτερα προϊόντα, κυρίως μέσω της διαδικασίας της πυρόλυσης (Cracking). Η διαδικασία της πυρόλυσης (Cracking) σπάει τα μεγαλύτερα μόρια σε μικρότερα.</p>	<p>Τα ενδιάμεσα προϊόντα εισάγονται σε μια ποικιλία διεργασιών για την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της αγοράς.</p> <p>Οι βασικές διεργασίες για την βελτίωση της ποιότητας είναι:</p>

<p>Τα ενδιάμεσα προϊόντα αποστέλλονται σε άλλη μονάδα στο διυλιστήριο για περαιτέρω επεξεργασία.</p>		
		<ol style="list-style-type: none"> 1) Αναμόρφωση(Reforming): αναδιάταξη μορίων 2) Συνδυασμός (Combining): Συνδυασμός των μορίων σε μεγαλύτερα 3) Επεξεργασία – καθαρισμός (Treating – cleanup): αφαίρεση θειούχων 4) Ανάμειξη (Blending): Είναι το τελευταίο βήμα στη διαδικασία διύλισης στην οποία αναμινύονται τα βέλτιστα συστατικά για την παραγωγή του τελικού τελικού προϊόντος.

Οι διαδικασίες **απόσταξης ή διαχωρισμού** είναι αυτές που διαχωρίζουν την ακατέργαστη πρώτη ύλη σε διαφορετικά συστατικά, χρησιμοποιώντας διαφορετικές θερμοκρασίες βρασμού, χωρίς χημικό μετασχηματισμό.

Οι διαδικασίες διαχωρισμού πετρελαίου ήταν από τις πρώτες που αναπτύχθηκαν και τυπικά αποτελούν το σημείο εκκίνησης ενός διυλιστηρίου και το τελικό σημείο των μονάδων διεργασίας μετατροπής. (John Jechura, 2017)

Η διαδικασία **της ατμοσφαιρικής απόσταξης** (atmospheric distillation) είναι συνήθως το σημείο εκκίνησης ενός διυλιστηρίου. Χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό του αργού πετρελαίου σε διαφορετικά κλάσματα ανάλογα με το σημείο βρασμού τους. Τα τυπικά κλάσματα αργού πετρελαίου περιλαμβάνουν νάφθα, κηροζίνη, πετρέλαιο, ντίζελ, ατμοσφαιρικό πετρέλαιο και ατμοσφαιρικά υπολείμματα τα οποία στη συνέχεια υποβάλλονται σε επεξεργασία στη μονάδα απόσταξης κενού. (Anshuman Agrawal, 2018)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

3.1 Εφαρμογές Μ.Μ. σε διάφορες βιομηχανίες

Οι περισσότερες εταιρείες, ειδικά στον τομέα της τεχνολογίας, έχουν ξοδέψει σημαντικά χρηματικά ποσά για την εφαρμογή Μ.Μ. με σκοπό την πρόβλεψη χαρακτηριστικών τα οποία στη συνέχεια μπορούν να δημιουργήσουν δισεκατομμύρια ετήσιων εσόδων.

Όταν χρησιμοποιείται μια εφαρμογή όπως το Zillow ¹³ή οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή, π.χ. για την εύρεση κατοικιών, η τιμή της κατοικίας υπολογίζεται με τη χρήση διαφόρων τύπων αλγορίθμων Μ.Μ..

Για παράδειγμα, εάν υπάρχουν πληροφορίες για 100 σπίτια σε μια περιοχή, λαμβάνοντας υπόψιν τον αριθμό των υπνοδωματίων, των λουτρών, των τετραγωνικών μέτρων, του έτους κατασκευής, την τοποθεσία, τον τύπο του σπιτιού, την ύπαρξη χώρου στάθμευσης, τις εφαρμογές ψύξης-θέρμανσης, τη κατάσταση του σπιτιού, το ποσοστό εγκληματικότητας της περιοχής κ.λπ., δημιουργείται μια συλλογή στη βάση δεδομένων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της τιμής ενός νέου ακινήτου μόλις γίνει διαθέσιμο στην αγορά.

Ωστόσο, το ποσοστό της ακεραιότητας της πρόβλεψης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό τόσο από την τεχνική που χρησιμοποιείται όσο και την εμπειρία του ατόμου που εκτελεί την πρόβλεψη. (Rahul Rai, Manoj Kumar Tiwari, Dmitry Ivanov, Alexandre Dolgui, 2021)

¹³ Η εταιρεία Zillow (<https://www.zillow.com/>) είναι από τις δημοφιλέστερες πλατφόρμες τεχνολογικής αγοράς ακινήτων και ιδρύθηκε το 2006 από πρώην στελέχη της εταιρείας Microsoft και ιδρυτές της spin off εταιρείας της Microsoft, 'Expedia'.

Εάν το άτομο που εκτελεί αυτή τη πρόβλεψη, είναι ένας ειδικός στα ακίνητα που έχει εκπαιδευτεί στην επιστήμη δεδομένων, θα περιμένει κανείς πως η πρόβλεψή του θα ήταν εξαιρετικά ακριβής.

Ένας αλγόριθμος M.M. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την εξέλιξη μιας μετοχής, αξιοποιώντας όλες τις σημαντικές οικονομικές πληροφορίες της εταιρείας μετοχικού κεφαλαίου.

Διάφορες εταιρείες αμοιβαίων κεφαλαίων για την αντιστάθμιση του κινδύνου, χρησιμοποιούν διάφορους αλγόριθμους M.M. για να προβλέψουν την τιμή μιας μετοχής.

Η M.M. έχει επίσης πολλές εφαρμογές στην αξιοποίηση του Ανθρώπινου Δυναμικού.

Μία από τις εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλους οργανισμούς για την αναγνώριση εξαιρετικά παραγωγικών εργαζομένων οι οποίοι είναι πιο επιρρεπείς στην υποβολή μίας παραίτησης. (Franca Cantoni, Roberto Bernazzani, Mariacristina Piva, 2018)

Εάν αυτός ο τύπος των εργαζομένων αναγνωριστεί προκαταβολικά, θα μπορούσαν να του προταθούν κάποια οφέλη όπως η προαγωγή ή μισθολογικές αυξήσεις, με σκοπό τη διατήρηση αυτών των εργαζομένων στο δυναμικό της εταιρείας.

Επιπλέον, η M.M. χρησιμοποιείται επί του παρόντος σε μεγάλο βαθμό για την εξατομίκευση μάρκετινγκ.

Για παράδειγμα, η Amazon ¹⁴χρησιμοποιεί συχνά Μ.Μ. για να προτείνει προϊόντα στους πελάτες της.

Μια άλλη σημαντική χρήση της Μ.Μ. είναι η προστασία από απάτη.

Για παράδειγμα, η PayPal ¹⁵χρησιμοποιεί διάφορους αλγόριθμους Μ.Μ. για την καταπολέμηση της νομιμοποίησης εσόδων από παράνομες δραστηριότητες συγκρίνοντας εκατομμύρια συναλλαγές και διακρίνοντας με ακρίβεια τις νόμιμες και τις δόλιες δραστηριότητες. (Micah Musser, Ashton Garriott, 2021)

Οι αλγόριθμοι διαδικτυακής αναζήτησης της Google¹⁶, είναι ένας άλλος τομέας που χρησιμοποιεί Μ.Μ. με τον αλγόριθμο να βελτιώνεται συνεχώς.

Εάν μια συγκεκριμένη λέξη κλειδί όπως "εξερεύνηση πετρελαίου" αναζητηθεί στη μηχανή της Google και οι χρήστες πηγαίνουν συνεχώς στη 2^η ή 3^η σελίδα για να λάβουν τις πληροφορίες που ταιριάζουν καλύτερα σχετικά με την αναζήτησή τους, η μηχανή αναζήτησης υποθέτει πως τα αποτελέσματα της αναζήτησης που παρήγαγε δεν ήταν ικανοποιητικά και έτσι θα προσπαθήσει να εξαργυρώσει το λάθος και να αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα την επόμενη φορά.

¹⁴ Η εταιρεία Amazon (<https://www.amazon.com/>), είναι η μεγαλύτερη εταιρεία στον κόσμο από άποψη του κύκλου εργασιών της, διαμέσω της πώλησης αγαθών και υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου.

¹⁵ Το paypal (<https://www.paypal.com/gr/home>), είναι μία πύλη ηλεκτρονικών πληρωμών και ανήκει στην Αμερικανική εταιρεία PayPal Holdings, Inc.

¹⁶ Η Google, είναι από τις μεγαλύτερες και δημοφιλέστερες εταιρείες διαδικτυακών υπηρεσιών, η οποία ιδρύθηκε το 1996.

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP¹⁷) είναι ένας άλλος τομέας στον οποίο χρησιμοποιείται η Μ.Μ. εκτενώς για τη γρήγορη δρομολόγηση των πελατών σε συγκεκριμένες πληροφορίες. (Maria Razno, 2019)

Για παράδειγμα ,τα οχήματα αυτόματης οδήγησης, δεν θα ήταν δυνατό να λειτουργούν σήμερα χωρίς τη χρήση Μ.Μ. και ενίσχυτικής μάθησης.

Το Facebook, χρησιμοποιεί Μ.Μ. εκτενώς για να προβλέψει το περιεχόμενό του.

Το Facebook παρατηρεί ποιο θέμα τράβηξε το ενδιαφέρον σας και, ως εκ τούτου, θα προτείνει σχετικά θέματα όταν ξαναεισέλθετε στο Facebook. Αυτή η διαδικασία είναι εξαιρετικά ισχυρή καθότι το μεγαλύτερο μέρος των κερδών του Facebook προέρχονται από τις διαφημίσεις.

Όπως φαίνεται, οι εφαρμογές Μ.Μ., βελτιώνουν τη ζωή μας και είναι σημαντικό για εμάς να υιοθετήσουμε αυτή τη νέα τεχνολογία για να δημιουργήσουμε επιπλέον αξία σε διάφορους κλάδους.

Στη βιομηχανία πετρελαίου & φυσικού αερίου, η Μ.Μ. έχει επίσης διάφορες εφαρμογές και μεγάλες εταιρείες έχουν αγκαλιάσει τις εφαρμογές Μ.Μ. και της επιστήμης των δεδομένων.

Η Μ.Μ. μπορεί να εφαρμοστεί για σκοπούς πρόβλεψης αλλά και στη διάγνωση και στη πρόληψη αστοχίας της γεώτρησης, αστοχία του εξοπλισμού και ανίχνευση, πρόβλεψη εξόδου πηγαδιού, ανίχνευση κρούσεων και φόρτωσης υγρού, ανίχνευση διαρροής αερίου και υγρού, βελτιστοποίηση ανύψωσης εμβόλου, προσομοίωση ταμιευτήρα,

¹⁷ Η Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (Natural Language Processing: NLP) είναι υποπεδίο της Τ.Ν. και παρέχει την ικανότητα στις μηχανές να διαβάζουν και να ερμηνεύουν την ανθρώπινη γλώσσα, έτσι οι μηχανές μπορούν να βγάλουν συμπεράσματα είτε από γραπτό κείμενο είτε από προφορικό λόγο.

πρόβλεψη απόδοσης πηγαδιού, εύρεση και κατάταξη πηγαδιών, πρόβλεψη τιμολόγησης πετρελαίου και φυσικού αερίου, αξιολόγηση και πρόβλεψη έκτασης και περιουσιακών στοιχείων, δημιουργία συνθετικών καταγραφών πηγαδιών, πρόβλεψη πετροφυσικών και γεωμηχανικών ιδιοτήτων, χάρτες καθώς και πολλές άλλες ιδέες, οι οποίες θα αναπτυχθούν περαιτέρω, όσο η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου υιοθετεί τις εφαρμογές της Μ.Μ. σε διάφορα τμήματα της. (Abduljalil Mohamed, Mohamed Salah Hamdi, Sofiène Tahar, 2015)

3.2 Η αναγκαιότητα του συνδυασμού της επιστήμης των δεδομένων και της τεχνογνωσίας τομέα

Η τεχνογνωσία του τομέα διαδραματίζει μεγάλο ρόλο στην εκτέλεση και την εφαρμογή ενός επιτυχημένου έργου Μ.Μ.

Δυστυχώς, όταν ένας επιστήμονας δεδομένων χωρίς κατάλληλη τεχνογνωσία προσπαθεί να αντιμετωπίσει ένα έργο Μ.Μ. το αποτέλεσμα μπορεί να μην είναι τόσο ευνοϊκό όσο ο συνδυασμός ενός πεπειραμένου επιστήμονα δεδομένων και ειδικού στο θέμα ενδιαφέροντος με πολυετή εμπειρία.

Ο συνδυασμός της τεχνογνωσίας και της επιστήμης των δεδομένων πιθανότατα θα έχει το καλύτερο αποτέλεσμα όταν αφορά τη χρήση και την εφαρμογή Μ.Μ. σε έναν οργανισμό. (Chen Kerui, Meng Xiaofeng, 2020)

Υπήρξαν πολλές περιπτώσεις σε διάφορους οργανισμούς όπου η Μ.Μ. έχει χρησιμοποιηθεί με εσφαλμένα αποτελέσματα σε βάρος των μετόχων. Τα εσφαλμένα αποτελέσματα μπορεί να πηγάζουν είτε από

έλλειψη στατιστικών γνώσεων και περιορισμούς διαφόρων αλγορίθμων Μ.Μ. ή από έλλειψη εξειδίκευσης του τομέα εφαρμογής.

Συνεπώς, ο συνδυασμός των δύο είναι το κλειδί για ένα επιτυχημένο έργο Μ.Μ..

Μια άλλη ανησυχία σχετικά με την Μ.Μ. είναι η συλλογή και η προεπεξεργασία των δεδομένων.

Η προεπεξεργασία δεδομένων είναι απαραίτητη για την επιτυχή εφαρμογή ενός αλγορίθμου Μ.Μ..

Χωρίς την κατάλληλη εφαρμογή αυτού του βήματος, ολόκληρη η ανάλυση θα μπορούσε εύκολα να αποτύχει όχι λόγω αποτυχίας στον αλγόριθμο της Μ.Μ. αλλά λόγω της αποτυχημένης προεπεξεργασίας των δεδομένων.

Συνήθως, το 80% του χρόνου αφιερώνεται στην προεπεξεργασία των δεδομένων και μόνο το 20% δαπανάται για τη διαμόρφωση της πραγματικής ανάλυσης.

3.3 Μεθοδολογία δημιουργίας μοντέλων Μ.Μ.

Κάθε εταιρεία έχει τις δικές της βέλτιστες πρακτικές και ροές εργασιών για την εκτέλεση έργων που σχετίζονται με την Τ.Ν..

Ωστόσο, συνήθως χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα βήματα για την ανάπτυξη μοντέλων Μ.Μ.:

1. 1^ο Βήμα :

1.1. Συλλογή δεδομένων: η συλλογή των σχετικών δεδομένων για την ανάπτυξη ενός συγκεκριμένου έργου Μ.Μ. είναι το πρώτο βήμα σε κάθε τύπο ροής εργασίας Μ.Μ.

1.2. Ενοποίηση δεδομένων: από τη στιγμή που τα δεδομένα που σχετίζονται με έργα Μ.Μ. συνήθως προέρχονται από διαφορετικές πηγές, τα δεδομένα πρέπει να ενσωματωθούν για να διασφαλιστεί ότι η μορφή τους είναι κατάλληλη για περαιτέρω ανάλυση.

2. 2^ο Βήμα :

2.1. Καθαρισμός δεδομένων: το επόμενο βήμα είναι η αποκτήση των βασικών στατιστικών στοιχείων των δεδομένων συμπεριλαμβανομένων της συχνότητας, ελάχιστης, μέγιστης, μέσης, διάμεσης τυπικής απόκλισης, ιστογράμματος, συνάρτησης πυκνότητας πιθανοτήτων και συνάρτησης αθροιστικής πυκνότητας για κάθε χαρακτηριστικό. Αυτό το βήμα θα βοηθήσει στον εντοπισμό των τιμών που λείπουν, τα λάθη, τα τυπογραφικά λάθη κ.λπ.

2.2. Ανίχνευση ακραίων στοιχείων: διαφορετικές τεχνικές όπως διαγράμματα (cross plots), θερμικοί χάρτες (heat maps), και τα Z-test, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση πιθανών ακραίων τιμών στα δεδομένα.

2.3. Καταλογισμός δεδομένων: εάν σε ορισμένα φρεάτια λείπουν πληροφορίες σχετικά με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, πριν προχωρήσουμε, θα πρέπει είτε να αφαιρέσουμε τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ή τα φρεάτια ή να υπολογίσουμε τα δεδομένα που λείπουν για να προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα.

Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες τεχνικές υπολογισμού, όπως ο υπολογισμός της μέση τιμής (IMV: Imputation mean value), Soft Impute και το μοντέλο KNN (K-nearest neighbor) . Μεταξύ όλων των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες μελέτες, η τεχνική KNN είχε την υψηλότερη ακρίβεια. (Manohar Swamynathan, 2019)

3. 3^ο Βήμα :

3.1. Ανάλυση δεδομένων: κατά την ανάλυση δεδομένων, θα πρέπει να διασφαλίζεται πως οι μετρήσεις και οι μονάδες είναι ακριβείς.

Για παράδειγμα, εάν ο ρυθμός ροής μετράται καθημερινά και οι πιέσεις μετρώνται σε λεπτά θα χρειαστεί η εφαρμογή κάποιας τεχνικής υπολογισμού του μέσου όρου (π.χ. αριθμητική, Αρμονική, κινητός μέσος όρος κ.λπ.) για την εύρεση των μέσων ημερήσιων τιμών πίεσης συναρτήση των ρυθμών. Πρέπει να διασφαλιστεί πως όλα τα χαρακτηριστικά έχουν την ίδια ανάλυση και τις ίδιες μονάδες.

3.2. Επιλογή χαρακτηριστικών: πριν αναπτυχθεί το μοντέλο, ένα σημαντικό βήμα είναι να μειωθεί ο αριθμός των χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιηθούν.

Αυτή η μείωση μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές για τον ποσοτικό προσδιορισμό της επίδρασης κάθε χαρακτηριστικού x_i στην έξοδο y_i και την επιλογή του αριθμού N από τις πιο σημαντικές παραμέτρους.

Διαφορετικές τεχνικές όπως η ασαφής αναγνώριση προτύπων (Fuzzy pattern recognition), RF, διάνυσμα υποστήριξης (support vector regression), η δοκιμή παλινδρόμησης F (F-regression test) και τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks) μπορούν να εξυπηρετήσουν σε αυτόν τον σκοπό.

(Belyadi H., Fathi E., Belyadi F. , 2019)

4. 4^ο Βήμα :

4.1. Κλιμάκωση, κανονικοποίηση και τυποποίηση: για να διασφαλιστεί πως ο εκπαιδευόμενος αλγόριθμος δεν είναι προκατειλημμένος ως

προς το μέγεθος των δεδομένων, τα δεδομένα (εισόδου και έξοδου) πρέπει να κλιμακωθούν.

Αυτή η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας την Εξίσωση που ακολουθεί:

(Feature normalization) Κανονικοποίηση δυνατοτήτων:

$$X' = \frac{X - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

(Belyadi H., Fathi E., Belyadi F. , 2019)

Όπου,

X' = το κανονικοποιημένο σημείο δεδομένων (normalized data point)

και

X = το σημείο δεδομένων εισόδου.

Η κανονικοποίηση δεδομένων εγγυάται ότι κάθε χαρακτηριστικό θα επανακλιμακωθεί σε εύρος [0, 1].

Δεδομένου πως οι περισσότερες από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην Μ.Μ. βασίζονται στην κατανομή Gaussian, η τεχνική της κανονικοποίησης χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της κατανομής δεδομένων κάθε χαρακτηριστικού σε κατανομή Gaussian.

Μερικοί αλγόριθμοι εκμάθησης, όπως το Support Vector Machine (SPV), υποθέτουν πως τα δεδομένα κατανέμονται γύρω από το μηδέν με την ίδια διαφορά.

Εάν αυτή η συνθήκη δεν πληρείται, τότε ο αλγόριθμος θα είναι προκατειλημμένος, σε χαρακτηριστικά με μεγαλύτερη απόκλιση.

Για την τυποποίηση των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση:

(Feature Standardization) Τυποποίηση δυνατοτήτων: $X' = \frac{X - \mu}{\sigma}$

(Belyadi H., Fathi E., Belyadi F. , 2019)

όπου X' = το τυποποιημένο σημείο δεδομένων,

μ = ο μέσος όρος του συνόλου δεδομένων, και

σ = η τυπική απόκλιση του συνόλου δεδομένων.

Η κλιμάκωση κατά μήκος της μονάδας είναι μια άλλη ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική όταν πρόκειται για την κλιμάκωση των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της Μ.Μ.

Σε αυτή την τεχνική, κάθε συστατικό διαιρείται με το Ευκλείδειο μήκος του διανύσματος.

(Feature scaling to unit length) Κλιμάκωση δυνατοτήτων σε μήκος

μονάδας: $X' = \frac{X}{||X||}$

(Belyadi H., Fathi E., Belyadi F. , 2019)

5. 5^ο Βήμα :

5.1. Ανάπτυξη μοντέλου: αφού τα δεδομένα έχουν αναβαθμιστεί και σημαντικά χαρακτηριστικά έχουν επιλεγθεί, το επόμενο βήμα είναι η χρήση διάφορων αλγορίθμων Μ.Μ. για την ανάπτυξη ενός έξυπνου μοντέλου (intelligent model). Υπάρχουν διαφορετικοί αλγόριθμοι εποπτευόμενης, μη επιβλεπόμενης και ενισχυτικής μάθησης

διαθέσιμοι, που μπορούν να εφαρμοστούν, ανάλογα με τη φύση του προβλήματος.

5.2. Αλγόριθμος εποπτευόμενης μάθησης (supervised learning algorithm): εάν το πρόβλημα απαιτεί εποπτευόμενο αλγόριθμο εκμάθησης, τότε η βάση δεδομένων θα χωριστεί σε τρία υποσύνολα συμπεριλαμβανομένου της εκπαίδευσης (training), της επικύρωσης (validation) και των δοκιμών (testing).

5.2.1. Δειγματοληψία: κατά τη διαίρεση της βάσης δεδομένων σε εκπαίδευση, επικύρωση, και δοκιμαστικών συνόλων, είναι απαραίτητο να επιλέγουμε τυχαία υποσύνολα με ιδιαίτερη προσοχή στην κατανομή κάθε υποσυνόλου και να συγκρίνουμε με την αρχική διανομή της βάσης δεδομένων.

Η ιδανική εκπαίδευση, επικύρωση και δοκιμαστικά σύνολα θα πρέπει να έχουν παρόμοιες στατιστικές περιγραφές σε σύγκριση με το αρχικό σύνολο δεδομένων.

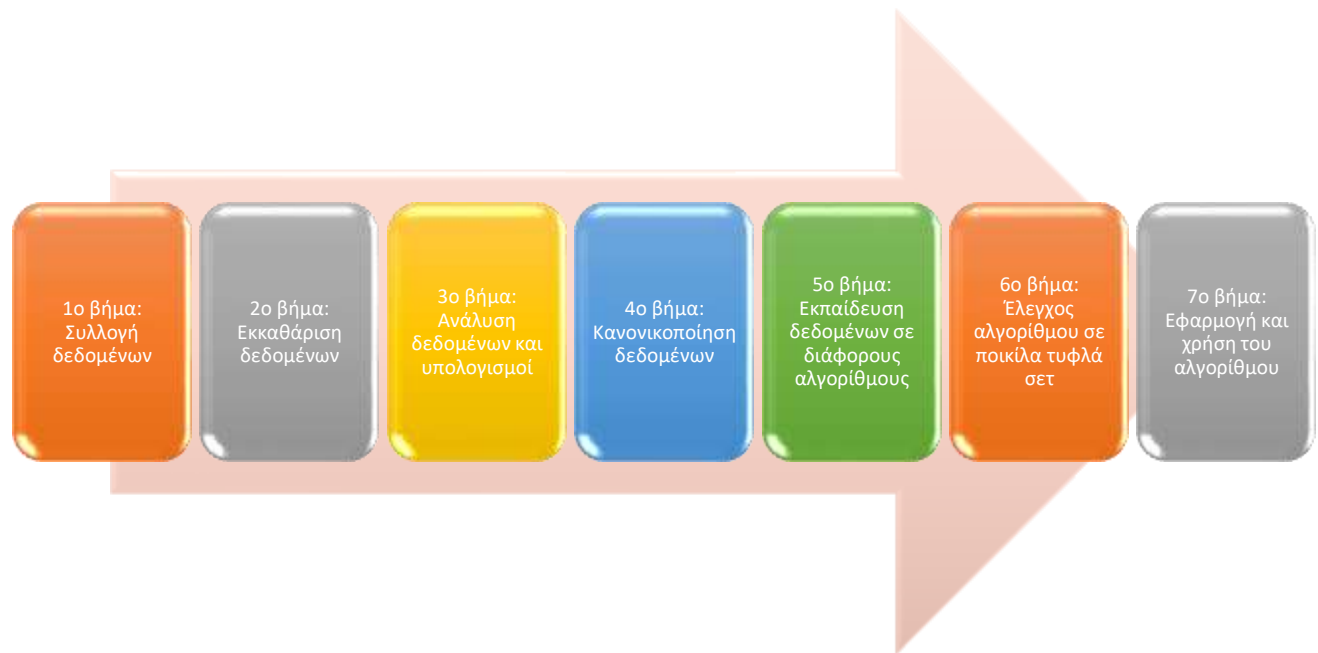
6. 6^ο Βήμα :

6.1. Σετ τυφλής δοκιμής (Blind set testing) : μετά την εκπαίδευση και την επικύρωση του μοντέλου, το επόμενο βήμα είναι να εφαρμοστεί το μοντέλο εκπαίδευσης σε ένα σύνολο τυφλών για την διαπίστωση της ικανότητας πρόβλεψης και γενίκευσης του μοντέλου.

7. 7^ο Βήμα :

7.1. Αποθήκευση και εφαρμογή του μοντέλου: μόλις το μοντέλο εκπαίδευσης μας ικανοποιεί, τότε είναι έτοιμο να αναπτυχθεί ή να ενσωματωθεί σε ένα κέντρο επιχειρήσεων σε πραγματικό χρόνο.

Στην Εικόνα 30, απεικονίζονται όλα τα βήματα που συζητήθηκαν νωρίτερα.



Εικόνα 40: Βήματα μεθοδολογίας δημιουργίας μοντέλων Μ.Μ. Ιδία επεξεργασία.

3.4 Προβλήματα και οφέλη από τη χρήση Μ.Μ. στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου

Η Τ.Ν. είναι από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες της εποχής, καθώς δημιουργεί ευκαιρίες για καινοτομία και ανάπτυξη.

Η δυσκολία της ανάκτησης πετρελαίου και φυσικού αερίου τα τελευταία 10 έτη επιβάλλει την αναγκαιότητα δημιουργίας νέων μεθόδων και επιχειρηματικών μοντέλων διασφαλίζοντας τα αναγκαία κέρδη κατά την παραγωγή τους.

Οι εταιρείες για την διατήρηση των επιπέδων παραγωγής χρειάζεται να ξοδέψουν αρκετά χρήματα για :

- Επιπλέον γεωτρήσεις
- Επεξεργασία των πετρελαιοπηγών (hydraulic fracturing)

- Ενισχυμένη ανάκτηση πετρελαίου

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων τα χρήματα που επενδύονται για τις προαναφερόμενες ενέργειες δεν ξεπληρώνονται ενώ στην ανακάλυψη νέων πεδίων, η κατάσταση δεν είναι ευνοϊκότερη, καθώς τα νέα πεδία μπορεί:

- Να βρίσκονται σε περιοχές με ακραία περιβάλλοντα
- Περίπλοκα πεδία από άποψη γεωμετρίας
- Κάτω από λεπτά στρώματα ορυκτών αλάτων
- Φτωχά από άποψη διαπερατότητας

(Yasin Hajizadeh, 2019)

Τα ζητήματα που οι εταιρείες συνήθως κλίνουν να απαντήσουν είναι:

- ✓ Έχει αυτό το πετρελαικό πεδίο προοπτική;
- ✓ Μπορώ να επενδύσω για την ενίσχυση του συγκεκριμένου πετρελαικού πεδίου; Σε ποια τεχνολογία αξίζει να επενδύσω;

Η πρώτη ερώτηση συνήθως απαντάται με την δημιουργία γεωλογικών & ταμιευτήριων μοντέλων που διαρκεί από αρκετούς μήνες έως αρκετά χρόνια να αναπτυχθεί.

Η δεύτερη ερώτηση συνήθως απαντάται από τους ειδικούς και υποστηρίζεται σε κάποιες περιπτώσεις από την συμβατική μοντελοποίηση των ταμιευτήρων.

Η Τ.Ν. όπως έχουμε επισημάνει στο 1^ο κεφάλαιο, μπορεί να εκπαιδευτεί με τα απαραίτητα δεδομένα πεδίου και να παρέχει σημαντική βοήθεια στην επιτάχυνση των διαδικασιών ενώ θα υπάρχει απεξάρτηση από τους 'ειδικούς' με συνέπεια την παραγωγή αντικειμενικών αποτελεσμάτων.

3.5 Upstream Εφαρμογές Μ.Μ. στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου

Καθώς βελτιώνεται η δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων, βελτιώνεται και η απόδοση των ηλεκτρονικών συσκευών. Οι βιομηχανίες του κλάδου χρησιμοποιούν υπολογιστική ισχύ για τις διαδικασίες upstream (παραγωγή και εξερεύνηση).

Όσο η βιομηχανία του κλάδου υιοθετεί με ταχύτερους ρυθμούς τη νέα τεχνολογία, θα γίνονται προσπάθειες ρεαλιστικές για την επιτάχυνση των διαδικασιών και τη μείωση των κινδύνων. (Rakesh Kumar Pandey, Anil Kumar Dahiya, Ajay Mandal, 2020)

Οι δραστηριότητες upstream έχουν εξαιρετικό ενδιαφέρον τόσο εξαιτίας του υψηλού κεφαλαίου που απαιτούν όσο και του γεγονότος πως οι εταιρείες του κλάδου έρχονται αντιμέτωποι με την αβεβαιότητα καθώς βασίζονται στην γνώση των ειδικών επιστημόνων και όχι στα πραγματικά δεδομένα.

Τα πρώτα βήματα στη Μ.Μ. και στην Τ.Ν. στις δραστηριότητες upstream γίνονται συνδυάζοντας τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα πεδίου με την γνώση και εμπειρία των ειδικών επιστημόνων για την λήψη ορθότερων αποφάσεων.

Στον Πίνακα 6, παρατηρούμε τα εργαλεία και την προσέγγιση της τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την δραστηριότητα.

Πίνακας 16: Δραστηριότητες upstream, εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί με την εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης. Ιδία επεργασία. Πηγή: (Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayavarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza, 2021)

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΕΡΓΑΛΕΙΑ	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ	ΜΕΙΩΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΔΑΦΙΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ	Ένα εργαλείο για την αυτόματη χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών του ταμειυτήριου πετρώματος . Πρόγραμμα συλλογής γεωλογικών δεδομένων από κορμούς φρεατίων. Με βάση τις φωτογραφίες δειγμάτων του βράχου που συλλέχθηκαν από πηγάδια, δημιουργήθηκε μια βιβλιοθήκη για την αναγνώριση του.	Τεχνικές παρεμβολής (Interpolation techniques) + μη βελτιστοποίηση κλίσης (none gradient optimization) Ενίσχυση κλίσης (Gradient boosting)	Επιταχύνεται η διαδικασία χαρτογράφησης από αρκετές εβδομάδες σε αρκετά δευτερόλεπτα. Επιτάχυνση περίπου 100+ φορές	Απαλοιφή ανθρώπινων λαθών που οδηγούν σε λάθη στη χαρτογράφηση .
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Με τη χρήση τηλεμετρίας γεώτρησης σε πραγματικό χρόνο, αυτό το εργαλείο μπορεί να ανιχνεύσει τη μορφή του διάτρητου βράχου αλλά και τη πιθανή αστοχία.	Συνδυασμός αλγορίθμων μηχανικής μάθησης	Έως 20% εξοικονόμηση χρόνου και 15% εξοικονόμηση χρημάτων κατά τη κατασκευή των πηγαδιών.	Μεγιστοποίηση η επαφής μεταξύ της γεώτρησης και της ζώνης πληρωμών.
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ	Οι παραδοσιακές προσομοιώσεις των ταμειυτήρων μπορούν να επιταχυνθούν με τη χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου	Βαθιά νευρωνικά δίκτυα	Επιτάχυνση με συντελεστή από 200 στα 2000	Καθίσταται δυνατή η εξέταση περισσότερων σεναρίων ανάπτυξης για την επιλογή της βέλτιστης.
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ Η ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	Μία μέθοδος που χρησιμοποιεί τα δεδομένα για την αντικειμενική πρόβλεψη της αποτελεσματικότητας της παραγωγής	ενίσχυση κλίσης (Gradient boosting) + επιλογή χαρακτηριστικώ ν	Πάνω από 100+ φορές ταχύτερη εκτίμηση επεξεργασίας πετρελαιοπηγών	Έως 20% αύξηση του περιθωρίου επενδύσεων

3.5.1 Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. στην Εξερεύνηση υδρογονανθράκων

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η εξερεύνηση υδρογονανθράκων χαρακτηρίζεται από έντονη αβεβαιότητα. Οι ειδικοί στη εξερεύνηση των υδρογονανθράκων χρειάζεται να αναγνωρίσουν υπόγειες προοπτικές για εκμετάλλευση των υδρογονανθράκων. Έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα τα περιορισμένα δισδιάστα σεισμικά δεδομένα υπεδείκνυαν τη θέση γεώτρησης βασισμένη στην υπόγεια χαρτογράφηση.

Εξαιτίας των κινδύνων που προαναφέραμε η πιθανότητα επιτυχίας βρισκόταν σε αναλογία 1:7. (Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayavarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza, 2021)

Η απόκτηση περισσότερων δεδομένων (big data) όμως με την πάροδο των ετών, δημιούργησε την ανάγκη για την ανάλυση τους με την χρήση της Μ.Μ..

Τα καθαρά δεδομένα που ελήφθησαν χρησιμοποιήθηκαν για την ερμηνεία 2D, 3D και 4D σεισμικών χρησιμοποιώντας διάφορους ισχυρούς αλγόριθμους.

Η χαρτογράφηση διάφορων υποεπιφανειακών οριζόντων βοήθησε με ακρίβεια στην προετοιμασία χαρτών υποεπιφανειακού όγκου και την μετατροπή τους σε χάρτες πλάτους, πορώδους και κορεσμού ενσωματώνοντάς τους με καταγραφή πηγαδιών.

Οι τεχνικές αναστροφής (inversion techniques) χρησιμοποιήθηκαν για την κατανόηση των παραμέτρων δεδομένων από τα υπόγεια μοντέλα. (J. Zhang, X. Yin, G. Zhang, Y. Gu, X. Fan, 2020)

Πρόσφατα χαρακτηριστικά όπως η συνοχή, ο χάρτης ακμών, η φασματική αποσύνθεση, ο ανάγλυφος χάρτης είναι αποτελέσματα της Μ.Μ..

Η κατανόηση των πολυγώνων ρήγματος, η χαρτογράφηση σύνθετων δομών ρήγματος και η χαρτογράφηση του αθροίσματος των λιθολογικών και παλαιοντολογικών πτυχών μιας στρωματογραφικής ενότητας με τη χρήση ραβδωτού τμήματος, βελτίωσαν την κατανόηση των υπογείων προοπτικών.

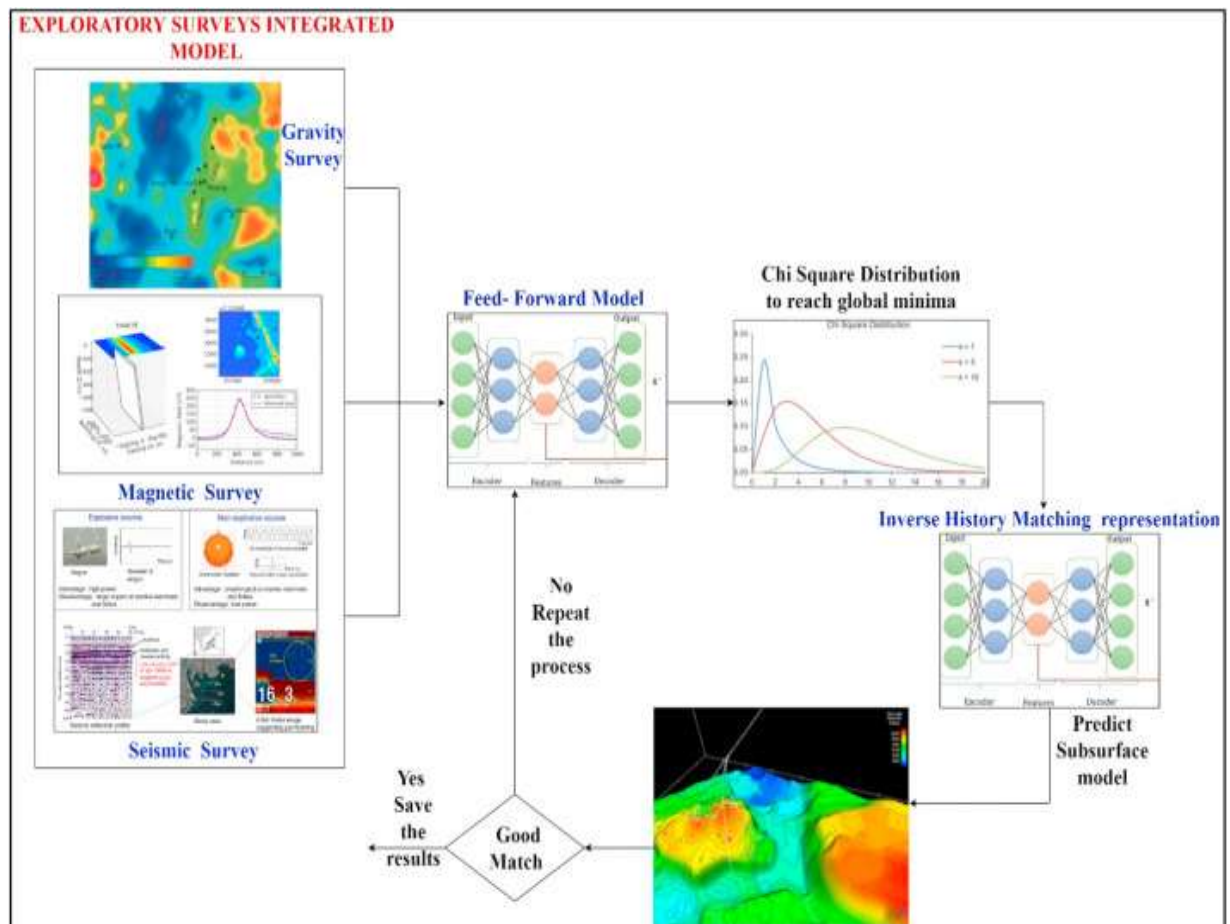
Χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι της Μ.Μ. για τη μετατροπή των προοπτικών σε προοπτικές με δυνατότητα διάτρησης και τη βελτίωση της πιθανότητας επιτυχίας σε αναλογία 1:3.

Η χρήση του 4D σεισμικού ή επαναλαμβανόμενου σεισμικού βοήθησε τους επιστήμονες της εξερεύνησης να κατανοήσουν την κίνηση των υδρογονανθράκων μετά τη δραστηριότητα γεώτρησης . (A. Kumar, 2019)

Το Τ.Ν.Δ. και οι ευρετικές μέθοδοι (heuristic methods) , εφαρμόζονται σήμερα για την βελτίωση των προοπτικών στόχου, το μέγεθός του και τον όγκο υδρογονανθράκων του (Εικ. 4).

Τεχνικές όπως η προσομοίωση Monte Carlo και ο εξελικτικός προγραμματισμός χρησιμοποιούνται για την διεξαγωγή μιας στοχαστικής περιοχής υδρογονανθράκων στο υπέδαφος και την διευκρίνιση της ποσότητας που μπορεί να αξιοποιηθεί και να βγει στην επιφάνεια.

Συμπεραίνοντας, η Μ.Μ. έφερε μια αλλαγή στο καθεστώς εξερεύνησης και παραγωγής υδρογονανθράκων στον κόσμο.



Εικόνα 31: Περιγραφή εξερεύνησης για επεξεργασία και ερμηνεία δεδομένων με τη χρήση μηχανικής μάθησης. Πηγή: (Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayanarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza, 2021)

Η χρήση της Τ.Ν. στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου προχωρά με ταχείς ρυθμούς καθώς η ιδέα της διεισδύει όλο και περισσότερο σε διαφορετικά στάδια του κλάδου, όπως η έξυπνη γεώτρηση, η έξυπνη ανάπτυξη, ο ευφυής αγωγός, η έξυπνη επεξεργασία κ.λπ. Οι προγραμματιστές έχουν δημιουργήσει μια σειρά από ρεαλιστικές τεχνολογίες εφαρμογών στην έρευνα και την παραγωγή χρησιμοποιώντας αλγόριθμους Τ.Ν..

Στον τομέα της εξερεύνησης, η χρήση της προσέγγισης Τ.Ν.Δ. έχει ήδη αποφέρει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά τη μείωση των κινδύνων της εξερεύνησης και την αύξηση των ποσοστών επιτυχίας των εξερευνητικών πηγαδιών. (K. PandeyR, KakatiH, Mandala, 2017)

Ο νέος εξοπλισμός γεώτρησης, όπως ένα αυτοματοποιημένο γεωτρήσιμο και ένας έξυπνος σωλήνας γεώτρησης, έχει βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα της γεώτρησης και επιπροσθέτως έχει μειώσει το κόστος . (HolditchS, 2013)

Ο βασικός τρόπος εφαρμογής της Τ.Ν. στην ανάπτυξη των κοιτασμάτων πετρελαίου είναι η βελτίωση του σχεδίου της ανάπτυξης με βάση τα ιστορικά δεδομένα της παραγωγής πετρελαιοπηγών.

Ο σχεδιασμός πεδίου και των θέσεων των γεωτρήσεων μπορούν να μελετηθούν χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο παλινδρόμησης.

Το χαρακτηριστικό των δεδομένων μπορεί να γίνει κατανοητό με μάθηση χωρίς επίβλεψη.

Προτάθηκε το 2019 ένα πλαίσιο που αποδείχθηκε αποτελεσματικό για τους σχιστόλιθους διότι μπορεί να χειριστεί μεγάλα δεδομένα. (A. Kumar, 2019)

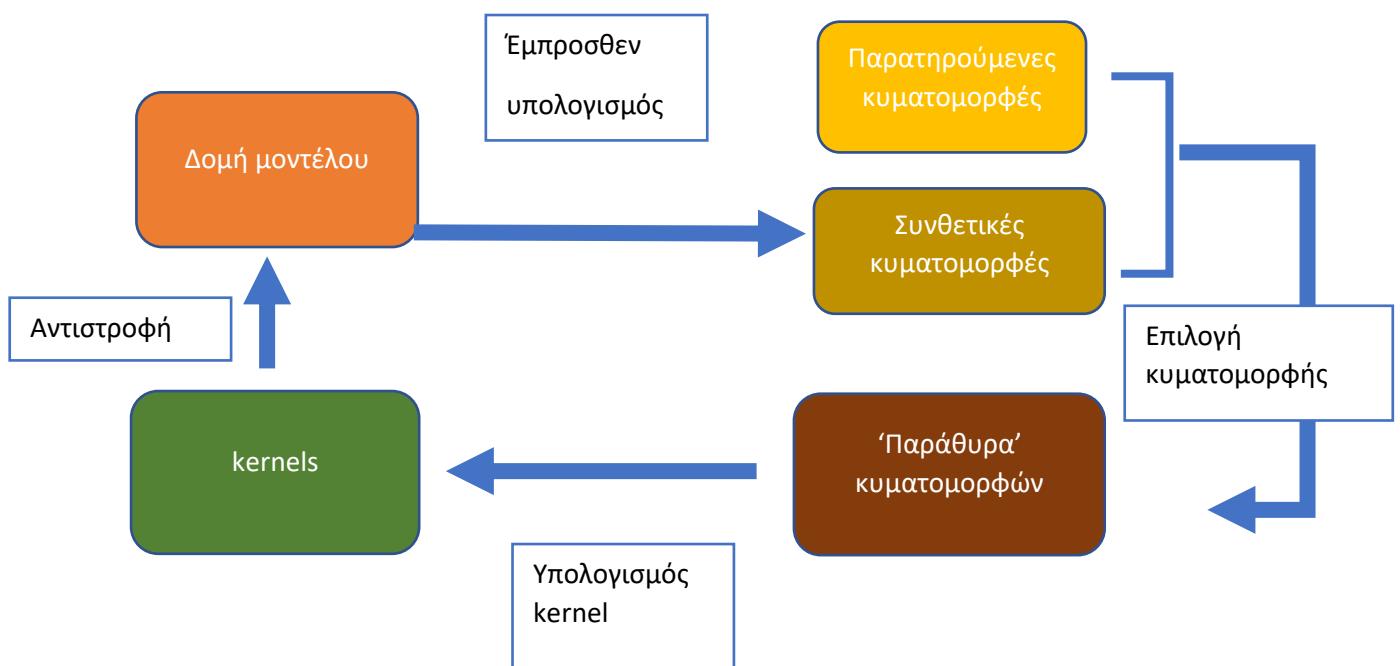
Το πρόβλημα της φυσικής των βράχων μπορεί να λυθεί με τη γραμμική μέθοδο αντιστροφής της φυσικής των βράχων. Αυτό το μοντέλο μπορεί να παρέχει ακριβείς φυσικές παραμέτρους, αλλά δεν μπορεί να είναι χρήσιμο για εξαιρετικά μη γραμμικοποιημένη φυσική του βράχου. (J. Zhang, X. Yin, G. Zhang, Y. Gu, X. Fan, 2020)

Το επαναλαμβανόμενο Ν.Δ. προτάθηκε για τη λήψη συνθετικών δεδομένων καταγραφής φρεατίων από υπάρχοντα δεδομένα καταγραφής φρεατίων.

Σύμφωνα με την μελέτη του Diersen , χρησιμοποιήθηκε Τ.Ν. για τη μείωση των ανθρώπινων προσπαθειών για την επεξεργασία και την

ανάλυση σεισμικής τομογραφίας πλήρους κύματος. Αυτό έγινε με την ενσωμάτωση της T.N. και του Complex Wavelet Transform (CWT)¹⁸.

Το T.N.Δ. και το βασισμένο στη γνώση T.N.Δ., μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή κατάλληλων θραυσμάτων σεισμικών παραθύρων μέσα στον αλγόριθμο τομογραφίας πλήρους κύματος (Εικ. 32).



Εικόνα 32: Ροή εργασιών τομογραφίας πλήρους κύματος. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Rocky Roden, *Geophysical Insights*, and Deborah Sacrey, *Auburn Energy*, 2017, Vol.13, No.6)

3.5.2 Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. στην αξιολόγηση της υπεδάφιας γεωλογίας

Έχει αρχίσει να γίνεται αποδεκτή στον τομέα της σεισμικής ερμηνείας, η ανίχνευση σεισμικών ρηγμάτων με τη χρήση τεχνικών Μ.Μ., ιδιαίτερα με τη χρήση νευρωνικών δικτύων.

¹⁸ Το CWT είναι ένας μετασχηματισμός βασισμένος σε wavelet που βοηθά κάποιον να μελετήσει τους τομείς χρόνου - συχνότητας των κυματομορφών.

Οι αλγόριθμοι της Μ.Μ. εκπαιδεύονται στην μίμηση των δυνατοτήτων ενός έμπειρου διερμηνέα, αναγνωρίζοντας μοτίβα μέσα σε σεισμικά δεδομένα και ταξινομώντας τα κατάλληλα.

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο ανίχνευσης των σεισμικών σφαλμάτων, η εξαγωγή τρισδιάστατων αναπαραστάσεων ρηγμάτων από τα στοιχεία ακμών ή τις πιθανότητες σφάλματος είναι μία διαδικασία σημαντική.

Οι αναπαραστάσεις που εξάγονται είναι σημαντικές για την κατανόηση της υπόγειας γεωλογίας και αποτελούν κρίσιμη εισροή στις upstream δραστηριότητες συμπεριλαμβάνοντας τη μοντελοποίηση του ταμειυτήρα και του συστήματος πετρελαίου και τις δραστηριότητες σχεδιασμού του φρεατίου.

Έχει αναπτυχθεί μία ροή εργασιών υποβοηθούμενης ερμηνείας ρηγμάτων για την ανίχνευση και εξόρυξη σεισμικών ρηγμάτων, που αποδεικνύεται από μελέτη περίπτωσης του κοιτάσματος φυσικού αερίου στο Groningen, το κοιτάσμα φυσικού αερίου με βαριά ρήγματα βρίσκεται στην ξηρά, βορειοανατολικά της ολλανδίας.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται εποπτευόμενη μάθηση με επισήμανση και εφαρμόζεται νευρωνικό δίκτυο για τον εντοπισμό ρηγμάτων εντός ενός συνόλου σεισμικών δεδομένων.

Μετά την πρόβλεψη, εφαρμόζεται γεωμετρική αξιολόγηση των προβλεπόμενων ρηγμάτων χρησιμοποιώντας ανάλυση κύριας συνιστώσας για την παραγωγή αναπαραστάσεων γεωμετρικών χαρακτηριστικών. (Stewart Smith, Olesya Zimina, Surender Manral, Michael Nickel, 2021)

3.5.3 Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. κατά τη διαδικασία Γεώτρησης

Τα μοντέλα που βασίζονται σε δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων εννοιών στη μηχανική.

Η βελτιστοποίηση ορισμένων ελεγχόμενων παραμέτρων εισόδου σε ένα μοντέλο για την αύξηση της αποτελεσματικότητας των λειτουργιών, είναι κοινή πρακτική της μηχανικής.

Η Μ.Μ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη του ρυθμού διείσδυσης (ROP¹⁹) κατά τη διάρκεια της γεώτρησης με μεγάλη ακρίβεια.

Ο ρυθμός διείσδυσης (ROP) κατά τη διάρκεια της γεώτρησης είναι ένα άμεσο μέτρο του χρόνου που απαιτείται για τη διάνοιξη ενός φρεατίου, εκτός από άλλους χρόνους που απαιτούνται όπως ταξίδια, αλλαγή bit, χρόνος διακοπής κ.λπ.

Ως εκ τούτου, ο έλεγχος του ROP μπορεί να είναι εξαιρετικά σημαντικός στη γεώτρηση και η μεγιστοποίηση του ROP είναι μια μορφή βελτιστοποίησης της γεώτρησης, μειώνοντας τον χρόνο διάτρησης.

Η τελική μορφή βελτιστοποίησης της γεώτρησης θα ήταν η βελτιστοποίηση του κόστους, ελαχιστοποιώντας όλα τα στοιχεία που συμβάλλουν σε αυτό.

Οι παράμετροι εισόδου που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι:

-WOB (Weight on bit)

¹⁹ ROP : Rate of Penetration

-RPM (Rotations per minute of the drill bit)

-Flow rate of the drilling mud

Στη συνέχεια οι παράμετροι εισόδου τροποποιούνται για την αύξηση του ROP.

Αυτή η διαδικασία έχει εφαρμοστεί σε δεδομένα γεώτρησης από κάθετη γεώτρηση που αποτελείται από διαφορετικούς βράχους και σχηματισμούς.

Η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του μέγιστου επιτεύξιμου ROP σε κάθε σχηματισμό και τη χαρτογράφηση των επιχειρησιακών κατευθυντήριων γραμμών για τη διάνοιξη φρεατίων.

Μια ανάλυση μετά τη διάτρηση μπορεί να διεξαχθεί για φρεάτια με σκοπό τη μείωση του κόστους και την εξοικονόμηση χρόνου κατά τη γεώτρηση.

Αυτό το μοντέλο είναι αρκετά καινοτόμο επειδή χρησιμοποιούνται μόνο παράμετροι επιφανειακής μέτρησης, χωρίς άλλες απαιτήσεις για γεωλογικά, εργαστηριακά δεδομένα ή δεδομένα γεωτρήσεων.

Η ακρίβεια του μοντέλου μετράται με τη χρήση της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος²⁰ για την διευκόλυνση της μηχανικής ερμηνείας, με τον τύπο του να αποτυπώνεται ως εξής:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\text{ActualROP} - \text{PredictedROP})^2}$$

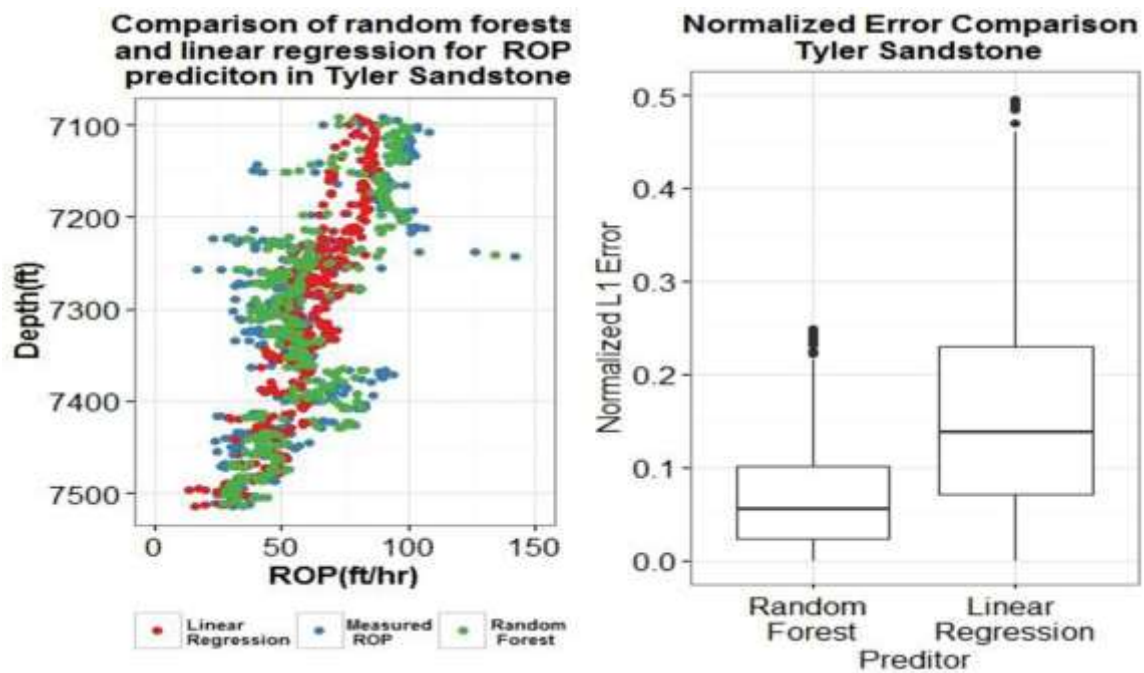
(Belyadi H., Fathi E., Belyadi F. , 2019)

²⁰ RMSE (Root Mean Squared Error)

Τα τυχαία δάση (Random Forests) εφαρμόζουν τυχαία δειγματοληψία για να δημιουργήσουν ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων **B**.

Σε κάθε κόμβο ενός δέντρου θεωρείται ένα τυχαίο δείγμα χαρακτηριστικών για την κατασκευή του δέντρου αποφάσεων (Decision tree), έχοντας ως αποτέλεσμα την αποσυσχέτιση των δέντρων που μειώνουν την διακύμανση και βελτιώνουν την ακρίβεια πρόβλεψης.

Στην Εικόνα 33, παρατηρούμε τη σύγκριση των προβλέψεων ROP τυχαίων δασών (random forest) με γραμμική παλινδρόμηση σε έναν δεδομένο σχηματισμό ψαμμίτη.



Εικόνα 33: Σύγκριση τυχαίων δασών και γραμμική παλινδρόμηση για πρόβλεψη ROP. Το Σχ. (αριστερά) απεικονίζει την πρόβλεψη βάθους έναντι ROP και για τις δύο μεθόδους. Το Σχ. (δεξιά) είναι μια γραφική παράσταση πλαισίου που συνοψίζει τα κανονικοποιημένα σφάλματα του τυχαίου δάσους και της γραμμικής παλινδρόμησης για προβλέψεις ROP στον ψαμμίτη Tyler. Πηγή: (Chiranth Hegde, K.E.Gray, 2017)

Αποδεικνύεται πως η Μ.Μ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την πρόβλεψη ROP κατά τη γεώτρηση σε όλο το μήκος του φρεατίου, εξοικονομώντας 30 ώρες γεώτρησης που εκτιμάται πως

αφορά το 12,5% του συνολικού χρόνου γεώτρησης. (Chiranth Hegde, K.E.Gray, 2017)

3.5.4 Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. στη Μηχανική ταμιευτήρων

Η μηχανική ταμιευτήρων ασχολείται με τη ροή ρευστού μέσω πορώδων, την πρόβλεψη της παραγωγής και τη βελτιστοποίηση πεδίου.

Απαιτείται μοντελοποίηση αριθμητικών προσομοιώσεων και πειραματισμοί για την προετοιμασία χαρτών των υπόγειων ιδιοτήτων και ανάλυση PVT²¹.

Για την μοντελοποίηση απαιτείται τεράστιος όγκος δεδομένων για την προετοιμασία των στατικών και δυναμικών μοντέλων.

Δεδομένα από σεισμικές καταγραφές πηγαδιών, ανάλυση πυρήνα, προηγούμενες επιδόσεις της δεξαμενής ενσωματώνονται χρησιμοποιώντας αλγόριθμους Μ.Μ. για τον σχεδιασμό αξιολόγησης και τα σχέδια ανάπτυξης στοχαστικού πεδίου.

Ο τεράστιος όγκος δεδομένων χρησιμοποιείται για την προετοιμασία χαρτών των ταμιευτήρων που βελτιώνονται επαναληπτικά με τη νέα της βάσης δεδομένων.

Το Τ.Ν.Δ. χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των ιδιοτήτων της δεξαμενής όπως η διαπερατότητα και το πορώδες εδώ και πολλά χρόνια.

Η μελέτη μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων Μ.Μ., όπως

²¹ Η ανάλυση PVT, χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς ταμιευτήρων για την διάκριση των ιδιοτήτων των ρευστών και τις διακυμάνεις του όγκου κατά τη φάση παραγωγής πετρελαίου. (Abdelaziz El-Hoshoudy and Saad Desouky, 2018)

- K Nearest Neighbors (KNN),
- Support Vector Regression (SVR),
- Kernel Ridge Regression (KRR),
- Adaptive Boosting και
- Collaborative Filtering για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων του ρευστού της δεξαμενής.

Ο Onwuchekwa (Onwuchekwa, 2018) , διαπίστωσε ότι το συνεργατικό φιλτράρισμα που αναπτύχθηκε για το σύστημα συστάσεων καταναλωτικών προϊόντων χρησιμοποιήθηκε αποτελεσματικά για τη μελέτη της δεξαμενής τους.

Το μοντέλο συνθετικής δεξαμενής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αριθμητική προσομοίωση του ταμιευτήρα πετρελαίου.

Οι Teixeira και Secchi χρησιμοποίησαν αλγόριθμο βελτιστοποίησης για να προσδιορίσουν τον βέλτιστο έλεγχο με απότερο σκοπό την μεγιστοποίηση της συνολικής παραγωγής πετρελαίου. (A. Teixeira, A. Secchi, 2019)

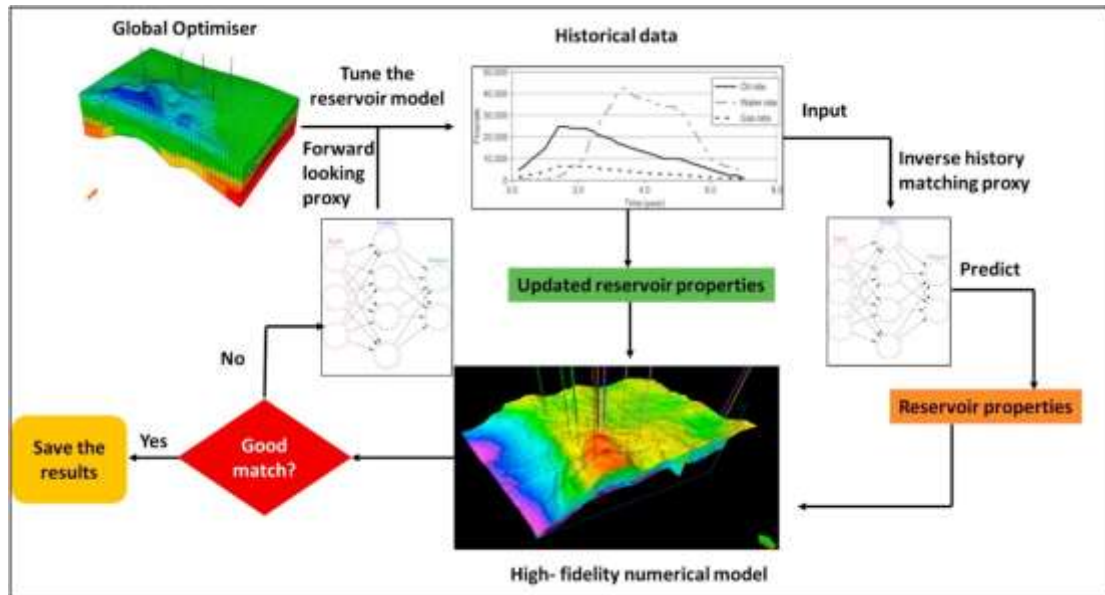
Το 2019 δημιουργήθηκε ένα έξυπνο μοντέλο με τη μέθοδο Extreme Gradient Boosting για την πρόβλεψη της απόκρισης της δεξαμενής με βάση τα φρεάτια έγχυσης. (A. Teixeira, A. Secchi, 2019)

Το 2018 στη μελέτη '*Fast evaluation of well placements in heterogenous reservoir models using machine learning*' (A. Nwachukwu, H. Jeong, M. Pyrcz, L.W. Lake, 2018) επέλεξαν 5 περιπτώσεις όπως:

- πλημμύρα νερού ομοιογενούς ταμιευτήρα,
- πλημμύρα νερού από ταμιευτήρα διοχέτευσης,
- πλημμύρα νερού σε σύνολο 20 μοντέλων και

- πλημμύρα CO₂ σε ετερογενή δεξαμενή με σύνθετη τοπογραφία.

Το Σχήμα της Εικόνας αντιπροσωπεύει τη ροή εργασιών αντιστοίχισης ιστορικού υποβοηθούμενης από Τ.Ν. για τον συντονισμό των ιδιοτήτων της δεξαμενής.



Εικόνα 34: Περιγραφή μοντελοποίησης δεξαμενής με χρήση Τ.Ν.Δ.. Πηγή: (Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayanararu, Namrata Bist, Hemangi Oza, 2021)

3.5.5 Επισκόπηση Εφαρμογών Μ.Μ. στη Μηχανική γεώτρησης

Κατά τη γεώτρηση, αντιμετωπίζονται διάφορα προβλήματα, όπως κραδασμοί των ράβδων, απώλεια κυκλοφορίας, φθορά των μύλων, υπερβολική ροπή, αστάθεια της γεώτρησης κ.λπ.

Η Μ.Μ. έχει τη δυνατότητα να λύσει αυτά τα προβλήματα. (C.I. Noshi, J.J. Schubert, 2018)

Η μέθοδος της Μ.Μ. που προτάθηκε από τους Aliouane και Ouadfeul το 2014 για την προετοιμασία του χάρτη αναλογιών του Poisson, είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης της γεώτρησης αλλά

και τις πληροφορίες των χαρακτηριστικών του βράχου. (L. Aliouane, S.A. Ouadfeul, 2014)

Η μέθοδος M.M. εφαρμόστηκε από τους Castinera το 2018 για τον έλεγχο της ποιότητας των μεγάλων δεδομένων γεώτρησης, τη λήψη κρίσιμων πληροφοριών και την πρόβλεψη του μη παραγωγικού χρόνου. (D. Castiñeira, R. Toronyi, N. and Saleri, 2018)

Αυτή η μέθοδος ήταν χρήσιμη για τη μείωση του κόστους εργασίας και για τον έλεγχο της ποιότητας των μεγάλων δεδομένων γεώτρησης.

Το δίκτυο Bayesian (BN)²² μπορεί να εφαρμοστεί σε γεωτρήσεις βαθέων υδάτων για εργασίες γεώτρησης διαχειριζόμενης πίεσης (MPD²³) και υπό ισοροπημένες εργασίες γεώτρησης (UBD²⁴).

Οι Bhandari το 2015 πρότειναν πως το BN μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την ανάλυση κινδύνου και τη πρόβλεψη αποτυχίας της υπεράκτιας βιομηχανίας. (J. Bhandari, R. Abbassi, V. Garaniya, F. Khan, 2015)

Οι παράμετροι γεώτρησης όπως το βάρος Bit (WOB²⁵), η περιστροφική ταχύτητα (RPM²⁶) και ο Ρυθμός διείδυσης (ROP) ελέγχονταν με αυτοματισμό.

²² Το *Bayesian network* είναι ένα γραφικό μοντέλο πιθανοτήτων που αναπαριστά ένα σύνολο μεταβλητών καθώς και τις υπό συνθήκη εξαρτήσεις τους μέσω ενός κατευθυνόμενου ακυκλικού γραφήματος (DAG: Directed Acyclic Graph). Τα δίκτυα Bayes είναι ιδανικά για τη λήψη ενός γεγονότος που συνέβη και την πρόβλεψη της πιθανότητας αναγνώρισης του παράγοντα που συνέβαλε. Για παράδειγμα, ένα Bayesian δίκτυο θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει τις πιθανολογικές σχέσεις μεταξύ ασθενειών και συμπτωμάτων. Δεδομένων των συμπτωμάτων, το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων παρουσίας διαφόρων ασθενειών. (wikipedia, 2022)

²³ MPD: Managed Pressure Drilling Operations

²⁴ UBD: Under Balanced Drilling Operations

²⁵ WOB: Weight on Bit, το ποσό της δύναμης προς τα κάτω που ασκείται στο τρυπάνι και συνήθως μετράται σε χιλιάδες lbs μεταξύ 1000 lbs και 100000 lbs.

²⁶ RPM: Rotary speed

Πληροφορίες όπως η διαβάθμιση του τρυπανιού ή ο εξοπλισμός της εξέδρας, η εκτίμηση με λειαντικό τρόπο και η αναμενόμενη φθορά του εξοπλισμού μπορούν να ληφθούν από έναν αλγόριθμο M.M. (J. Dunlop, IsangulovR, W.D. Aldred, H.A. Sanchez, J.L.S. Flores, J.A. Herdoiza, C. Luppens, 2011)

3.5.6 Επισκόπηση Εφαρμογών M.M. στη Βελτιστοποίηση παραγωγής

Οι προηγμένες μέθοδοι M.M. δημιουργούν νέα ροή εργασιών που μειώνουν το φορτίο στους μηχανικούς.

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές της M.M. στη μηχανική παραγωγής της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα για τη λήψη αποφάσεων είναι ένα από τα απαιτητικά καθήκοντα. Οι μέθοδοι M.M. μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση δεδομένων προτύπων παραγωγής.

Οι N. Subrahmanya, P. Xu, A. El-Bakry, C. Reynolds, στη μελέτη τους το 2015 έλαβαν το σημείο δεδομένων με την υψηλότερη αξία πληροφοριών με την ενεργητική μάθηση. Οι πληροφορίες από φρεάτια συνδυάστηκαν από πηγές με επισήμανση και με ημιεποπτευόμενη μάθηση χωρίς ετικέτα. (N. Subrahmanya, P. Xu, A. El-Bakry, C. Reynolds, 2014)

Τα δεδομένα ελέγχθηκαν, επαληθεύτηκαν και αποκαταστάθηκαν με τη χρήση αλγορίθμων. Η ανάλυση διόρθωσης των δεδομένων καταγραφής φρεατίων, ο ποιοτικός έλεγχος των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του υγρού και ο διαχωρισμός μεταξύ της παραγωγής βάσης και των επεμβάσεων στο φρεάτιο αναλύθηκαν από τον ειδικευμένο ερευνητή.

(A. Andrianova, M. Simonov, D. Perets, A. Margarit, D. Serebryakova, Y. Bogdanov, A. Bukharev, 2018)

Το μοντέλο T.N.Δ. μπορεί να προβλέψει την πίεση κλεισίματος μαθαίνοντας από τα μοτίβα των δεδομένων.

Τα δεδομένα εξόδου συγκρίνονται με τα πραγματικά αποτελέσματα για να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα.

Το 2018 Ο Nande στη μελέτη του, πρότεινε ότι το μοντέλο T.N.Δ. είναι ικανό να προβλέψει αποτελεσματικά την πίεση κλεισίματος.

Το 2019 οι C. Shen, B. Fournier, E. Giry, V. Cocault-Duverger, χρησιμοποίησαν το Μοντέλο Παλινδρόμησης Διανύσματος Υποστήριξης, για την πρόβλεψη φθοράς σε αγωγούς με μηχανική επένδυση. (C. Shen, B. Fournier, E. Giry, V. Cocault-Duverger, 2019)

Η σημασία της ανάλυσης ακμών για τις βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου εξηγήθηκε το 2018 από τους F. Saghir, H. Gilabert, M. and Boujonnier .

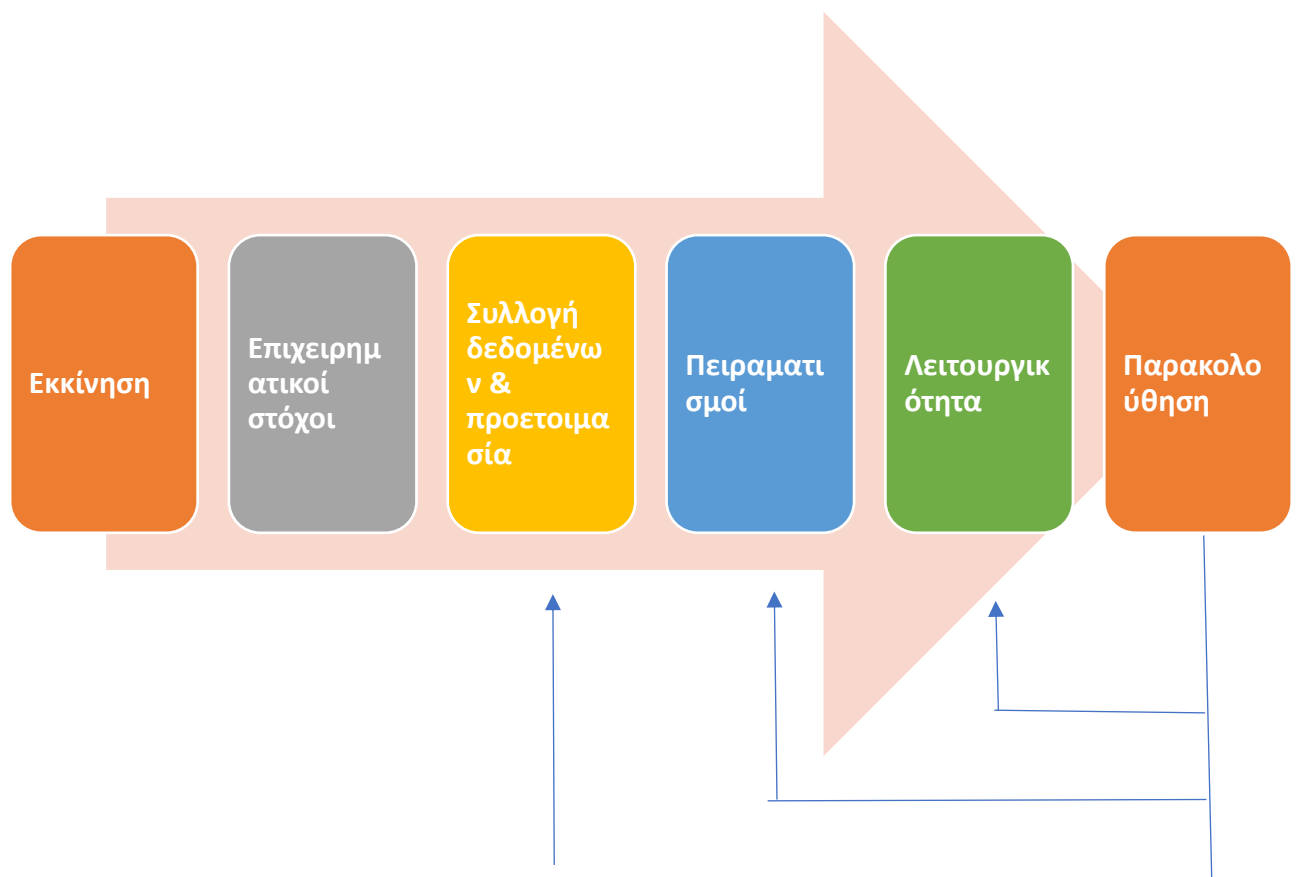
Η ανίχνευση ανωμαλιών σε πραγματικό χρόνο πραγματοποιήθηκε με ανάλυση ακμών για τα φρεάτια που λειτουργούν με ηλεκτρική υποβρύχια αντλία. (F. Saghir, H. Gilabert, M. and Boujonnier, 2018)

Οι πρακτικές Συνεχούς Ενοποίησης/Συνεχούς Ανάπτυξης (CICD²⁷) στη Μ.Μ., είναι ακόμη μια σημαντική εφαρμογή στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου (Εικ. 14).

²⁷ CICD: Continuous Integration/ Continuous Deployment

Το προηγμένο CICD θα πρέπει να περιλαμβάνει μια ακριβή και αναπαραγώγιμη διοχέτευση Μ.Μ. με μηχανισμούς παρακολούθησης, σειράς μοντέλων και ελέγχου έκδοσης.

Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την αναγνώριση της εννοιολογικής μετατόπισης όπου η απόδοση ενός στατιστικού μοντέλου επιδεινώνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω αλλαγών στα δεδομένα και τις σχέσεις εισροών-εκροών που μοντελοποιήθηκαν προηγουμένως. (I. Zliobaite, M. Pechenizkiy, J. Gama, 2016)



Εικόνα 35: Ροή εργασιών του σύγχρονου αγωγού μηχανικής μάθησης CICD. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Ram Mohan Vadavalasa, 2020)

Οι περισσότερες από τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις έχουν ήδη ξεπεράσει το προσδόκιμο ζωής της κατασκευής τους.

Η χαμηλότερη παραγωγικότητά τους δεν είναι το μόνο πρόβλημα καθώς έχουν επίσης κινδύνους σε πτυχές της κοινωνικής ασφάλειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Οι επιλογές αυτής της φάσης είναι μεταξύ της απενεργοποίησης τους, με επακόλουθο της απώλεια του πετρελαίου και του φυσικού αερίου που παράγεται τη δεδομένη στιγμή ή στην επένδυση με σκοπό την αναβάθμισή τους ή την ενίσχυση τους. (A. Andrianova, M. Simonov, D. Perets, A. Margarit, D. Serebryakova, Y. Bogdanov, A. Bukharev, 2018)

Ο υπεράκτιος ενεργειακός τομέας βασίζεται εδώ και πολύ καιρό σε ψηφιακά δίδυμα –ή ψηφιακά αντίγραφα ενός συστήματος– για να παρακολουθείται η υγεία των υλικών περιουσιακών στοιχείων, όπως αγωγοί, γεωτρήσεις, βαλβίδες και άλλα μηχανήματα.

Ωστόσο, αυτές οι προσομοιώσεις είναι αρκετά «στατικές», καθώς δεν λαμβάνουν υπόψη όλες τις αλλαγές στις πραγματικές, φυσικές συνθήκες ενός περιουσιακού στοιχείου που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοσή του με την πάροδο του χρόνου. (Accenture, 2018)

Νέες μέθοδοι ελέγχου έχουν δημιουργηθεί για τη σύνδεση δεδομένων από αισθητήρες Δ.Τ.Π. σχετικά με τα πραγματικά περιβαλλοντικά φορτία με ένα εικονικό αντίγραφο του στοιχείου.

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται μερικές από τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια της T.N. για την παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Πίνακας 17: Χρήση T.N. στην παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ιδία επεξεργασία. Πηγή:

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΞΟΔΟΥ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ
T.N.Δ.	Ο ρυθμός αύξησης του ΑΕΠ, τα πλάνα που πραγματοποιήθηκαν, οι γεωτρήσεις, η ετήσια εξάντληση, οι τιμές του φυσικού αερίου και άλλοι πόροι είναι όλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη.	Παραγωγή αερίου	(S.M. Al-Fattah, R.A. Startzman, 2001)
ΔΙΑΔΟΣΗ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΙΣΩ (BACK PROPAGATION)	Η θερμοκρασία, η θερμότητα, η επιφανειακή ταχύτητα του αερίου και η επιφανειακή ταχύτητα του υγρού είναι όλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη.	Συγκράτηση υγρού	(E.S.A. Osman, 2001)
ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ + ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ	Ικανότητα παραγωγής υγρών	Περιεκτικότητα σε νερό	(H.Y. Yan, J.Y. Fu, J.H. Dong, 2014)

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ SWAMI
ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

**ΔΙΑΔΟΣΗ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΙΣΩ (BACK
PROPAGATION)**

Αριθμός ανοιχτών
φρεατίων έγχυσης,
φρεατίων
παραγωγής που
άνοιξαν πρόσφατα
και παλαιών
φρεατίων με
αποτελεσματική
επεξεργασία.
υπολειπόμενα
γεωλογικά
αποθέματα·
συνολικός αριθμός
γεωτρήσεων
παραγωγής· μηνιαία
αναλογία ένεσης-
παραγωγής.
λειτουργία πυρήνα;
αριθμός ανοιχτών
φρεατίων έγχυσης,
φρεατίων
παραγωγής που
άνοιξαν πρόσφατα
και παλαιών
φρεατίων με
αποτελεσματική
επεξεργασία

Μηνιαία
ικανότητα
παραγωγής
λαδιού και
υγρών

(S.H. Xu, C.C. Bi,
Y. Zhang, 2015)

<p>ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΑΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ + ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΜΗΝΟΥΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ + ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ</p>	<p>Αριθμός ανοιχτών φρεατίων, ανοιχτών φρεατίων έγχυσης, φρεατίων παραγωγής που άνοιξαν πρόσφατα και παλαιών φρεατίων με αποτελεσματική επεξεργασία. αναλογία έγχυσης- παραγωγής. περιεχόμενο νερού; αριθμός ανοιχτών φρεατίων, ανοιχτών φρεατίων έγχυσης, φρεατίων παραγωγής που άνοιξαν πρόσφατα και παλαιών φρεατίων με αποτελεσματική επεξεργασία</p>	<p>Παραγωγή πετρελαίου</p>	<p>(G.Y. Feng, J.X. Han, 2015)</p>
<p>Τ.Ν.Δ.</p>	<p>οριζόντια διαπερατότητα, αραιότητα της ύλης, ταχύτητα</p>	<p>Παραγωγή πετρελαίου</p>	<p>(A. Gaurav, 2017)</p>
<p>ΔΙΑΔΟΣΗ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΙΣΩ (BACK PROPAGATION)</p>	<p>Διαγένεση, βάθος, ημερολόγιο</p>	<p>Πορώδες, διαπερατότητα</p>	<p>(K.G. Salem, AbdulazizAAM,</p>

	νετρονίων, ημερολόγιο πυκνότητας, ηχητικό ημερολόγιο, ημερολόγιο βαθιάς αντίστασης		A. Abdel Sattar, A.S.D. Dahab, 2018)
ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ PERCEPTRON	κανονικός χρόνος ροής, κατανεμημένη ανίχνευση θερμοκρασίας, κατανεμημένη ακουστική αίσθηση	Παραγωγή αερίου	(P.K. Ghahfarokhi, T. Carr, S. Bhattacharya, J. Elliott, A. Shahkarami, K. Martin, 2018)
ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ + ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΣΑΦΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ	Παχύμετρο, αραιότητα της ύλης, ακτίνες γάμμα, πυκνότητα, νετρόνια, τρεις ξεχωριστές αντιστάσεις	Κορεσμός νερού	(M.R. Khan, Z. Tariq, A. Abdulraheem, 2018) (M.R. Khan, Z. Tariq, A. Abdulraheem, 2018)

3.6 Midstream Εφαρμογές Μ.Μ. στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου

3.6.1 Αγωγοί

Οι αγωγοί αποτελούν τους σημαντικότερους μεταφορείς πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Σήμερα, υπάρχουν 2 εκ. μίλια αγωγών παγκοσμίως και το μήκος τους αυξάνεται σε ποσοστό της τάξεως του 3%-4% ετησίως. Εξαιτίας της μακράς του απόστασης και τη διάσχιση τους από διάφορα περίπλοκα τμήματα, αντιμετωπίζονται μεγάλες προκλήσεις στη διαχείριση και ιδιαίτερα στη διαχείριση της ασφάλειας. (Camilo Lima, Susana Relvas, Ana Paula F.D., Barbosa-Rónoa, 2016)

Αν συμβεί ένα ατύχημα στον αγωγό, είναι δύσκολο να εντοπιστεί γρήγορα και να επισκευαστεί.

Με την τεχνολογία των πληροφοριών να προχωρά ραγδαία, οι αγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου έχουν εισέλθει στο στάδιο των ψηφιακών αγωγών.

Ο ψηφιακός αγωγός δίνει προσοχή στην τεχνολογία επικοινωνίας και στην απομακρυσμένη ανίχνευση, με τις νέες τάσεις να τον ονομάζουν 'έξυπνο αγωγό'.

(Electric, 2017)

Ο έξυπνος αγωγός είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα που ενσωματώνει τεχνολογίες όπως Δ.Τ.Π., cloud υπολογιστές, ανάλυση μεγάλων δεδομένων, αυτοματισμό και έξυπνο έλεγχο με βάση τα δεδομένα του κύκλου ζωής τους .

(Staff, 2017)

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, το 87% των εταιρειών πετρελαίου και φυσικού αερίου πιστεύουν πως η ανάλυση μεγάλων δεδομένων είναι εξαιρετικά σημαντική τεχνολογία καθώς υπολογίζεται πως κάθε 8000 km αγωγού θα συγκεντρώνει περίπου 27 megabyte πληροφοριών σχετικά με την υγεία και τη λειτουργία των περιουσιακών τους

στοιχείων κάθε 10 χρόνια. (CHEN Pengchao; FENG Wenxing; YAN Bingchuan, 2019)

Αυτές οι πληροφορίες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συντήρηση του κύκλου ζωής των αγωγών. (Farris, 2012)

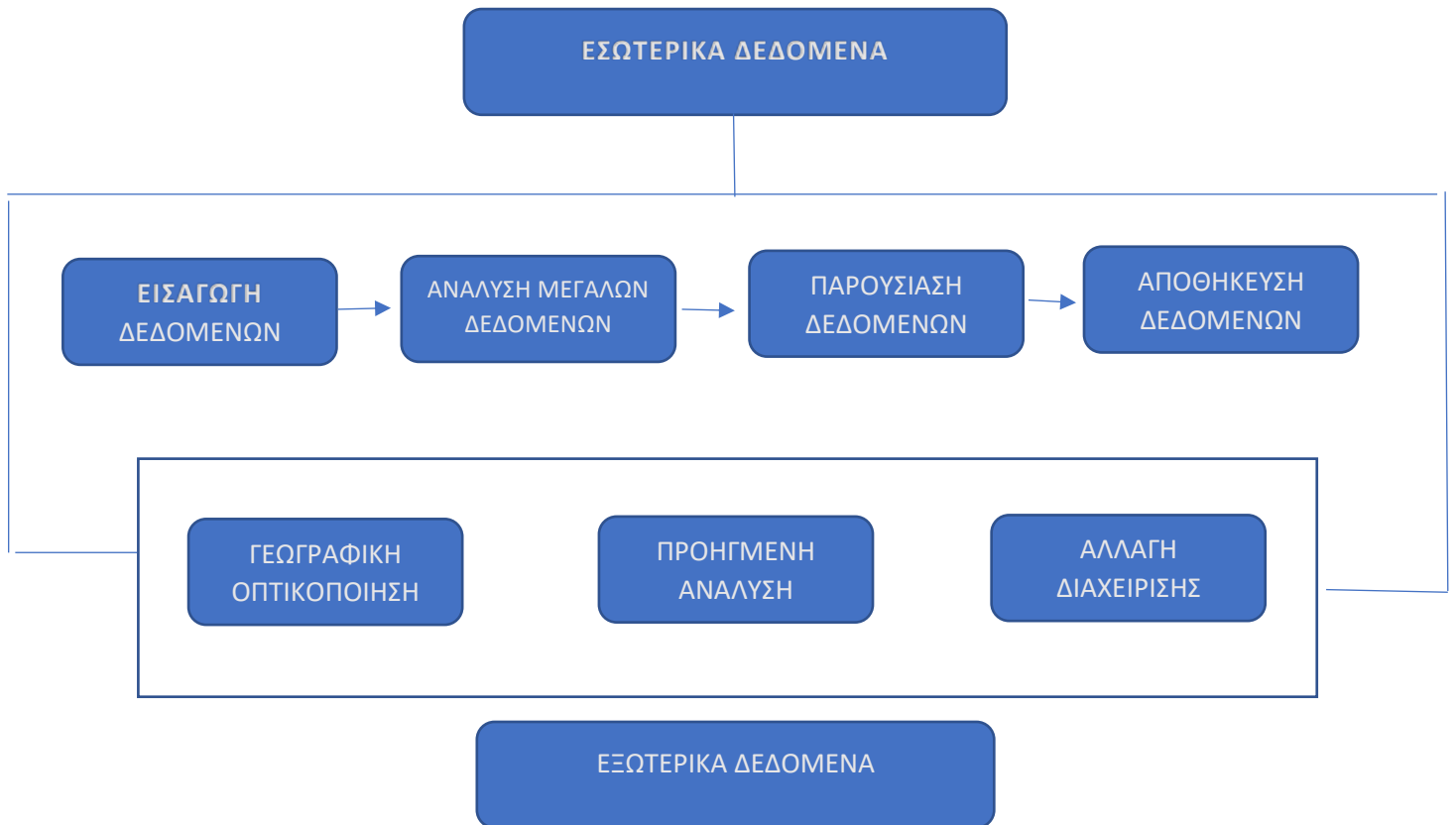
Το 2014 οι εταιρείες GE και Accenture κυκλοφόρησαν από κοινού την πρώτη στον κόσμο «Έξυπνη λύση αγωγών» (Accenture, 2016), όπως φαίνεται στην Εικόνα 36, η πλατφόρμα μπορεί να λύσει τις προκλήσεις της έξυπνης υλοποίησης αγωγών με:

- συγχώνευση δεδομένων,
- οπτικοποίηση δεδομένων και
- αλλαγή επιχειρηματικής διαδικασίας,

ώστε να πραγματοποιηθεί διαχείριση κινδύνου, ανάλυση καιρού και εξωτερικών παραγόντων σε πραγματικό χρόνο.

Τον Ιανουάριο του 2016, η Columbia Pipeline Group έγινε η πρώτη εταιρεία που διεξήγαγε μια «έξυπνη λύση αγωγών». (Reporter, 2016)

Επί του παρόντος, η Columbia Pipeline Group παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο περισσότερα από 15.000 μίλια διακρατικών αγωγών. Ενσωματώνοντας πολλαπλά δεδομένα, όπως σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών, σύστημα διαχείρισης εργασίας, σύστημα μίας κλήσης, ακόμη και δεδομένα από οργανισμούς όπως το United States Geological Survey, επιτρέποντας την παρακολούθηση απειλών των αγωγών, τη διαχείριση κινδύνου και την επίγνωση του περιβάλλοντος.



Εικόνα 36: Έξυπνο σύστημα λύσης αγωγών. ιδία επεξεργασία. πηγή: (A. Hochstein, E. Horn, M. Palomino, 2015)

3.6.2 Συντήρηση εξοπλισμού

Οι αντλίες και οι συμπιεστές αποτελούν τον σημαντικότερο εξοπλισμό στις μεταφορές πετρελαίου και φυσικού αερίου. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, τα συστήματα αντλιών αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 20% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας των κινητήρων. (T. Augustyn, 2012)

Η υψηλή τιμή των αντλιών και των συμπιεστών αλλά και η καθοριστική συμβολή τους στην ομαλή λειτουργία των αγωγών, αποτελούν γεγονότα που οδηγούν την βιομηχανία στην εξέταση της ενδεχομένης χρήσης της ψηφιακής δίδυμης τεχνολογίας (digital twin) για τον

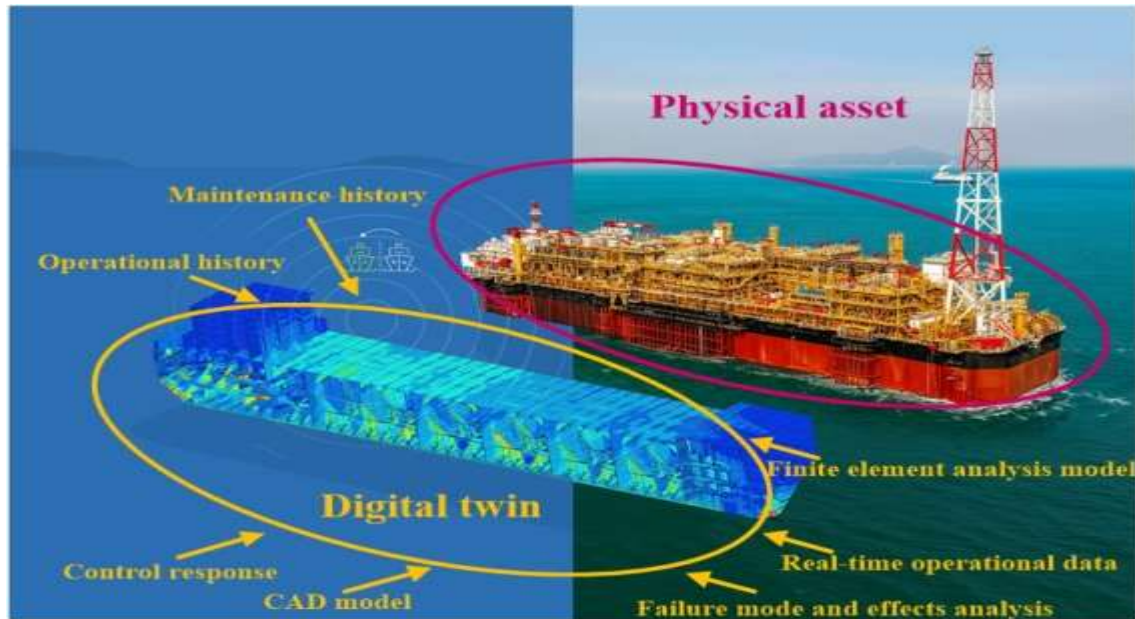
εντοπισμό σφαλμάτων, την διάγνωση και την αναγνώριση προτύπων αποτυχίας. (Franca Cantoni, Roberto Bernazzani, Mariacristina Piva, 2018)

Επενδύοντας στα ψηφιακά δίδυμα αντλιών και συμπιεστών, οι εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου μπορούν να εντοπίσουν έγκαιρα τα σημάδια αστοχίας, επιτρέποντάς τους να κάνουν έγκαιρη συντήρηση, ώστε να εξοικονομήσουν κόστος από την επισκευή τους.

Ομοίως, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στη κινητή παραγωγή και αποθήκευση υπεράκτιων εγκαταστάσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Το 2018, η γνωστή εταιρεία Shell και η εταιρεία Akselos υπέγραψαν διετές πρόγραμμα ψηφιακών διδύμων για την προώθηση της ακεραιότητας των περιουσιακών στοιχείων τους και της διαχείρισης στον τομέα της υπεράκτιας ενέργειας. (Shell joins digital twin JIP, 2017)

Στην Εικόνα 37, παρατηρούμε το διάγραμμα του ψηφιακού διδύμου μιας κινητής υπεράκτιας μονάδας παραγωγής και αποθήκευσης, προκειμένου να βελτιωθεί η ταχύτητα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.



Εικόνα 37: Διάγραμμα ψηφιακού διδύμου μιας κινητής υπεράκτιας μονάδας παραγωγής και αποθήκευσης.
 Πηγή: (Akselos, Case Study: Physics-Based Digital Twins for FPSOs., 2018)

Η ψηφιακή δίδυμη πλατφόρμα χρησιμοποιεί την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων μειωμένης βάσης, η οποία μπορεί να λύσει το πρόβλημα της αργής ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων για μηχανική μεγάλης κλίμακας.

Στη διαδικασία συντήρησης του εξοπλισμού, εκτός από το ψηφιακό δίδυμο μπορεί επίσης να βοηθήσει στη διάγνωση του εξοπλισμού η χρήση επαυξημένης πραγματικότητας (augmented reality) και φορητός εξοπλισμός για την εκπαίδευση στη συντήρηση και λειτουργία του εξοπλισμού.

Η Εικόνα 38, δείχνει μια λύση επαυξημένης πραγματικότητας για τον εξοπλισμό πετρελαίου και φυσικού αερίου από την RE'FLEKT Inc., η οποία αναλύει σύνθετες εργασίες σε πολλαπλά βήματα, γεγονός που αυξάνει τη λειτουργική αξιοπιστία και μειώνει τον λειτουργικό κίνδυνο. (Hongfang Lu, Lijun Guo, Mohammadamin Azimi, Kun Huang, 2019)



Εικόνα 38: Μια λύση αγωγού επαυξημένης πραγματικότητας από την RE'FLEKT Inc.. Πηγή: (RE'FLEKT, 2022)

3.7 Downstream

3.7.1 Έξυπνο διυλιστήριο

Με τον όρο «έξυπνο διυλιστήριο» αναφερόμαστε στη χρήση της τεχνολογίας Δ.Τ.Π., των μεγάλων δεδομένων και της τεχνολογίας παρακολούθησης του εξοπλισμού για την ενίσχυση της διαχείρισης των πληροφοριών και των υπηρεσιών που βασίζονται στο ψηφιακό διυλιστήριο. (Accenture, 2018)

Το «έξυπνο διυλιστήριο» περιλαμβάνει κυρίως έξι βασικούς επιχειρηματικούς τομείς, όπως:

- ✓ έλεγχος παραγωγής,
- ✓ διαχείριση εξοπλισμού,
- ✓ διαχείριση αλυσίδας εφοδιασμού,
- ✓ διαχείριση ενέργειας,
- ✓ διαχείριση ασφάλειας και περιβάλλοντος και
- ✓ λήψη αποφάσεων

Από τότε που παρουσιάστηκε το «έξυπνο διυλιστήριο», η εστίαση της εργασίας των επιχειρήσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου έχει περάσει από δύο στάδια.

Το πρώτο στάδιο λαμβάνει τον πυρήνα της κατασκευής εταιρικών πληροφοριών (Intelligent Refinery 1.0) και το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την έρευνα και την εφαρμογή της τεχνολογίας έξυπνης βελτιστοποίησης ως πυρήνα (Intelligent Refinery 2.0).

Στο Intelligent Refinery 1.0, η Sinopec Jiujiang Company έχει αρχικά σχηματίσει ένα ψηφιακό και έξυπνο πλαίσιο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 18: Το ψηφιακό και έξυπνο πλαίσιο της Sinopec Jiujiang Company. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang, 2018)

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΣΧΕΔΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΦΟΡΤΙΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΟΣ ΚΑΙ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΟΣ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ , ΟΜΑΔΙΚΗ ΕΚΤΕΛΕΣΗ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ		
--	--	--

Στην περίπτωση της αύξησης της ικανότητας της επεξεργασίας του αργού πετρελαίου, ο συνολικός αριθμός των εργαζομένων μειώθηκε κατά 12%, ο αριθμός των ομάδων μειώθηκε κατά 13% και ο αριθμός των εξωτερικών εργασιών μειώθηκε κατά 35% . (Qin, 2016)

Οι εταιρείες BP και ExxonMobil έχουν υιοθετήσει κάποιες εφαρμογές για διαφορετικές κατηγορίες όπως:

- ✓ Βελτιστοποίηση παραγωγής
- ✓ Έξυπνη λειτουργία
- ✓ Διαχείριση και έλεγχο ενέργειας

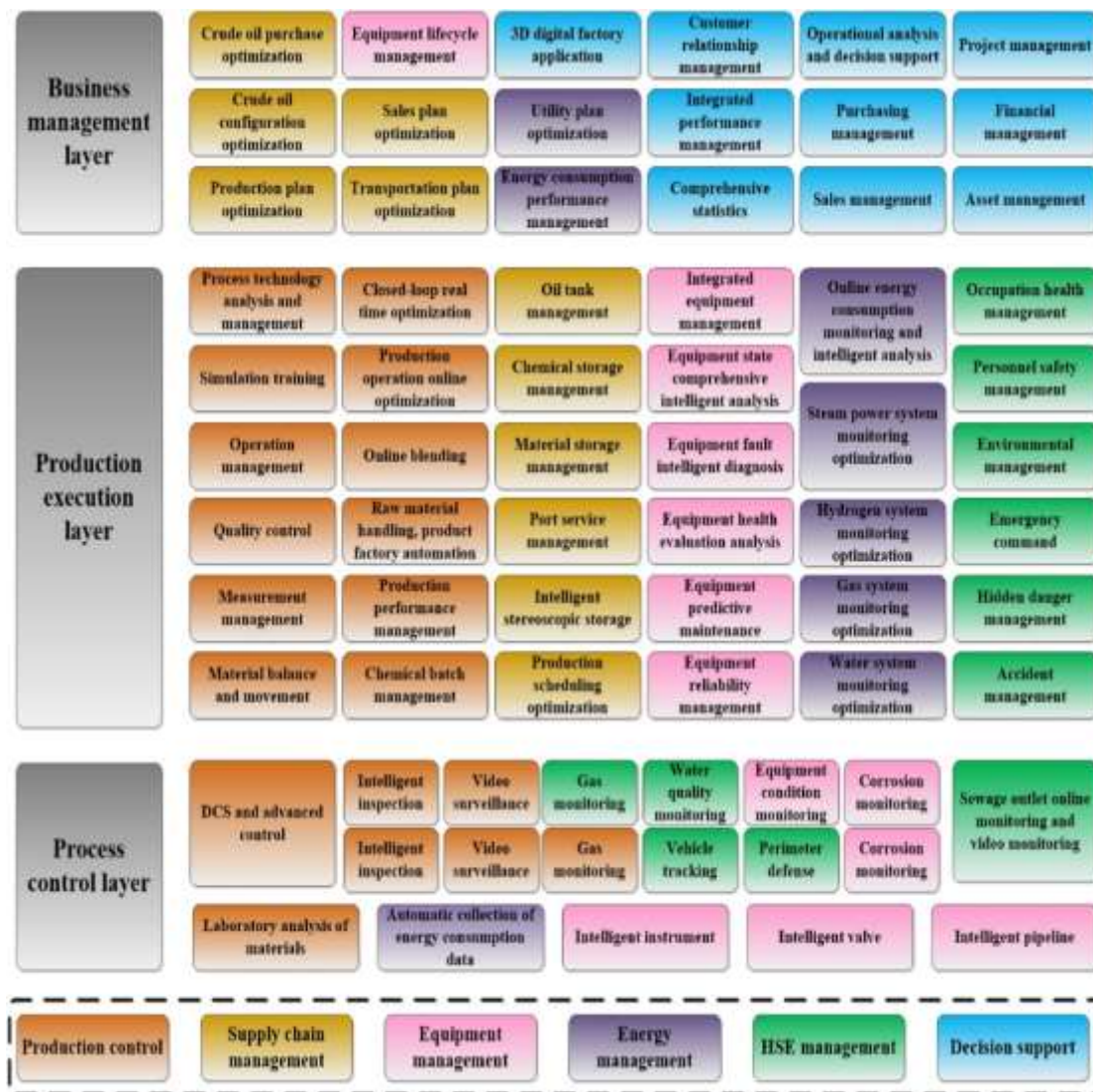
Όσον αφορά τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, το διυλιστήριο Mrtinez της Shell έχει εφαρμόσει βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο για ορισμένες από τις μεγάλες εγκαταστάσεις της, επιτυγχάνοντας όφελος περίπου 10 σεντς ανά βαρέλι τη δεκαετία του 1990.

Η Sinopec Yanshan Petrochemical Company εφάρμοσε βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο για το εργοστάσιο αιθυλενίου του διυλιστηρίου της, με ετήσια αύξηση της απόδοσης 30–60 εκατομμυρίων CNY.

Όσον αφορά την έξυπνη λειτουργία, η Shell ενσωμάτωσε τις δραστηριότητες προμήθειας πετρελαίου και φυσικού αερίου, διύλισης και πωλήσεων, καθώς και την ενοποιημένη παραγωγή 17 διυλιστηρίων σε όλο τον κόσμο, επιτυγχάνοντας παγκόσμια βελτιστοποίηση.

Όσον αφορά τη διαχείριση και τον έλεγχο της ενέργειας, η Valero δημιούργησε ένα διαδικτυακό σύστημα βελτιστοποίησης κοινής χρήσης στο διυλιστήριο του Χιούστον, το οποίο αύξησε τη θερμική απόδοση του λέβητα κατά 0,6% και μείωσε το κόστος του αερίου καυσίμου κατά 1% . (Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang, 2018)

Με βάση την πρακτική εμπειρία των παγκόσμιων «έξυπνων διυλιστηρίων», οι Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang του «China Petroleum Planning and Engineering Institute» πρότειναν μια έξυπνη λειτουργική αρχιτεκτονική διυλιστηρίου κατάλληλη για τα επόμενα 5-10 χρόνια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 39.



Εικόνα 39: Λειτουργική αρχιτεκτονική «έξυπνου διυλιστηρίου». Πηγή: (Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang, 2018)

Η πρακτική του «έξυπνου διυλιστηρίου» έχει φέρει κάποια αρχικά αποτελέσματα. Εκτιμάται ότι το ποσοστό χρησιμοποίησης του προηγμένου ελέγχου έχει αυξηθεί κατά 10% σε περισσότερο από 90%, το ποσοστό αυτόματης συλλογής δεδομένων παραγωγής έχει αυξηθεί κατά 10% σε περισσότερο από 95%. η παραγωγικότητα της εργασίας έχει αυξηθεί περισσότερο από 10% και η παρακολούθηση, η ανάλυση και η έγκαιρη προειδοποίηση σε πραγματικό χρόνο των βασικών περιβαλλοντικών σημείων εκπομπών μπορούν να επιτευχθούν σε ποσοστό 100% . (J.H. Yang, M.X. Qiu, H.N. Hao, X. Zhao, X.X. Guo, 2016)

Εκτός από τα «έξυπνα διυλιστήρια», η Zuehlke πρότεινε μια άλλη νέα ιδέα το 2010: το Factory of things , η οποία έδωσε μεγαλύτερη προσοχή στην εφαρμογή του Δ.Τ.Π. και στην τεχνολογία 5G στα εργοστάσια . (D. Zuehlke, 2010)

Επισήμανε επίσης ότι αυτός ο δρόμος πρέπει να εφαρμοστεί από άποψη τεχνολογίας, αρχιτεκτονικής, σχεδιασμού, ασφάλειας και ανθρώπινων διαστάσεων. Από τεχνική άποψη, η σημασία της τεχνολογίας των ασύρματων επικοινωνιών γίνεται ολοένα και πιο εμφανής.

3.7.2. Πωλήσεις

Στο παγκόσμιο εμπόριο πετρελαίου και φυσικού αερίου, πολλά προϊόντα και εξοπλισμός πετρελαίου και φυσικού αερίου αποθηκεύονται, παραγγέλλονται, μεταφέρονται και διανέμονται μέσω ποικίλων πηγών, συμπεριλαμβανομένων των παραγωγών, των προμηθευτών, των εργολάβων, των υπεργολάβων, των διυλιστηρίων πετρελαίου και φυσικού αερίου και των λιανοπωλητών.

Μόλις πωληθούν τα αγαθά, η παραγωγικότητα και τα επίπεδα παραγωγής θα μειωθούν. Ως εκ τούτου, στον τομέα των πωλήσεων του κλάδου η τεχνολογία blockchain έχει μεγάλες δυνατότητες. (Raja Wasim Ahmadab, Khaled Salaha, Raja Jayaraman, Ibrar Yaqoob, Mohammed Omars, 2022)

Πέραν του ότι μπορεί να παρακολουθεί τα προϊόντα στην αλυσίδα εφοδιασμού του κλάδου πετρελαίου και φυσικού αερίου, μπορεί και να ελέγχει και να παρακολουθεί τον εξοπλισμό σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, καθιστώντας όλες τις πτυχές της εφοδιαστικής

αλυσίδας πιο διαφανείς, εξοικονομώντας κόστος μεταφορών και βελτιώνοντας τη λειτουργική τους απόδοση. (H. Lu, K. Huang, M. Azimi, L. Guo, 2019)

Τα τελευταία έτη, το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) αποτελεί το κύριο ρεύμα στο παγκόσμιο εμπόριο φυσικού αερίου.

Εξαιτίας των χαρακτηριστικών χαμηλών θερμοκρασιών του, η μεταφορά των εισαγωγών και εξαγωγών βασίζονται κυρίως στη ναυτιλία.

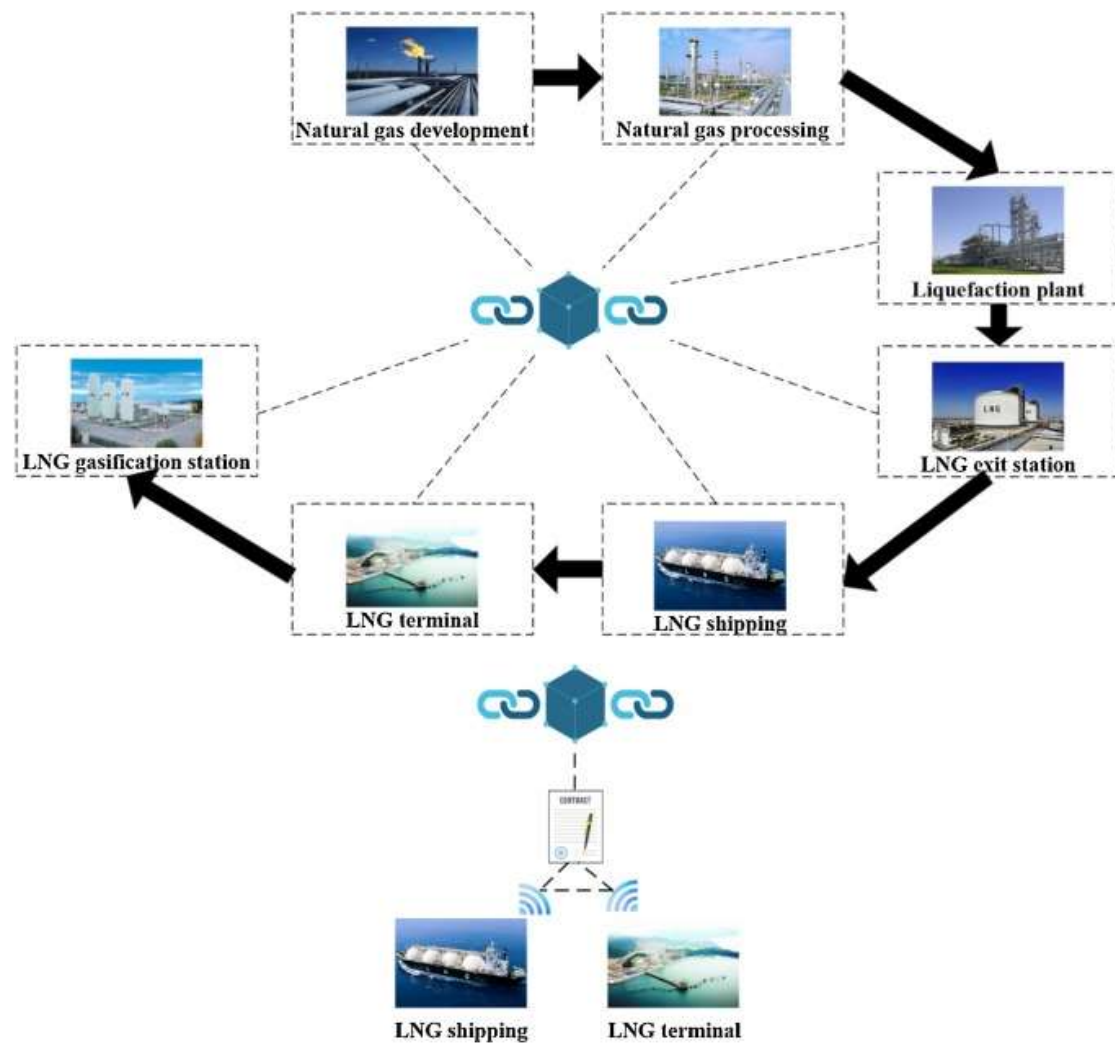
Η Εικόνα 40 δείχνει μια περίπτωση παρακολούθησης για το LNG στην αλυσίδα εφοδιασμού, όπου το φυσικό αέριο αναπτύσσεται από το πεδίο φυσικού αερίου και μεταφέρεται σε μονάδα επεξεργασίας φυσικού αερίου για καθαρισμό. Στη συνέχεια μεταφέρεται σε μονάδα υγροποίησης για την παραγωγή LNG και στη έπειτα μεταφέρεται σε σταθμό εξόδου LNG.

Το LNG φορτώνεται στο σταθμό εξόδου και εισέρχεται στη φάση αποστολής.

Εφόσον φτάσει στη θέση στόχο, το LNG εξατμίζεται και εισέρχεται στη φάση εφαρμογής. Το σύστημα blockchain είναι ένα ελεγχόμενο σύστημα παρακολούθησης πληροφοριών επειδή μπορεί να κρυπτογραφηθεί και να επαληθευτεί. (Accenture, 2018)

Για παράδειγμα, από την αποστολή LNG στο τερματικό στάδιο του LNG, κατά την άφιξη του, ο μεταφορέας στέλνει τις υπογεγραμμένες πληροφορίες στο «έξυπνο συμβόλαιο»(smart contract), έτσι ώστε όλοι στο blockchain να γνωρίζουν ότι το LNG έχει φτάσει στη θέση στόχο.

Από την άλλη πλευρά, όταν η συναλλαγή υπογράφεται, αποστέλλεται στον παραλήπτη με κρυπτογραφημένο τρόπο για να επιβεβαιώσει ότι το LNG έφτασε. Σε αυτό το σημείο, το προσωπικό του τερματικού σταθμού LNG θα εκδώσει το ίδιο «έξυπνο συμβόλαιο» για επιβεβαίωση.



Εικόνα 40: Χρήση του blockchain για την παρακολούθηση προϊόντων αλυσίδας βιομηχανίας LNG. Πηγή: (H. Lu, K. Huang, M. Azimi, L. Guo, 2019)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Μ.Μ. ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ & ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

4.1 Η 4^η βιομηχανική επανάσταση

Η 4^η βιομηχανική επανάσταση αφορά την υλοποίηση του ψηφιακού μετασχηματισμού του βιομηχανικού τομέα, παρέχοντας λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο στοχεύοντας σε βελτιωμένη παραγωγικότητα, ευελιξία και ασφάλεια.

Αυτή η εποχή λοιπόν, φέρνει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι εταιρείες κατασκευάζουν, βελτιώνουν και διανέμουν τα προϊόντα τους.

Οι κατασκευαστές ενσωματώνουν νέες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένου του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), του υπολογιστικού νέφους και της ανάλυσης, της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης σε όλες τις δραστηριότητές τους.

Αυτά τα «έξυπνα» εργοστάσια είναι εξοπλισμένα με προηγμένους αισθητήρες, ενσωματωμένο λογισμικό και ρομποτική που συλλέγουν και αναλύουν δεδομένα τα οποία επιτρέπουν την καλύτερη λήψη αποφάσεων. Ακόμα μεγαλύτερη αξία δημιουργείται όταν τα δεδομένα από τις παραγωγικές λειτουργίες συνδυάζονται με λειτουργικά δεδομένα από το ERP, την αλυσίδα εφοδιασμού, την εξυπηρέτηση πελατών και άλλα εταιρικά συστήματα για να δημιουργηθούν εντελώς νέα επίπεδα ορατότητας και διορατικότητας από προηγούμενες πληροφορίες.

Αυτές οι ψηφιακές τεχνολογίες οδηγούν σε:

- αυξημένη αυτοματοποίηση,
- προγνωστική συντήρηση,

- αυτοβελτιστοποίηση των διαδικασιών και
- ένα νέο επίπεδο αποτελεσματικότητας στους πελάτες

Η ανάπτυξη 'έξυπνων εργοστασίων' παρέχει μια απίστευτη ευκαιρία στη μεταποιητική βιομηχανία να εισέλθει στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση.

Η ανάλυση των μεγάλων δεδομένων (big data) που συλλέγονται από αισθητήρες του εργοστασίου διασφαλίζει την ορατότητα σε πραγματικό χρόνο των στοιχείων κατασκευής και μπορεί να παρέχει εργαλεία για την εκτέλεση πρόβλεψης της συντήρησης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού.

Η χρήση συσκευών ΔΤΠ (Internet of Things) υψηλής τεχνολογίας σε έξυπνα εργοστάσια οδηγεί σε υψηλότερη παραγωγικότητα και βελτιωμένη ποιότητα.

Η αντικατάσταση των επιχειρηματικών μοντέλων χειροκίνητης επιθεώρησης με οπτικές πληροφορίες που υποστηρίζονται από ΤΝ μειώνει τα κατασκευαστικά σφάλματα και εξοικονομεί χρήματα και χρόνο.

Με ελάχιστη επένδυση, το προσωπικό ελέγχου ποιότητας μπορεί να εγκαταστήσει ένα smartphone συνδεδεμένο στο cloud για να παρακολουθεί τις διαδικασίες παραγωγής σχεδόν από οπουδήποτε.

Εφαρμόζοντας αλγόριθμους Μ.Μ., οι κατασκευαστές μπορούν να ανιχνεύσουν τα σφάλματα αμέσως, αντί σε μεταγενέστερα στάδια όπου οι εργασίες επισκευής είναι πιο ακριβές.

Οι έννοιες και οι τεχνολογίες της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους βιομηχανικών

εταιρειών, συμπεριλαμβανομένης εκείνης του πετρελαίου και φυσικού αερίου, της εξόρυξης καθώς και άλλων βιομηχανικών τμημάτων.

4.2 Από την εποχή του ατμού, στην εποχή των αισθητήρων: Ιστορική αναδρομή

4.2.1 Πρώτη βιομηχανική επανάσταση

Ξεκινώντας από τα τέλη του 18ου αιώνα στη Βρετανία, η πρώτη βιομηχανική επανάσταση βοήθησε να καταστεί δυνατή η μαζική παραγωγή με τη χρήση νερού και ατμού. Τα τελικά προϊόντα κατασκευάζονταν με μηχανές αντί να παράγονται με κόπο χειροκίνητα. (Peter P.Groumpos, 2021)

4.2.2. Δεύτερη βιομηχανική επανάσταση

Έναν αιώνα αργότερα, η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση τη χρήση πετρελαίου, φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι νέες πηγές ενέργειας, μαζί με πιο προηγμένες επικοινωνίες μέσω τηλεφώνου και τηλεγράφου, έφεραν μαζική παραγωγή και κάποιο βαθμό αυτοματισμού στις διαδικασίες παραγωγής. (CFI Team, 2021)

4.2.3. Τρίτη βιομηχανική επανάσταση

Η τρίτη βιομηχανική επανάσταση, που ξεκίνησε στα μέσα του 20ου αιώνα, πρόσθεσε υπολογιστές, προηγμένες τηλεπικοινωνίες και ανάλυση δεδομένων στις διαδικασίες παραγωγής. Η ψηφιοποίηση των εργοστασίων ξεκίνησε με την ενσωμάτωση προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) σε μηχανήματα για να βοηθήσουν στην αυτοματοποίηση ορισμένων διαδικασιών, στη συλλογή και τη κοινή χρήση των δεδομένων. (iED Team, 2019)

4.2.4. Τέταρτη βιομηχανική επανάσταση

Βρισκόμαστε σήμερα στην 4^η βιομηχανική επανάσταση, που βιβλιογραφικά αναφέρεται και ως Industry 4.0.

Τα ενημερωμένα δεδομένα, που χαρακτηρίζονται από την αυξανόμενη αυτοματοποίηση και τη χρήση έξυπνων μηχανών και έξυπνων εργοστασίων, βοηθούν στην παραγωγή αγαθών με πιο αποτελεσματικό και παραγωγικό τρόπο σε όλη την αλυσίδα αξίας.

Η ευελιξία βελτιώνεται έτσι ώστε οι κατασκευαστές να μπορούν να ανταποκρίνονται καλύτερα στις απαιτήσεις των πελατών χρησιμοποιώντας μαζική προσαρμογή—επιδιώκοντας τελικά να επιτύχουν αποτελεσματικότητα.

Συλλέγοντας περισσότερα δεδομένα από το εργοστάσιο και συνδυάζοντάς τα με άλλα επιχειρησιακά δεδομένα της επιχείρησης, ένα 'έξυπνο εργοστάσιο' μπορεί να επιτύχει διαφάνεια πληροφοριών και λήψη καλύτερων αποφάσεων. (CFI Team, 2021)

4.3 Τεχνολογίες που οδηγούν στην 4^η βιομηχανική επανάσταση

Οι τεχνολογίες που οδηγούν στην 4^η βιομηχανική επανάσταση είναι:

- **Internet of Things (IoT): Διαδίκτυο των πραγμάτων**

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι βασικός παράγοντας των έξυπνων εργοστασίων. Τα μηχανήματα του εργοστασίου είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες που διαθέτουν μια διεύθυνση IP που επιτρέπει στα μηχανήματα να συνδέονται με άλλες συσκευές με δυνατότητα τη δυνατότητα του διαδικτύου.

Αυτή η μηχανοποίηση και η συνδεσιμότητα καθιστούν δυνατή τη συλλογή, ανάλυση και ανταλλαγή μεγάλων ποσοτήτων πολύτιμων δεδομένων. (Chapter 35 - Internet of Things, 2019)

- **Cloud computing**

Το cloud computing είναι ο ακρογωνιαίος λίθος οποιασδήποτε στρατηγικής της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης.

Η πλήρης υλοποίηση των 'έξυπνων εργοστασίων' απαιτεί συνδεσιμότητα της μηχανικής, της εφοδιαστικής αλυσίδας, της παραγωγής, των πωλήσεων, της διανομής και των υπηρεσιών και το cloud το καθιστά δυνατό.

Επιπλέον, ο μεγάλος όγκος δεδομένων που αποθηκεύεται και αναλύεται μπορεί να υποβληθεί σε επεξεργασία πιο αποτελεσματικά και οικονομικά όταν βρίσκεται στο cloud. (Yogesh Kumara, Surabhi Kaulb, Yu-Chen Hu, 2022)

Το cloud computing μπορεί επίσης να μειώσει το κόστος εκκίνησης για μικρομεσαίες εταιρείες που μπορούν να προσαρμόσουν τις ανάγκες τους και να τις κλιμακώσουν όσο μεγαλώνει η επιχείρησή τους.

- **Τεχνητή Νοημοσύνη & Μηχανική Μάθηση (Artificial intelligence and Machine learning)**

Η Τ.Ν. και η Μ.Μ. επιτρέπουν στις κατασκευαστικές εταιρείες να εκμεταλλεύονται πλήρως τον όγκο των πληροφοριών που παράγονται σε όλες τις επιχειρηματικές τους μονάδες, ακόμη και από συνεργάτες και πηγές τρίτων. (Y.P. Tsang, C.K.M. Lee, 2022)

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση μπορούν να δημιουργήσουν πληροφορίες που παρέχουν ορατότητα,

προβλεψιμότητα και αυτοματοποίηση των λειτουργιών και των επιχειρηματικών διαδικασιών.

***Για παράδειγμα:** τα μηχανήματα είναι επιρρεπεί σε φθορές κατά τη διαδικασία παραγωγής. Η χρήση δεδομένων που συλλέγονται από αυτά τα στοιχεία μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να εκτελούν προγνωστική συντήρηση χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μηχανικής εκμάθησης, έχοντας ως αποτέλεσμα τον υψηλό χρόνο λειτουργίας και την υψηλότερη απόδοση.*

- **Κυβερνοασφάλεια (Cybersecurity)**

Οι εταιρείες δεν εξετάζουν πάντα τη σημασία της κυβερνοασφάλειας ή των φυσικών συστημάτων στον κυβερνοχώρο.

Ωστόσο, η ίδια συνδεσιμότητα του λειτουργικού εξοπλισμού στο εργοστάσιο ή το πεδίο που επιτρέπει πιο αποτελεσματικές διαδικασίες παραγωγής εκθέτει επίσης νέες διαδρομές εισόδου για κακόβουλες επιθέσεις και κακόβουλο λογισμικό. (Mohammad Wazid, Ashok Kumar Das, Vinay Chamola , Youngho Park, 2022)

Κατά τον ψηφιακό μετασχηματισμό της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, καθίσταται απαραίτητη η λήψη μιας προσέγγισης κυβερνοασφάλειας.

- **Ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins)**

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός επιτρέπει την δημιουργία ψηφιακών διδύμων που όπως αναφέραμε στο 1^ο κεφάλαιο, είναι εικονικά αντίγραφα διαδικασιών, γραμμών παραγωγής, εργοστασίων και αλυσίδων εφοδιασμού. (Wenhu Huang, Yajuan Zhang, Wen Zeng, 2022)
Ένα ψηφιακό δίδυμο δημιουργείται αντλώντας δεδομένα από αισθητήρες IoT, συσκευές και άλλα αντικείμενα που είναι συνδεδεμένα

στο διαδίκτυο. Οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν ψηφιακά δίδυμα για να αυξήσουν την παραγωγικότητα, να βελτιώσουν τις ροές εργασίας και να σχεδιάσουν νέα προϊόντα. Με την προσομοίωση μιας παραγωγικής διαδικασίας, για παράδειγμα, οι κατασκευαστές μπορούν να δοκιμάσουν αλλαγές στη διαδικασία για να βρουν τρόπους ελαχιστοποίησης του χρόνου διακοπής λειτουργίας ή βελτίωσης της χωρητικότητας.

4.4 Ευκαιρίες, Δυσκολίες και μελλοντικές τάσεις

Ως ηγέτης της παραδοσιακής βιομηχανίας του κλάδου της ενέργειας, η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου βρίσκεται επί του παρόντος σε μια δύσκολη μεταβατική περίοδο.

Ως εκ τούτου, με το κύμα του «Industry 4.0», η ανάπτυξη του «Oil and Gas 4.0» είναι μια αναπόφευκτη τάση που καθοδηγείται από διάφορες ευκαιρίες (Πίνακας 9).

Πίνακας 19: Ευκαιρίες της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου κατά την 4η βιομηχανική επανάσταση. Ίδια επεξεργασία. Πηγή: (Chapter 4 - Introduction to Machine Learning in the Oil and Gas Industry, 2021)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ	ΚΥΡΙΑ ΑΙΤΙΑ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΠΕΡΙΟΥΣΙΑΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	<ol style="list-style-type: none">1. Μετασχηματισμός της μεθόδου διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων (big data και Δ.Τ.Π.).2. Προβλεπτική συντήρηση περιουσιακών στοιχείων (ψηφιακό δίδυμο)3. Παρακολούθηση του κύκλου ζωής των πληροφοριών περιουσιακών στοιχείων (τεχνολογία blockchain)

**ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΩΝ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ**

1. Η βελτιστοποίηση του τρόπου διαχείρισης και βελτιστοποίηση της λήψης αποφάσεων(μεγάλα δεδομένα)
2. Αποφυγή εμποδίων μεταξύ της τεχνολογίας λειτουργίας και της τεχνολογίας πληροφοριών

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

1. Εξαιρετικά αυτοματοποιημένη παραγωγή και λειτουργία για μείωση του κόστους εργασίας
2. Οι προσαρμοστικές διαδικασίες παραγωγής μπορούν να μειώσουν το κόστος
3. Μείωση της παρέμβασης τρίτων στις συναλλαγές (τεχνολογία blockchain)
4. Η διαχείριση του κόστους έχει αλλάξει από στατική διαχείριση σε λήψη αποφάσεων με γνώμονα τη γνώση και βασίζεται σε αναλυτικά εργαλεία.

**ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

1. Η προσαρμοστική διαδικασία παραγωγής μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργική αποτελεσματικότητα.
2. Μείωση της παρέμβασης τρίτων και τη μεγάλη γραφειοκρατία στην εμπορική διεργασία πετρελαίου και φυσικού αερίου. (τεχνολογία blockchain)

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	Βύθιση σε περιβάλλον εκπαίδευσης. (επαυξημένη πραγματικότητα και φορητή συσκευή)
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	Βελτίωση της απόδοσης της παραγωγής και του εξοπλισμού, εξοικονομώντας ενέργεια και προασπίζοντας τη προστασία του περιβάλλοντος

Μέσω μιας ποικιλίας προηγμένων τεχνολογιών στο «Oil & Gas 4.0», η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση και την εξοικονόμηση κόστους.

Ωστόσο, όπως και άλλες μεταρρυθμίσεις του κλάδου, υπάρχουν πολλές δυσκολίες στα αρχικά στάδια.

Στον Πίνακα 10 παρατίθενται οι δυσκολίες και οι μελλοντικές τάσεις της εποχής «Oil and Gas 4.0».

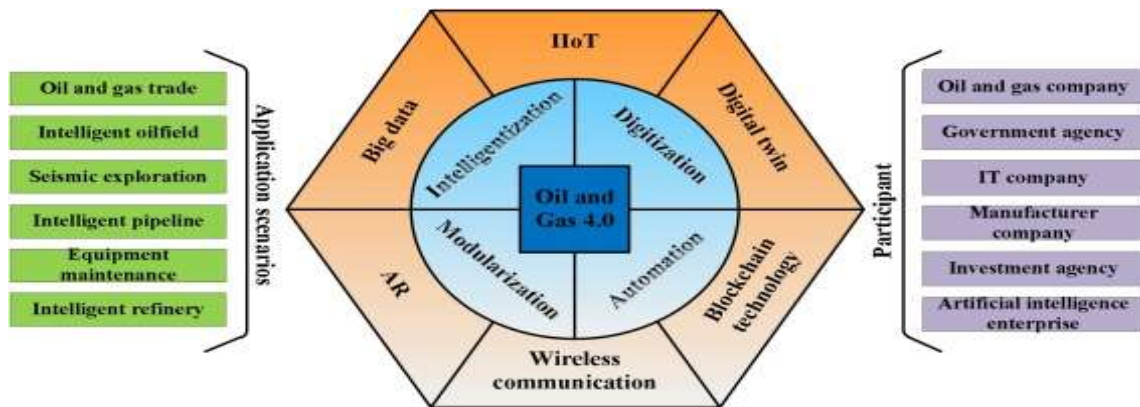
Πίνακας 20: Δυσκολίες και μελλοντικές τάσεις στην εποχή της 4ης βιομηχανικής επανάστασης. Ιδία επεξεργασία. Πηγή: (Dmitry Koroteevab\, Zeljko Tekic, 2021)

Δυσκολίες	Μελλοντικές τάσεις
Τρόπος σκέψης: έλλειψη κυβερνητικής καθοδήγησης και συνεπώς αποστροφή για την αλλαγή	Η κυβέρνηση θα χρειαστεί να συνεργαστεί με επιχειρήσεις για να κάνει έργο προπαγάνδας και καθοδήγησης.
Προσαρμογή στη νέα αγορά: η εφαρμογή νέων τεχνολογιών απαιτεί συγκεκριμένο χρόνο για την	Οι επιχειρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου θα πρωτοστατήσουν στο πιλοτικό έργο και μετά την

<p>αξιολόγηση και χρειάζεται χρόνος για την προσαρμογή της στρατηγικής σύμφωνα με το νέο περιβάλλον.</p>	<p>επίδειξη, όλα τα τμήματα ή οι επιχειρήσεις θα συνεργαστούν για να ολοκληρώσουν τη μεταρρυθμιστική μετάβαση</p>
<p>Ανεπαρκή κεφάλαια: Οι αλλαγές στα λειτουργικά μοντέλα απαιτούν την αντικατάσταση μεγάλου αριθμού εξοπλισμού και συστημάτων απαιτώντας σημαντικό κεφάλαιο</p>	<p>Η κυβέρνηση θα παράσχει αντίστοιχες πολιτικές επιδοτήσεων και άλλες φορολογικές πολιτικές για τη μείωση των δαπανών</p>
<p>Οι πλατφόρμες υποστήριξης και οι υποστηρικτικές εγκαταστάσεις δεν είναι τέλειες</p>	<p>Περισσότερες εταιρείες (διαφορετικές τεχνολογίες) θα συνεργαστούν για να ξεπεράσουν τις τεχνικές προκλήσεις</p>
<p>Αλληλεπίδραση και ενοποίηση τεχνολογίας: Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα, η αλληλεπίδραση διαφόρων τεχνολογιών μπορεί να είναι προβληματική Έλλειψη διεπιστημονικού ταλέντου: Η εκπαίδευση δίνει υπερβολική προσοχή στην καλλιέργεια ενός μόνο ειδικού</p>	<p>Περισσότερες εταιρείες (διαφορετικές τεχνολογίες) θα συνεργαστούν για να ξεπεράσουν τεχνικές προκλήσεις</p>
	<p>Τα πανεπιστήμια προσφέρουν σχετικές ολοκληρωμένες ειδικότητες και μαθήματα.</p>
<p>Έλλειψη γενικού σχεδιασμού και τυποποίησης.</p>	<p>Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, οι υπολογιστές, οι αυτοματισμοί και άλλες βιομηχανίες θα διασυνδεθούν,</p>

	υπό την καθοδήγηση της κυβέρνησης για να διαμορφώσουν κατάλληλα σχέδια
--	--

Μπορούμε να διαπιστώσουμε από τα παραπάνω, πως το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του «Oil and Gas 4.0» είναι ότι δεν περιορίζεται πλέον σε έναν κλάδο, αλλά σε έναν ολοκληρωμένο κλάδο, ο οποίος περιέχει μια ποικιλία τεχνολογιών και απαιτεί τη συμμετοχή διαφόρων εταιρειών ή ιδρυμάτων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 41.



Εικόνα 41: Το οικοσύστημα του «Oil and Gas 4.0». Πηγή: (Hongfang Lu, Li jun Guob Mohammadamin Azimi, Kun Huang, 2019)

Συμπεράσματα

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης αναπτύσσονται ως ένα σταθερό εργαλείο για την διερεύνηση κρυφών συσχετισμών μεταξύ των παραμέτρων του κλάδου της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Σε αυτήν την εργασία ενσωματώσαμε τις βασικές τεχνολογίες και τα σενάρια εφαρμογών της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης αναλύοντας τα πλεονεκτήματα μέσω παραδειγμάτων.

Σύμφωνα με την παρούσα κατάσταση και τις προοπτικές ανάπτυξης, το παρόν έγγραφο προβάλλει τις ευκαιρίες και τις προκλήσεις που μπορούν να αντιμετωπιστούν κατά την εφαρμογή προηγμένων αλγορίθμων M.M.

Η εισαγωγή μοντέλων μηχανικής μάθησης επιτρέπει την αποτελεσματική εκτίμηση των επιπέδων κινδύνου κατά την φάση γεώτρησης, την ακέραιη και ταχύτερη εκτίμησης της παραγωγικότητας των φρεατίων, την αναγνώριση νέων κοιτασμάτων ορυκτών καυσίμων .

Η επιτυχία οποιουδήποτε μοντέλου μηχανικής μάθησης ξεκινά από την ορθή συλλογή δεδομένων τα οποία αποτελούν τον κύριο παράγοντα ισχυρής πρόβλεψης από άποψη ακρίβειας. Επίσης, η προεπεξεργασία των δεδομένων και η μηχανική των χαρακτηριστικών πρέπει να εφαρμόζονται δεόντως.

Αυτή η εργασία παρουσίασε μια ολοκληρωμένη συλλογή διαφορετικών εφαρμογών MM σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας πετρελαίου.

1. Κατηγοριοποιήσαμε τη TN και τη MM σε σχέση με διαφορετικούς τομείς εφαρμογών.

2. Ανάμεσα τους στόχους αυτής της εργασίας ήταν οι αστοχίες ακεραιότητας, όπου οι συγγραφείς βρήκαν ένα προφανές κενό στη βιβλιογραφία σχετικά με τις προβλέψεις αποτυχίας.
3. Η MM αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο όταν υπάρχουν διαθέσιμα επαρκή δεδομένα πεδίου για την εκπαίδευση ενός μοντέλου. Επιπλέον, η επαρκής μηχανική κρίση καθίσταται απαραίτητη τόσο για την ανάλυση δεδομένων όσο και για την προεπεξεργασία.
4. Τα μοντέλα TN και MM αποτελούν σύγχρονες και ακμάζουσες προσεγγίσεις για την ανάπτυξη μοντέλων με προοδευτικές βελτιώσεις στις επιδόσεις των επιχειρήσεων, της ασφάλειας και του περιβάλλοντος.

Μέσα από την παρούσα έρευνα και ανάλυση, καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η MM δεν περιορίζεται στην ψηφιοποίηση του κλάδου αλλά στην ευφυΐα, δηλαδή στην δημιουργία με την αξιοποίηση δεδομένων και την υιοθέτηση των αποτελεσμάτων
- Επι του παρόντος παρατηρείται δυσκολία ευρείας εφαρμογής των αλγορίθμων MM εξαιτίας της απαιτούμενης αλληλεπίδρασης και της ενοποίησης της τεχνολογίας με τη βιομηχανία
- Η χρήση MM μπορεί να καταστήσει την παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου πιο αποτελεσματική, φιλική προς το περιβάλλον και ασφαλή

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσσα βιβλία

- Laura Graesser, Wah Loon Keng. (2020). *Foundations of Deep Reinforcement Learning: Theory and Practice in Python*. UK: Pearson Education.
- A. Andrianova, M. Simonov, D. Perets, A. Margarit, D. Serebryakova, Y. Bogdanov, A. Bukharev. (2018). *Application of Machine Learning for Oilfield Data Quality Improvement*. Society of Petroleum Engineers (2018, October 15).
- A. Gaurav. (2017). *Horizontal shale well EUR determination integrating geology, machine learning, pattern recognition and multivariate statistics focused on the Permian basin*. SPE Liquids- Rich Basins Conference—North America, Society of Petroleum Engineers, Midland (2017), pp. 1-19.
- A. Hochstein, E. Horn, M. Palomino. (2015). *Intelligent pipeline solution: leveraging breakthrough industrial internet technologies and Big data analytics for safer, more efficient oil and gas pipeline operations*. 10th Pipeline Technology Conference 2015, EITEP Institute (2015), pp. 1-12.
- A. Kumar. (2019). *A Machine Learning Application for Field Planning*. Offshore Technology Conference. <https://10.4043/29224-MS>.
- A. Nwachukwu, H. Jeong, M. Pyrcz, L.W. Lake. (2018). *Fast evaluation of well placements in heterogeneous reservoir models using machine learning*. J. Petrol. Sci. Eng., 163 (2018), pp. 463-475.
- A. Teixeira, A. Secchi. (2019). *Machine learning models to support reservoir production optimization*. IFAC, 52 (1) (2019), pp. 498-501.
- Abdelaziz El-Hoshoudy and Saad Desouky. (2018). PVT Properties of Black Crude Oil. Στο *Processing of Heavy Crude Oils - Challenges and Opportunities*. DOI: 10.5772/intechopen.82278,, Universiti Teknologi Petronas.
- Abduljalil Mohamed, Mohamed Salah Hamdi, Sofiène Tahar. (2015). *A Machine Learning Approach for Big Data in Oil and Gas Pipelines*. DOI: 10.1109/FiCloud.2015.54: IEEE.
- Accenture. (2016). *GE and Accenture Announce Columbia Pipeline Group First to Deploy Break-Through “Intelligent Pipeline Solution”*. <https://newsroom.accenture.com/news/ge-and-accenture-announce-columbia-pipeline-group-first-to-deploy-break-through-intelligent-pipeline-solution.htm>.
- Accenture. (2018). *The Intelligent Refinery*. <https://www.accenture.com/us-en/insights/industry-x-0/2018-digital-refining-survey>.
- Acst Jeff. (2019, 5 1). *The scientist*. Ανάκτηση από <https://www.the-scientist.com/foundations/machine--learning--1951-65792>
- Akselos, Case Study: Physics-Based Digital Twins for FPSOs. (2018). *Physics-Based Digital Twins for FPSOs*. https://akselos.com/wp-content/uploads/2018/07/Future_of_Oil_and_Gas_2018.pdf. .
- Alex Smola, S.V.N. Vishwanathan. (2008). *Introduction to Machine Learning*. United Kingdom: Cambridge University press.

- American Petroleum Institute*. (2022). Ανάκτηση από <https://www.api.org/oil-and-natural-gas/wells-to-consumer/exploration-and-production/natural-gas/advanced-drilling>
- Ana Maria Esteves, Bruce Coyne, Ana Moreno. (2013). *Enhancing the subnational benefits*. Revenue Watch Institute.
- Andi AB Salahuddin – Senior Reservoir Geologist. (2020). *BRIEF HISTORY OF PETROLEUM EXPLORATION & PRODUCTION*. Ανάκτηση από Chapter UAE: <https://iatmi-uae.org/2018/06/13/brief-history-of-petroleum-exploration-production/>
- Andrew S. Pepper, Peter J. Corvi. (1995). *Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: oil and gas generation from kerogen*. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(95\)98381-E](https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98381-E): Marine and Petroleum Geology.
- Andrew S. Pepper, Peter J. Corvi. (1995). *Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: oil and gas generation from kerogen*. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(95\)98381-E](https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98381-E): Marine and Petroleum Geology.
- Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayavarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza. (2021). *Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry*. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.05.009>.
- Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayavarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza. (2021). *Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry*. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.05.009>: Petroleum Research.
- Anshuman Agrawal. (2018). *Crude Oil Atmospheric*. IHS Markit.
- Belyadi H., Fathi E., Belyadi F. . (2019). *Hydraulic Fracturing in Unconventional Reservoirs: Theories, Operations, and Economic Analysis*. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, United Kingdom: Gulf Professional Publishing.
- Bentley*. (2022). Ανάκτηση από <https://www.bentley.com/en/products/product-line/digital-twins>
- Berkhout, A. J. (1987). *Applied seismic wave theory*. United States.
- Bing*. (2020). Ανάκτηση από https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=QnvHovPT&id=256F39E0C081172C15DFF74F34852661C534ABB5&thid=OIP.QnvHovPT6oZUx_sl7DApygHaEq&mediaurl=https%3a%2f%2fi.pinimg.com%2foriginals%2f63%2fb8%2fd5%2f63b8d55966ba620c1872d5bee736972d.png&cdnurl=htt
- Borregaard. (2021). All you have to know for oil and gas drilling. *Borregaard*, 15.
- C. Shen, B. Fournier, E. Giry, V. Cocault-Duverger. (2019). *Lined Pipe Reeling Mechanics Design of Experiment & Machine Learning Model*. International Society of Offshore and Polar Engineers (2019).
- C.I. Noshi, J.J. Schubert. (2018). *The role of machine learning in drilling operations; a review*. SPE/AAPG Eastern Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers (2018).

- Cai Xunyu, Liu Jinlian, Zhao Peirong, Liu Chaoying, Cheng Zhe . (2020). *Oil and Gas Exploration Progress and Upstream Development Strategy of Sinopec*.
<http://www.cped.cn/EN/10.3969/j.issn.1672-7703.2020.01.002>.
- Cameselle, A. L. (2010). *Mapping of Sedimentary Bodies by 3D Seismic Reflection Data. Application to the pre-Messinian Ebro Margin*. 10.13140/RG.2.1.3804.4242.
- Camilo Lima, Susana Relvas, Ana Paula F.D., Barbosa-Póvoa. (2016). *Downstream oil supply chain management: A critical review and future directions*.
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.05.002>: Computers & Chemical Engineering.
- CFI Team. (2021, 4 8). Industrial Revolution. *CFI*, σ. 10.
- Chapter 35 - Internet of Things. (2019). Στο D.R.Kiran, *Production Planning and Control* (σσ. 495-513). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818364-9.00035-4>.
- Chapter 4 - Introduction to Machine Learning in the Oil and Gas Industry. (2021). Στο PatrickBangert, *Machine Learning and Data Science in the Oil and Gas Industry* (σσ. 69-81). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820714-7.00004-2>: GPP.
- Chen Kerui, Meng Xiaofeng. (2020). *Interpretation and Understanding in Machine Learning*. doi: 10.7544/issn1000-1239.2020.20190456: Journal of Computer Research and Development.
- CHEN Pengchao; FENG Wenxing; YAN Bingchuan. (2019). *Construction of full life cycle integrity management system for oil and gas pipelines*. China: Pipeline Integrity Management Center of PetroChina Pipeline Company.
- Chiranth Hegde, K.E.Gray. (2017). *Use of machine learning and data analytics to increase drilling efficiency for nearby wells*. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.02.019>.
- D. Castiñeira, R. Toronyi, N. andSaleri. (2018). *Machine Learning and Natural Language Processing for Automated Analysis of Drilling and Completion Data*.
<https://10.2118/192280-MS>: Society of Petroleum Engineers (2018).
- D. Zuehlke. (2010). *SmartFactory—Towards a factory-of-things*.
 10.1016/j.arcontrol.2010.02.008: Annu. Rev. Control, 34 (2010), pp. 129-138,.
- Darco, E. (2014). *Short guide summarising the oil & gas industry lifecycle for a non technical audience*. UK: Overseas development Institute.
- Data Aspirant*. (2022, 3 18). Ανάκτηση από <https://dataaspirant.com/3-neural-network-architecture/>
- Dennis P.Nolan. (2004). *Wildcat Wells*. Encyclopedia of Energy.
- Devold, Havard. (2013). *Oil and gas production handbook: An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*.
<http://hdl.handle.net/123456789/1152>.
- Dmitry Koroteevab\, Zeljko Tekic. (2021). *Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future*.
<https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100041>: Energy and AI.

- Dong, Y. (2020). Analysis on anti-corrosion and anti-scaling technology of water injection well in oil production plant. *4th International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science* (σσ. doi:10.1088/1755-1315/514/2/022005). OP Publishing.
- E.S.A. Osman. (2001). *Artificial neural networks models for identifying flow regimes and predicting liquid holdup in horizontal multiphase flow*. SPE Middle East Oil Show, 17–20 March, Society of Petroleum Engineers, Manama (2001), pp. 1-8.
- Electric, G. (2017). *Digital Transformation of Oil & Gas Pipeline Operations*. http://solutions.geoilandgas.com/ge-predictive-corrosion-management/digital_pipeline_optimization?_ga=2.82912470.1569595665.1558839537-628690186.1558839537.
- Ertekin T, Sun Q. (2017). *Artificial neural network applications in reservoir engineering*. In *Artificial Neural Network Applications in Chemical Engineering*. New York, NY, USA: Nova Science.
- F. Saghir, H. Gilabert, M. and Boujonnier. (2018). *Edge Analytics and Future of Upstream Automation*. <https://doi.org/10.2118/192019-MS>: Society of Petroleum Engineers (2018).
- F.M. Giger; L.H. Reiss; A.P. Jourdan. (1984). *The Reservoir Engineering Aspects of Horizontal Drilling*. <https://doi.org/10.2118/13024-MS>.
- Farris, A. (2012). *How Big Data Is Changing the Oil & Gas Industry*. <http://analytics-magazine.org/how-big-data-is-changing-the-oil-a-gas-industry/>: Analytics-magazine.
- Franca Cantoni, Roberto Bernazzani, Mariacristina Piva. (2018). *The future role of machine learning in HR development*. Human Resource Management and Digitalization, Publisher: Routledge Giappichelli.
- From the Styx. (2014). Ανάκτηση από <https://fromthestyx.wordpress.com/2014/02/05/statewide-policy-change-on-horizontal-wells/>
- Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A Self-organizing Neural Network Model . *Biological Cybernetics*, 10.
- G.Y. Feng, J.X. Han. (2015). *The oilfield production prediction model based on principal component analysis and least squares support vector machine*. *Comput Knowl Technol*, 11 (31) (2015), pp. 144-147.
- H. Lu, K. Huang, M. Azimi, L. Guo. (2019). *Blockchain technology in the oil and gas industry: A review of applications, opportunities, challenges, and risks*. [10.1109/ACCESS.2019.2907695](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907695): IEEE Access, 7 (2019), pp. 41426-41444,.
- H. Lu, K. Huang, M. Azimi, L. Guo. (2019). *Blockchain technology in the oil and gas industry: A review of applications, opportunities, challenges, and risks*. [10.1109/ACCESS.2019.2907695](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907695): IEEE Access, 7 (2019), pp. 41426-41444,.
- H.B., B. (1989). Unsupervised Learning. Στο H. Barlow, *Neural Computation*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- H.Y. Yan, J.Y. Fu, J.H. Dong. (2014). *Forecast model of oilfield indexes based on IPSO GNN*. *Sci. Technol. Eng.*, 14 (15) (2014), pp. 197-202.

- Hdrill*. (2022, 5 5). Ανάκτηση από <http://hdrill.gr/>
- HEBB, D. O. (1949). *The Organization of Behavior*. New York, London: New York JOHN WILEY if SONS, Inc. & London CHAPMAN i HALL, Limited.
- HolditchS, A. (2013). *Unconventional oil and gas resource development – let's do it right*. *Journal of Unconventional Oil and Gas Resources*, 1 (2) (2013), pp. 2-8.
- Hongfang Lu, Li jun Guob Mohammadamin Azimi, Kun Huang. (2019). *Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook*. *Computers in Industry*, Volume 111, October 2019, Pages 68-90.
- Hongfang Lu, Lijun Guo, Mohammadamin Azimi, Kun Huang. (2019). *Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook*. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.007>: *Computers in Industry*.
- I. Zliobaite, M. Pechenizkiy, J. Gama. (2016). *An overview of concept drift applications*. *Big Data Analysis: New Algorithms for a New Society*, Studies in Big Data 16, Springer, Cham (2016).
- I2G cloud*. (2022, 4 30). Ανάκτηση από Lifecycle of oil and gas field: <https://www.i2g.cloud/the-lifecycle-of-oil-and-gas-field/>
- Ian H. Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall. (2020). *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*. AMSTERDAM • BOSTON • HEIDELBERG • LONDON: Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier.
- iED Team. (2019, 6 30). *iED*. Ανάκτηση από The 4 Industrial Revolutions: <https://ied.eu/project-updates/the-4-industrial-revolutions/>
- Integrated lifting solutions for enhanced well production*. (2022). Ανάκτηση από Schlumberger: <https://www.slb.com/completions/artificial-lift>
- Introduction to Extended Reach Drilling - ERD. (2016). *Introduction to Extended Reach Drilling - ERD*. Ανάκτηση από <https://www.drillingcourse.com/2016/03/introduction-to-extended-reach-drilling.html>
- J. Bhandari, R. Abbassi, V. Garaniya, F. Khan. (2015). *Risk analysis of deepwater drilling operations using Bayesian network*. *J. Loss Prev. Process. Ind.*, 38 (2015), pp. 11-23.
- J. Dunlop, IsangulovR, W.D. Aldred, H.A. Sanchez, J.L.S. Flores, J.A. Herdoiza, C. Luppens. (2011). *Increased Rate of Penetration through Automation*. <https://10.2118/139897-MS>: Society of Petroleum Engineers (2011).
- J. Zhang, X. Yin, G. Zhang, Y. Gu, X. Fan. (2020). *Prediction method of physical parameters based on linearized rock physics inversion*. *Petrol. Explor. Dev.*, 47 (1) (2020), pp. 59-67, 10.1016/S1876-3804(20)60005-2.
- J.H. Yang, M.X. Qiu, H.N. Hao, X. Zhao, X.X. Guo. (2016). *Intelligence–Oil and gas industrial development trend*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2016.06.008: *Oil Forum*, 35 (2016), pp. 36-42,.
- John Jechura. (2017). Crude oil distillation. Στο *Chapter 4* (σ. 44). Colorado School Of Mines.

- John Paul Mueller, Luca Massaron. (2019). *Deep Learning for Dummies*. New Jersey: John Wiley and sons.
- K. PandeyR, KakatiH, MandalaA. (2017). *Thermodynamic modeling of equilibrium conditions of CH₄/CO₂/N₂ clathrate hydrate in presence of aqueous solution of sodium chloride inhibitor*. *Petrol. Sci. Technol.*, 35 (10) (2017), pp. 947-954.
- K.G. Salem, AbdulazizAAM, A. Abdel Sattar, A.S.D. Dahab. (2018). *Prediction of hydraulic properties in carbonate reservoirs using artificial neural network*. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, 12–15 November, Society of Petroleum, Abu Dhabi (2018), pp. 1-18.
- Kevin Gurney University of Sheffield. (1997). *An introduction to Neural Networks*. London: UCL Press Limited.
- Kevin L. Priddy, Paul E. Keller. (2005). *Artificial Neural Networks: An Introduction*. Washington: SPIE Press.
- Kotsiantis, S. (2007). *Supervised Machine Learning: A review of classification techniques*. Pelloponese: IOS Press.
- L. Aliouane, S.A. Ouadfeul. (2014). *Sweet spots discrimination in shale gas reservoirs using seismic and well-logs data. A case study from the worth basin in the barnett shale*. <https://10.1016/j.egypro.2014.10.344>: *Energy Procedia*, 59 (2014), pp. 22-27.
- Leicester Middle school. (2022, 4). Ανάκτηση από <https://lms-leicester.libguides.com/c.php?g=807815>
- Les Earnest. (2012, 12). *Stanford Cart*. Ανάκτηση από <https://web.stanford.edu/~learnest/sail/oldcart.html>
- Lucas Herrmann, Mark Bloomfield, Phil Corbett, Sebastian Yoshida. (2013). *Oil & Gas for beginners*. UK: Deutsche Bank.
- Luisiana Government. (2000). Ανάκτηση από <http://www.dnr.louisiana.gov/assets/TAD/education/BGGB/5/techniques.html>
- M. Saggaf, M.N. Toksöz, H.M. Mustafa. (2003). *Estimation of reservoir properties from seismic data by smooth neural networks*. 10.1190/1.1635051: *Geophysics*, 68 (2003), pp. 1969-1983.
- M.R. Khan, Z. Tariq, A. Abdulraheem. (2018). *August. Machine learning derived correlation to determine water saturation in complex lithologies*. SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, Society of Petroleum Engineers (2018).
- M.R. Khan, Z. Tariq, A. Abdulraheem. (2018). *Machine learning derived correlation to determine water saturation in complex lithologies*. SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, Dammam (2018), pp. 1-10.
- Ma, X. (2017). *Natural gas and energy revolution: A case study of Sichuan–Chongqing gas province*. <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2017.07.014>: *Natural Gas Industry B*.
- Maad M. Mijwel, Adam Esen, Aysar Shamil. (2019). *Overview of Neural Networks*.

- Machine Learning Knowledge*. (2019, 11 17). Ανάκτηση από <https://machinelearningknowledge.ai/timeline/birth-of-multilayer-neural-network/>
- MAJID SHAKHSI-NIAEI, SEYED HOSSEIN IRANMANESH and SEYED ALI TORABI. (2013). A *REVIEW OF MATHEMATICAL OPTIMIZATION APPLICATIONS IN OIL-AND-GAS UPSTREAM & MIDSTREAM MANAGEMENT*. <https://doi.org/10.1142/S2335680413500105>: International Journal of Energy and Statistics Vol. 01, No. 02, pp. 143-154 (2013).
- Manohar Swamynathan. (2019). *Mastering Machine Learning with Python in Six steps*. Apress.
- Maria Razno. (2019). *Machine Learning Text Classification Model with NLP*. Ukraine: COLINS.
- Meyers, R A. (2004). *Handbook of petroleum refining processes*. France.
- Micah Musser, Ashton Garriott. (2021). *Machine learning and Cyber Security*. Center for Security and Emerging technology.
- Michael Batty. (2018). *Digital twins*. <https://doi.org/10.1177/2399808318796416>: Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science.
- Mikael Höök, Ugo Bardib, Lianyong Feng, Xiongqi Pang. (2010). *Development of oil formation theories and their importance for peak oil*. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.06.005>: Marine and Petroleum Geology.
- Mohammad Wazid, Ashok Kumar Das, Vinay Chamola, Youngho Park. (2022). *Uniting cyber security and machine learning: Advantages, challenges and future research*. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2022.04.007>: ICT Express.
- N. Subrahmanya, P. Xu, A. El-Bakry, C. Reynolds. (2014). *Advanced Machine Learning Methods for Production Data Pattern Recognition*. <https://10.2118/167839-MS>: Society of Petroleum Engineers (2014).
- N.B. Vassoyevich, Yu. I. Korchagina, N.V. Lopatin & V.V. Chernyshev. (2009). *Principal phase of oil formation*. DOI: International Geology Review, 12:11, 1276-1296.
- Nasteski, V. (DOI 10.20544/HORIZONS.B.04.1.17.P05). *An overview of the supervised machine learning methods*. Partizanska bb, 7000 Bitola, Macedonia: Faculty of Information and Communication Technologies.
- Oil Refinery Process*. (2022). Ανάκτηση από https://uma.ac.ir/files/site1/m_ghorbanpour_6ffe535/refinery_3.pdf
- OIL, GAS AND MINING*. (2022). Ανάκτηση από <https://www.cac-international.com/oil-gas-and-mining/?lang=en>
- Onwuchekwa, C. (2018). *Application of Machine Learning Ideas to Reservoir Fluid Properties Estimation*. <https://10.2118/193461-MS>: Society of Petroleum Engineers (2018).
- P.K. Ghahfarokhi, T. Carr, S. Bhattacharya, J. Elliott, A. Shahkarami, K. Martin. (2018). *A fiber-optic assisted multilayer perceptron reservoir production modeling: a machine learning approach in prediction of gas production from the Marcellus shale*.

- SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference, 23–25 July, Houston, Texas, USA (2018), pp. 1-10.
- Patrick Bangert. (2021). *Machine Learning and data science in the oil and gas industry*. United States, United Kingdom: Gulf professional Publishing.
- Paul Smolensky. (1986). *Information processing in dynamical systems: foundations of Harmony Theory*. Cambridge: MIT Press.
- Peter P. Groumpos. (2021). *A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions*. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492>, IFAC-PapersOnLine.
- Peter R. Hartley, Kenneth B Medlock, III, Jennifer E. Rosthal. (2019). *The Relationship of Natural Gas to Oil Prices*. 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol29-No3-3: The Energy Journal.
- Pet-Oil*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://pet-oil.blogspot.com/2011/06/multi-lateral-drilling.html>
- pet-oil*. (2022). Ανάκτηση από Advantages of multilateral wells: <https://pet-oil.blogspot.com/2011/06/multi-lateral-drilling.html>
- Public Health*. (2022, 5 6). Ανάκτηση από <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/kriging-interpolation>
- Public Service Commission of Wisconsin. (χ.χ.). *Environmental Impacts of power plants*. Wisconsin: Public Service Commission of Wisconsin.
- Qin, W. (2016). *Intelligent process manufacturing-an efficient way to upgrade traditional refineries*. *Petroleum & Petrochemical Today*, 24 (2016), pp. 1-4.
- Qiong Liu, Ying Wu. (2012). *Supervised Learning*. USA: Encyclopedia of the Sciences of Learning.
- Quoc V. Le, Marc’Aurelio Ranzato, Rajat Monga, Matthieu Devin, Kai Chen, Greg S. Corrado, Jeff Dean, Andrew Y. Ng. (2012). Building High-level Features. Edinburgh, Scotland,: Proceedings of the 29 th International Conference on Machine Learning.
- R.K. Pandey, A.K. Dahiya, A. Mandal. (2021). *Identifying applications of machine learning and data analytics Based Approaches for optimization of upstream petroleum operations*. *Energy Technol.*
- Rahul Rai, Manoj Kumar Tiwari, Dmitry Ivanov, Alexandre Dolgui. (2021). *Machine learning in manufacturing and industry 4.0 applications*. 10.1080/00207543.2021.1956675: *International Journal of Production Research* 59(16):4773-4778.
- Raja Wasim Ahmadab, Khaled Salaha, Raja Jayaraman, Ibrar Yaqoob, Mohammed Omarc. (2022). *Blockchain in oil and gas industry: Applications, challenges, and future trends*. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101941>: *Technology in Society*.
- Rakesh Kumar Pandey, Anil Kumar Dahiya, Ajay Mandal. (2020). *Identifying Applications of Machine Learning and Data Analytics Based Approaches for Optimization of*

- Upstream Petroleum Operations*. <https://doi.org/10.1002/ente.202000749>: Energy Technology.
- Ram Mohan Vadavalasa. (2020). End to end CI/CD pipeline for Machine Learning. *International Journal of Advance research, ideas and innovations in technology* (σ. 7). 2020, www.IJARIIIT.com.
- RE'FLEKT. (2022, 5 27). Ανάκτηση από <https://www.re-flekt.com/>
- Reporter, W. I. (2016). *Colombia Pipeline the First to Use GE, Accenture's Intelligent Pipeline Solution*. <https://worldindustrialreporter.com/colombia-pipeline-first-use-ge-accentures-intelligent-pipeline-solution/>.
- Richard E. Neapolitan, Xia Jiang. (2018). *Artificial Intelligence: With an Introduction to Machine Learning*. US: Taylor and Francis Group.
- Richard S. Sutton, Andrew G. Barto. (2018). Reinforcement learning. USA: Westchester Publishing Services.
- Rocky Roden, Geophysical Insights, and Deborah Sacrey, Auburn Energy. (2017, Vol.13, No.6). *Seismic Interpretation with Machine Learning*. GEO PHYSICS WORLDWIDE.
- S. Thomas. (2007). *Enhanced Oil Recovery - An Overview*. Canada: PERL Canada Ltd.
- S.H. Xu, C.C. Bi, Y. Zhang. (2015). *Oilfield development indicators prediction based on radial basis process neural network*. *Comput. Technol. Autom.*, 3 (2015).
- S.M. Al-Fattah, R.A. Startzman. (2001). *Predicting natural gas production using artificial neural network*. SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, 2–3 April, Society of Petroleum Engineers, Dallas (2001), pp. 1-10.
- Samuel, A. L. (1959). *Some studies in machine learning using*. Ανάκτηση από https://hci.iwr.uni-heidelberg.de/system/files/private/downloads/636026949/report_frank_gabel.pdf
- Saswat Sarangi, Pankaj Sharma. (2020). *Big Data: A Beginner's Introduction*. New york: Routledge.
- Shahab D.MOHAGHEGH. (2020). *Subsurface analytics: Contribution of artificial intelligence and machine learning to reservoir engineering, reservoir modeling, and reservoir management*. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(20\)60041-6](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(20)60041-6).
- Shamil Islamov ,Alexey Grigoriev , Ilia Beloglazov , Sergey Savchenkov and Ove Tobias Gudmestad . (2021). *Research Risk Factors in Monitoring Well Drilling—A Case Study Using Machine Learning Methods*. 1293; <https://doi.org/10.3390/sym13071293>.
- Shell joins digital twin JIP. (2017, July 19). Ανάκτηση από Offshore Engineer: <https://www.oedigital.com/news/446079-shell-joins-digital-twin-jip>
- Shyam Varan Nath, Pieter van Schalkwyk, Dan Isaacs. (2021). *Building Industrial Digital Twins: Design, develop, and deploy digital twin* . UK: Packt Publishing.
- Staff, G. R. (2017). *When Shale Gas Met Software*. <https://www.ge.com/reports/post/97721689407/when-shale-gas-met-software/>.

- Stewart Smith, Olesya Zimina, Surender Manral, Michael Nickel. (2021). *Machine-learning assisted interpretation: Integrated fault prediction and extraction case study from the Groningen gas field, Netherlands*. <https://doi.org/10.1190/INT-2021-0137.1>.
- T. Augustyn. (2012). *Energy efficiency and savings in pumping systems—The holistic approach*. 2012 Southern African Energy Efficiency Convention (SAEEC), IEEE (2012), pp. 1-.
- Taha Murtuza Husain,. (2011). *Economic Comparison of Multi-Lateral Drilling over Horizontal Drilling for Marcellus Shale Field*. Pennstate.
- Taha Murtuza Husain,Leong Chew Yeong, Aditya Saxena, Ugur Cengiz,, Sarath Ketineni, Amey Khanzhode, Hadi Muhamad. (2011). *Economic Comparison of Multi-*. Pennstate.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (χ.χ.). *Britannica*. Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/topic/Deep-Blue>
- Thomas Cover & Peter E.Hart . (1967). Nearest Neighbor Pattern Classification . 7.
- Tim Kam Ho. (1995). *Random Decision Forest*. Montreal: Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, 278-282.
- TRONIN, A. A. (2007). *Satellite thermal survey—a new tool for the study of seismoactive regions*. <https://doi.org/10.1080/01431169608948716>: International Journal of Remote Sensing .
- Tutorials Point. (2020). Machine Learning. Tutorials Point.
- WARREN S. MCCULLOCH & WALTER PITTS. (1943). *A LOGICAL CALCULUS OF THE IDEAS IMMANENT IN NERVOUS ACTIVITY*. Ανάκτηση από cmu.edu: <https://www.cs.cmu.edu/~.epxing/Class/10715/reading/McCulloch.and.Pitts.pdf>
- Waymo. (2018). Ανάκτηση από <https://blog.waymo.com/2019/08/the-worlds-longest-and-toughest-ongoing.html>
- Wenhu Huang, Yajuan Zhang, Wen Zeng. (2022). *Development and application of digital twin technology for integrated regional energy systems in smart cities*. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100781>: Sustainable Computing: Informatics and Systems.
- wikipedia. (2022, 5 26). Ανάκτηση από https://en.wikipedia.org/wiki/Bayesian_network
- Wikiwand. (2022). Ανάκτηση από [https://www.wikiwand.com/en/Christmas_tree_\(oil_well\)](https://www.wikiwand.com/en/Christmas_tree_(oil_well))
- Wood (Environment and Infrastructure solutions). (2019). *Best available techniques Guidance Document on upstream hydrocarbon exploration & production*. Luxembourg: European Union.
- Xin Li, Deli Gao, Xuyue Chen. (2017). *A Comprehensive Prediction Model of Hydraulic Extended-Reach Limit Considering the Allowable Range of Drilling Fluid Flow Rate in Horizontal Drilling*. DOI: 10.1038/s41598-017-03261-3.

- Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang. (2018). *Present conditions and prospect of China's intelligent refinery technology*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.005: Oil Forum, 37 (2018), pp. 28-33,.
- Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang. (2018). *Present conditions and prospect of China's intelligent refinery technology*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.005: Oil Forum, 37 (2018), pp. 28-33,.
- Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang. (2018). *Present conditions and prospect of China's intelligent refinery technology*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.005: Oil Forum, 37 (2018), pp. 28-33,.
- Y.P. Tsang, C.K.M. Lee. (2022). *Artificial intelligence in industrial design: A semi-automated literature survey*. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104884>: Engineering Applications of Artificial Intelligence.
- Yaniv Taigman , Ming Yang , Marc' Aurelio Ranzato, Lior Wolf. (2014). *DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification*. Facebook AI Research, Tel Aviv University.
- Yasin Hajizadeh. (2019). *Machine learning in oil and gas; a SWOT analysis approach*. Journal of Petroleum Science and Engineering.
- Yogesh Kumara, Surabhi Kaulb, Yu-Chen Hu. (2022). *Machine learning for energy-resource allocation, workflow scheduling and live migration in cloud computing: State-of-the-art survey*. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100780>: Sustainable Computing: Informatics and Systems.
- ZHANG Chun-He, QIAO De-Wu , LI Shi-Zhen, ZHANG Ying, YANG Hui, HU Lai-Dong, SHANG Ying-Jun, XU Lei-Liang, CHAI Ji-Tang, TAN Han-Dong, LIU Jin-Song. (2011). *Integration of oil and gas geophysical exploration technologies for geologically complex areas*. doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.02.014: Chinese Journal of Geophysics .
- Δ.Καρώνης, Ε.Λόης, Φ.Ζαννίκος. (χ.χ.). Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού αερίου. Στο Ε. Φ. Δ.Καρώνης, *Κεφ.1: Προέλευση, μηχανισμοί συσσώρευσης, έρευνα και παραγωγή αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου* (σ. 28). Διεθνές Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ζεληλίδης, Α. (2022). *Γεωλογία πετρελαίων*. Ανάκτηση από Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Φυσικό αέριο, Μεθάνιο*. (2010). Ανάκτηση από <https://docplayer.gr/1938796-Einai-uigua-aerion-ydrogonanthrakon-ue-kyrio-systatiko-to-uethanio-ch-4-uehri-kai-90.html>

Επιστημονικά άρθρα – μελέτες

- 1 Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A Self-organizing Neural Network Model . *Biological Cybernetics*, 10.
- 2 HEBB, D. O. (1949). *The Organization of Behavior*. New York, London: New York JOHN WILEY if SONS, Inc. & London CHAPMAN i HALL, Limited.
- 3 Paul Smolensky. (1986). *Information processing in dynamical systems: foundations of Harmony Theory*. Cambridge: MIT Press.

- 4 Quoc V. Le, Marc'Aurelio Ranzato, Rajat Monga, Matthieu Devin, Kai Chen, Greg S. Corrado, Jeff Dean, Andrew Y. Ng. (2012). Building High-level Features. Edinburgh, Scotland,: Proceedings of the 29 th International Conference on Machine Learning.
- 5 Thomas Cover & Peter E.Hart . (1967). Nearest Neighbor Pattern Classification . 7.
- 6 Tim Kam Ho. (1995). *Random Decision Forest*. Montreal: Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, 278-282.
- 7 Tutorials Point. (2020). Machine Learning. Tutorials Point.
- 8 Yaniv Taigman , Ming Yang , Marc'Aurelio Ranzato, Lior Wolf. (2014). *DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification*. Facebook AI Research, Tel Aviv University.
- 9 A. Gaurav. (2017). *Horizontal shale well EUR determination integrating geology, machine learning, pattern recognition and multivariate statistics focused on the Permian basin*. SPE Liquids- Rich Basins Conference—North America, Society of Petroleum Engineers, Midland (2017), pp. 1-19.
- 10 A. Gaurav. (2017). *Horizontal shale well EUR determination integrating geology, machine learning, pattern recognition and multivariate statistics focused on the Permian basin*. SPE Liquids- Rich Basins Conference—North America, Society of Petroleum Engineers, Midland (2017), pp. 1-19.
- 11 A. Hochstein, E. Horn, M. Palomino. (2015). *ntelligent pipeline solution: leveraging breakthrough industrial internet technologies and Big data analytics for safer, more efficient oil and gas pipeline operations*. 10th Pipeline Technology Conference 2015, EITEP Institute (2015), pp. 1-12
- 12 A. Kumar. (2019). *A Machine Learning Application for Field Planning. Offshore Technology Conference*. <https://10.4043/29224-MS>.
- 13 A. Nwachukwu, H. Jeong, M. Pyrcz, L.W. Lake. (2018). *Fast evaluation of well placements in heterogeneous reservoir models using machine learning*. J. Petrol. Sci. Eng., 163 (2018), pp. 463-475.
- 14 A. Teixeira, A. Secchi. (2019). *Machine learning models to support reservoir production optimization*. IFAC, 52 (1) (2019), pp. 498-501.
- 15 Abduljalil Mohamed, Mohamed Salah Hamdi, Sofiène Tahar. (2015). *A Machine Learning Approach for Big Data in Oil and Gas Pipelines*. DOI: 10.1109/FiCloud.2015.54: IEEE.
- 16 Accenture. (2016). *GE and Accenture Announce Columbia Pipeline Group First to Deploy Break-Through "Intelligent Pipeline Solution"*. <https://newsroom.accenture.com/news/ge-and-accenture-announce-columbia-pipeline-group-first-to-deploy-break-through-intelligent-pipeline-solution.htm>.
- 17 Accenture. (2018). *The Intelligent Refinery*. <https://www.accenture.com/us-en/insights/industry-x-0/2018-digital-refining-survey>.
- 18 Akselos, Case Study: Physics-Based Digital Twins for FPSOs. (2018). *Physics-Based Digital Twins for FPSOs*. https://akselos.com/wp-content/uploads/2018/07/Future_of_Oil_and_Gas_2018.pdf.

- 19 Ana Maria Esteves, Bruce Coyne, Ana Moreno. (2013). *Enhancing the subnational benefits*. Revenue Watch Institute.
- 20 Andi AB Salahuddin – Senior Reservoir Geologist. (2020). *BRIEF HISTORY OF PETROLEUM EXPLORATION & PRODUCTION*. Ανάκτηση από Chapter UAE: <https://iatmi-uae.org/2018/06/13/brief-history-of-petroleum-exploration-production/>
- 21 Andrew S. Pepper, Peter J. Corvi. (1995). *Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: oil and gas generation from kerogen*. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(95\)98381-E](https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98381-E): Marine and Petroleum Geology.
- 22 Andrew S. Pepper, Peter J. Corvi. (1995). *Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: oil and gas generation from kerogen*. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(95\)98381-E](https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98381-E): Marine and Petroleum Geology.
- 23 Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayavarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza. (2021). *Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry*. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.05.009>.
- 24 Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayavarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza. (2021). *Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry*. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.05.009>: Petroleum Research.
- 25 Anshuman Agrawal. (2018). *Crude Oil Atmospheric*. IHS Markit.
- 26 Borregaard. (2021). All you have to know for oil and gas drilling. *Borregaard*, 15.
- 27 C. Shen, B. Fournier, E. Giry, V. Cocault-Duverger. (2019). *Lined Pipe Reeling Mechanics Design of Experiment & Machine Learning Model*. International Society of Offshore and Polar Engineers (2019).
- 28 C.I. Noshi, J.J. Schubert. (2018). *The role of machine learning in drilling operations; a review*. SPE/AAPG Eastern Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers (2018).
- 29 Cai Xunyu, Liu Jinlian, Zhao Peirong, Liu Chaoying, Cheng Zhe . (2020). *Oil and Gas Exploration Progress and Upstream Development Strategy of Sinopec*. <http://www.cped.cn/EN/10.3969/j.issn.1672-7703.2020.01.002>.
- 30 Comeselle, A. L. (2010). *Mapping of Sedimentary Bodies by 3D Seismic Reflection Data. Application to the pre-Messinian Ebro Margin*. 10.13140/RG.2.1.3804.4242.
- 31 Camilo Lima, Susana Relvas, Ana Paula F.D., Barbosa-Póvoa. (2016). *Downstream oil supply chain management: A critical review and future directions*. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.05.002>: Computers & Chemical Engineering.
- 32 Chen Kerui, Meng Xiaofeng. (2020). *Interpretation and Understanding in Machine Learning*. doi: 10.7544/issn1000-1239.2020.20190456: Journal of Computer Research and Development.
- 33 CHEN Pengchao; FENG Wenxing; YAN Bingchuan. (2019). *Construction of full life cycle integrity management system for oil and gas pipelines*. China: Pipeline Integrity Management Center of PetroChina Pipeline Company.

- 34 Chiranth Hegde, K.E.Gray. (2017). *Use of machine learning and data analytics to increase drilling efficiency for nearby wells*. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.02.019>.
- 35 D. Castiñeira, R. Toronyi, N. andSaleri. (2018). *Machine Learning and Natural Language Processing for Automated Analysis of Drilling and Completion Data*. <https://10.2118/192280-MS>: Society of Petroleum Engineers (2018).
- 36 D. Zuehlke. (2010). *SmartFactory—Towards a factory-of-things*. 10.1016/j.arcontrol.2010.02.008: Annu. Rev. Control, 34 (2010), pp. 129-138,.
- 37 Darco, E. (2014). *Short guide summarising the oil & gas industry lifecycle for a non technical audience*. UK: Overseas development Institute.
- 38 Dennis P.Nolan. (2004). *Wildcat Wells*. Encyclopedia of Energy.
- 39 Devold, Havard. (2013). *Oil and gas production handbook: An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*. <http://hdl.handle.net/123456789/1152>.
- 40 Dong, Y. (2020). Analysis on anti-corrosion and anti-scaling technology of water injectionwell in oil production plant. *4th International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science* (σσ. doi:10.1088/1755-1315/514/2/022005). OP Publishing.
- 41 E.S.A. Osman. (2001). *Artificial neural networks models for identifying flow regimes and predicting liquid holdup in horizontal multiphase flow*. SPE Middle East Oil Show, 17–20 March, Society of Petroleum Engineers, Manama (2001), pp. 1-8.
- 42 Electric, G. (2017). *Digital Transformation of Oil & Gas Pipeline Operations*. http://solutions.geoilandgas.com/ge-predictive-corrosion-management/digital_pipeline_optimization?_ga=2.82912470.1569595665.1558839537-628690186.1558839537.
- 43 F. Saghir, H. Gilabert, M. andBoujonnier. (2018). *Edge Analytics and Future of Upstream Automation*. <https://10.2118/192019-MS>: Society of Petroleum Engineers (2018).
- 44 F.M. Giger; L.H. Reiss; A.P. Jourdan. (1984). *The Reservoir Engineering Aspects of Horizontal Drilling*. <https://doi.org/10.2118/13024-MS>.
- 45 Farris, A. (2012). *How Big Data Is Changing the Oil & Gas Industry*. <http://analytics-magazine.org/how-big-data-is-changing-the-oil-a-gas-industry/>: Analytics-magazine.
- 46 Franca Cantoni, Roberto Bernazzani, Mariacristina Piva. (2018). *The future role of machine learning in HR development*. Human Resource Management and Digitalization, Publisher: Routledge Giappichelli.
- 47 ukushima, K. (1980). Neocognitron: A Self-organizing Neural Network Model . *Biological Cybernetics*, 10.
- 48 G.Y. Feng, J.X. Han. (2015). *The oilfield production prediction model based on principal component analysis and least squares support vector machine*. *ComputKnowlTechnol*, 11 (31) (2015), pp. 144-147.

- 49 H. Lu, K. Huang, M. Azimi, L. Guo. (2019). *Blockchain technology in the oil and gas industry: A review of applications, opportunities, challenges, and risks*. 10.1109/ACCESS.2019.2907695: IEEE Access, 7 (2019), pp. 41426-41444,.
- 50 H. Lu, K. Huang, M. Azimi, L. Guo. (2019). *Blockchain technology in the oil and gas industry: A review of applications, opportunities, challenges, and risks*. 10.1109/ACCESS.2019.2907695: IEEE Access, 7 (2019), pp. 41426-41444,.
- 51 H.B., B. (1989). *Unsupervised Learning*. Στο H. Barlow, *Neural Computation*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- 52 H.Y. Yan, J.Y. Fu, J.H. Dong. (2014). *Forecast model of oilfield indexes based on IPSO GNN*. *Sci. Technol. Eng.*, 14 (15) (2014), pp. 197-202.
- 53 HEBB, D. O. (1949). *The Organization of Behavior*. New York, London: New York JOHN WILEY if SONS, Inc. & London CHAPMAN i HALL, Limited.
- 54 HolditchS, A. (2013). *Unconventional oil and gas resource development – let's do it right*. *Journal of Unconventional Oil and Gas Resources*, 1 (2) (2013), pp. 2-8.
- 55 Hongfang Lu, Lijun Guo, Mohammadamin Azimi, Kun Huang. (2019). *Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook*. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.007>: *Computers in Industry*.
- 56 I. Zliobaite, M. Pechenizkiy, J. Gama. (2016). *An overview of concept drift applications*. *Big Data Analysis: New Algorithms for a New Society, Studies in Big Data 16*, Springer, Cham (2016).
- 57 J. Bhandari, R. Abbassi, V. Garaniya, F. Khan. (2015). *Risk analysis of deepwater drilling operations using Bayesian network*. *J. Loss Prev. Process. Ind.*, 38 (2015), pp. 11-23.
- 58 J. Dunlop, IsangulovR, W.D. Aldred, H.A. Sanchez, J.L.S. Flores, J.A. Herdoiza, C. Luppens. (2011). *Increased Rate of Penetration through Automation*. <https://10.2118/139897-MS>: Society of Petroleum Engineers (2011).
- 59 J. Zhang, X. Yin, G. Zhang, Y. Gu, X. Fan. (2020). *Prediction method of physical parameters based on linearized rock physics inversion*. *Petrol. Explor. Dev.*, 47 (1) (2020), pp. 59-67, 10.1016/S1876-3804(20)60005-2.
- 60 J.H. Yang, M.X. Qiu, H.N. Hao, X. Zhao, X.X. Guo. (2016). *Intelligence–Oil and gas industrial development trend*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2016.06.008: *Oil Forum*, 35 (2016), pp. 36-42,.
- 61 John Paul Mueller, Luca Massaron. (2019). *Deep Learning for Dummies*. New Jersey: John Wiley and sons.
- 62 K. PandeyR, KakatiH, MandalaA. (2017). *Thermodynamic modeling of equilibrium conditions of CH₄/CO₂/N₂ clathrate hydrate in presence of aqueous solution of sodium chloride inhibitor*. *Petrol. Sci. Technol.*, 35 (10) (2017), pp. 947-954.
- 63 K.G. Salem, AbdulazizAAM, A. Abdel Sattar, A.S.D. Dahab. (2018). *Prediction of hydraulic properties in carbonate reservoirs using artificial neural network*. Abu Dhabi International Petroleum exhibition & Conference, 12–15 November, Society of Petroleum, Abu Dhabi (2018), pp. 1-18.

- 64 Kevin Gurney University of Sheffield. (1997). *An introduction to Neural Networks*. London: UCL Press Limited.
- 65 Kevin L. Priddy, Paul E. Keller. (2005). *Artificial Neural Networks: An Introduction*. Washington: SPIE Press.
- 66 Kotsiantis, S. (2007). *Supervised Machine Learning: A review of classification techniques*. Pelloponese: IOS Press.
- 67 L. Aliouane, S.A. Ouadfeul. (2014). *Sweet spots discrimination in shale gas reservoirs using seismic and well-logs data. A case study from the worth basin in the barnett shale*. <https://10.1016/j.egypro.2014.10.344>: Energy Procedia, 59 (2014), pp. 22-27.
- 68 M. Saggaf, M.N. Toksöz, H.M. Mustafa. (2003). *Estimation of reservoir properties from seismic data by smooth neural networks*. 10.1190/1.1635051: Geophysics, 68 (2003), pp. 1969-1983.
- 69 M.R. Khan, Z. Tariq, A. Abdulraheem. (2018). *August. Machine learning derived correlation to determine water saturation in complex lithologies*. SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, Society of Petroleum Engineers (2018).
- 70 M.R. Khan, Z. Tariq, A. Abdulraheem. (2018). *Machine learning derived correlation to determine water saturation in complex lithologies*. SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, Dammam (2018), pp. 1-10.
- 71 Ma, X. (2017). *Natural gas and energy revolution: A case study of Sichuan–Chongqing gas province*. <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2017.07.014>: Natural Gas Industry B.
- 72 AJID SHAKHSI-NIAEI, SEYED HOSSEIN IRANMANESH and SEYED ALI TORABI. (2013). *A REVIEW OF MATHEMATICAL OPTIMIZATION APPLICATIONS IN OIL-AND-GAS UPSTREAM & MIDSTREAM MANAGEMENT*. <https://doi.org/10.1142/S2335680413500105>: International Journal of Energy and Statistics Vol. 01, No. 02, pp. 143-154 (2013).
- 73 Maria Razno. (2019). *Machine Learning Text Classification Model with NLP*. Ukraine: COLINS.
- 74 Micah Musser, Ashton Garriott. (2021). *Machine learning and Cyber Security*. Center for Security and Emerging technology.
- 75 Michael Batty. (2018). *Digital twins*. <https://doi.org/10.1177/2399808318796416>: Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science.
- 76 Mikael Hööka, Ugo Bardib, Lianyong Fengc, Xiongqi Pangd. (2010). *Development of oil formation theories and their importance for peak oil*. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.06.005>: Marine and Petroleum Geology.
- 77 N. Subrahmanya, P. Xu, A. El-Bakry, C. Reynolds. (2014). *Advanced Machine Learning Methods for Production Data Pattern Recognition*. <https://10.2118/167839-MS>: Society of Petroleum Engineers (2014).
- 78 N.B. Vassoyevich , Yu. I. Korchagina , N.V. Lopatin & V.V. Chernyshev. (2009). *Principal phase of oil formation*. DOI:: International Geology Review, 12:11, 1276-1296.

- 79 Nasteski, V. (DOI 10.20544/HORIZONS.B.04.1.17.P05). *An overview of the supervised machine learning methods*. Partizanska bb, 7000 Bitola, Macedonia: Faculty of Information and Communication Technologies.
- 80 Onwuchekwa, C. (2018). *Application of Machine Learning Ideas to Reservoir Fluid Properties Estimation*. <https://10.2118/193461-MS>: Society of Petroleum Engineers (2018).
- 81 P.K. Ghahfarokhi, T. Carr, S. Bhattacharya, J. Elliott, A. Shahkarami, K. Martin. (2018). *A fiber-optic assisted multilayer perceptron reservoir production modeling: a machine learning approach in prediction of gas production from the Marcellus shale*. SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference, 23–25 July, Houston, Texas, USA (2018), pp. 1-10.
- 82 Patrick Bangert. (2021). *Machine Learning and data science in the oil and gas industry*. United States, United Kingdom: Gulf professional Publishing.
- 83 Paul Smolensky. (1986). *Information processing in dynamical systems: foundations of Harmony Theory*. Cambridge: MIT Press.
- 84 Peter R. Hartley, Kenneth B Medlock, III, Jennifer E. Rosthal. (2019). *The Relationship of Natural Gas to Oil Prices*. 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol29-No3-3: The Energy Journal.
- 85 Public Service Commission of Wisconsin. (χ.χ.). *Environmental Impacts of power plants*. Wisconsin: Public Service Commission of Wisconsin.
- 86 Qin, W. (2016). *Intelligent process manufacturing-an efficient way to upgrade traditional refineries*. *Petroleum & Petrochemical Today*, 24 (2016), pp. 1-4.
- 87 Qiong Liu, Ying Wu. (2012). *Supervised Learning*. USA: Encyclopedia of the Sciences of Learning.
- 88 Quoc V. Le, Marc’Aurelio Ranzato, Rajat Monga, Matthieu Devin, Kai Chen, Greg S. Corrado, Jeff Dean, Andrew Y. Ng. (2012). *Building High-level Features*. Edinburgh, Scotland,: Proceedings of the 29 th International Conference on Machine Learning.
- 89 R.K. Pandey, A.K. Dahiya, A. Mandal. (2021). *Identifying applications of machine learning and data analytics Based Approaches for optimization of upstream petroleum operations*. *Energy Technol.*
- 90 Rahul Rai, Manoj Kumar Tiwari, Dmitry Ivanov, Alexandre Dolgui. (2021). *Machine learning in manufacturing and industry 4.0 applications*. 10.1080/00207543.2021.1956675: *International Journal of Production Research* 59(16):4773-4778.
- 91 Rakesh Kumar Pandey, Anil Kumar Dahiya, Ajay Mandal. (2020). *Identifying Applications of Machine Learning and Data Analytics Based Approaches for Optimization of Upstream Petroleum Operations*. <https://doi.org/10.1002/ente.202000749>: *Energy Technology*.
- 92 Reporter, W. I. (2016). *Colombia Pipeline the First to Use GE, Accenture’s Intelligent Pipeline Solution*. <https://worldindustrialreporter.com/colombia-pipeline-first-use-ge-accentures-intelligent-pipeline-solution/>.

- 93 Richard E. Neapolitan, Xia Jiang. (2018). *Artificial Intelligence: With an Introduction to Machine Learning*. US: Taylor and Francis Group.
- 94 Richard S. Sutton, Andrew G. Barto. (2018). *Reinforcement learning*. USA: Westchester Publishing Services.
- 95 S. Thomas. (2007). *Enhanced Oil Recovery - An Overview*. Canada: PERL Canada Ltd.
- 96 S.H. Xu, C.C. Bi, Y. Zhang. (2015). *Oilfield development indicators prediction based on radial basis process neural network*. *Comput. Technol. Autom.*, 3 (2015).
- 97 S.M. Al-Fattah, R.A. Startzman. (2001). *Predicting natural gas production using artificial neural network*. SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, 2–3 April, Society of Petroleum Engineers, Dallas (2001), pp. 1-10.
- 98 Saswat Sarangi, Pankaj Sharma. (2020). *Big Data: A Beginner's Introduction*. New York: Routledge.
- 99 Shahab D. MOHAGHEGH. (2020). *Subsurface analytics: Contribution of artificial intelligence and machine learning to reservoir engineering, reservoir modeling, and reservoir management*. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(20\)60041-6](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(20)60041-6).
- 100 Shamil Islamov, Alexey Grigoriev, Ilia Beloglazov, Sergey Savchenkov and Ove Tobias Gudmestad. (2021). *Research Risk Factors in Monitoring Well Drilling—A Case Study Using Machine Learning Methods*. 1293; <https://doi.org/10.3390/sym13071293>.
- 101 Shyam Varan Nath, Pieter van Schalkwyk, Dan Isaacs. (2021). *Building Industrial Digital Twins: Design, develop, and deploy digital twin*. UK: Packt Publishing.
- 102 Staff, G. R. (2017). *When Shale Gas Met Software*. <https://www.ge.com/reports/post/97721689407/when-shale-gas-met-software/>.
- 103 Stewart Smith, Olesya Zimina, Surender Manral, Michael Nickel. (2021). *Machine-learning assisted interpretation: Integrated fault prediction and extraction case study from the Groningen gas field, Netherlands*. <https://doi.org/10.1190/INT-2021-0137.1>.
- 104 T. Augustyn. (2012). *Energy efficiency and savings in pumping systems—The holistic approach*. 2012 Southern African Energy Efficiency Convention (SAEEEC), IEEE (2012), pp. 1-.
- 105 Taha Murtuza Husain,. (2011). *Economic Comparison of Multi-Lateral Drilling over Horizontal Drilling for Marcellus Shale Field*. Pennstate.
- 106 Taha Murtuza Husain, Leong Chew Yeong, Aditya Saxena, Ugur Cengiz,, Sarath Ketineni, Amey Khanzhode, Hadi Muhamad. (2011). *Economic Comparison of Multi-*. Pennstate.
- 107 Thomas Cover & Peter E. Hart. (1967). *Nearest Neighbor Pattern Classification*. 7.
- 108 Tim Kam Ho. (1995). *Random Decision Forest*. Montreal: Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, 278-282.
- 109 TRONIN, A. A. (2007). *Satellite thermal survey—a new tool for the study of seismoactive regions*. <https://doi.org/10.1080/01431169608948716>: International Journal of Remote Sensing.

- 110 Tutorials Point. (2020). Machine Learning. Tutorials Point.
- 111 Wood (Environment and Infrastructure solutions). (2019). *Best available techniques Guidance Document on upstream hydrocarbon exploration & production*. Luxembourg: European Union.
- 112 Xin Li, Deli Gao, Xuyue Chen. (2017). *A Comprehensive Prediction Model of Hydraulic Extended-Reach Limit Considering the Allowable Range of Drilling Fluid Flow Rate in Horizontal Drilling*. DOI: 10.1038/s41598-017-03261-3.
- 113 Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang. (2018). *Present conditions and prospect of China's intelligent refinery technology*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.005: Oil Forum, 37 (2018), pp. 28-33,.
- 114 Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang. (2018). *Present conditions and prospect of China's intelligent refinery technology*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.005: Oil Forum, 37 (2018), pp. 28-33,.
- 115 Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang. (2018). *Present conditions and prospect of China's intelligent refinery technology*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.005: Oil Forum, 37 (2018), pp. 28-33,.
- 116 Yaniv Taigman , Ming Yang , Marc'Aurelio Ranzato, Lior Wolf. (2014). *DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification*. Facebook AI Research, Tel Aviv University.
- 117 Yasin Hajizadeh. (2019). *Machine learning in oil and gas; a SWOT analysis approach*. Journal of Petroleum Science and Engineering.
- 118 ZHANG Chun-He, QIAO De-Wu , LI Shi-Zhen, ZHANG Ying, YANG Hui, HU Lai-Dong, SHANG Ying-Jun, XU Lei-Liang, CHAI Ji-Tang, TAN Han-Dong, LIU Jin-Song. (2011). *Integration of oil and gas geophysical exploration technologies for geologically complex areas*. doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.02.014: Chinese Journal of Geophysics .
- 119 Δ.Καρώνης, Ε.Λόης, Φ.Ζαννίκος. (χ.χ.). Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού αερίου. Στο Ε. Φ. Δ.Καρώνης, *Κεφ.1: Προέλευση, μηχανισμοί συσσώρευσης, έρευνα και παραγωγή αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου* (σ. 28). Διεθνές Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Laura Graesser, Wah Loon Keng. (2020). *Foundations of Deep Reinforcement Learning: Theory and Practice in Python*. UK: Pearson Education.
- A. Andrianova, M. Simonov, D. Perets, A. Margarit, D. Serebryakova, Y. Bogdanov, A. Bukharev. (2018). *Application of Machine Learning for Oilfield Data Quality Improvement*. Society of Petroleum Engineers (2018, October 15).
- A. Gaurav. (2017). *Horizontal shale well EUR determination integrating geology, machine learning, pattern recognition and multivariate statistics focused on the Permian basin*. SPE Liquids- Rich Basins Conference—North America, Society of Petroleum Engineers, Midland (2017), pp. 1-19.

- A. Hochstein, E. Horn, M. Palomino. (2015). *ntelligent pipeline solution: leveraging breakthrough industrial internet technologies and Big data analytics for safer, more efficient oil and gas pipeline operations*. 10th Pipeline Technology Conference 2015, EITEP Institute (2015), pp. 1-12.
- A. Kumar. (2019). *A Machine Learning Application for Field Planning*. *Offshore Technology Conference*. <https://10.4043/29224-MS>.
- A. Nwachukwu, H. Jeong, M. Pyrcz, L.W. Lake. (2018). *Fast evaluation of well placements in heterogeneous reservoir models using machine learning*. *J. Petrol. Sci. Eng.*, 163 (2018), pp. 463-475.
- A. Teixeira, A. Secchi. (2019). *Machine learning models to support reservoir production optimization*. *IFAC*, 52 (1) (2019), pp. 498-501.
- Abdelaziz El-Hoshoudy and Saad Desouky. (2018). *PVT Properties of Black Crude Oil*. Στο *Processing of Heavy Crude Oils - Challenges and Opportunities*. DOI: 10.5772/intechopen.82278,, Universiti Teknologi Petronas.
- Abduljalil Mohamed, Mohamed Salah Hamdi, Sofiène Tahar. (2015). *A Machine Learning Approach for Big Data in Oil and Gas Pipelines*. DOI: 10.1109/FiCloud.2015.54: IEEE.
- Accenture. (2016). *GE and Accenture Announce Columbia Pipeline Group First to Deploy Break-Through “Intelligent Pipeline Solution”*. <https://newsroom.accenture.com/news/ge-and-accenture-announce-columbia-pipeline-group-first-to-deploy-break-through-intelligent-pipeline-solution.htm>.
- Accenture. (2018). *The Intelligent Refinery*. <https://www.accenture.com/us-en/insights/industry-x-0/2018-digital-refining-survey>.
- Acst Jeff. (2019, 5 1). *The scientist*. Ανάκτηση από <https://www.the-scientist.com/foundations/machine--learning--1951-65792>
- Akselos, Case Study: Physics-Based Digital Twins for FPSOs. (2018). *Physics-Based Digital Twins for FPSOs*. https://akselos.com/wp-content/uploads/2018/07/Future_of_Oil_and_Gas_2018.pdf. .
- Alex Smola, S.V.N. Vishwanathan. (2008). *Introduction to Machine Learning*. United Kingdom: Cambridge University press.
- American Petroleum Institute. (2022). Ανάκτηση από <https://www.api.org/oil-and-natural-gas/wells-to-consumer/exploration-and-production/natural-gas/advanced-drilling>
- Ana Maria Esteves, Bruce Coyne, Ana Moreno. (2013). *Enhancing the subnational benefits*. Revenue Watch Institute.
- Andi AB Salahuddin – Senior Reservoir Geologist. (2020). *BRIEF HISTORY OF PETROLEUM EXPLORATION & PRODUCTION*. Ανάκτηση από Chapter UAE: <https://iatmi-uae.org/2018/06/13/brief-history-of-petroleum-exploration-production/>
- Andrew S. Pepper, Peter J. Corvi. (1995). *Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: oil and gas generation from kerogen*. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(95\)98381-E](https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98381-E): Marine and Petroleum Geology.

- Andrew S. Pepper, Peter J. Corvi. (1995). *Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: oil and gas generation from kerogen*. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(95\)98381-E](https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98381-E): Marine and Petroleum Geology.
- Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayavarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza. (2021). *Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry*. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.05.009>.
- Anirbid Sircar, Kriti Yadav, Kamakshi Rayavarapu, Namrata Bist, Hemangi Oza. (2021). *Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry*. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.05.009>: Petroleum Research.
- Anshuman Agrawal. (2018). *Crude Oil Atmospheric*. IHS Markit.
- Belyadi H., Fathi E., Belyadi F. . (2019). *Hydraulic Fracturing in Unconventional Reservoirs: Theories, Operations, and Economic Analysis*. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, United Kingdom: Gulf Professional Publishing.
- Bentley. (2022). Ανάκτηση από <https://www.bentley.com/en/products/product-line/digital-twins>
- Berkhout, A. J. (1987). *Applied seismic wave theory*. United States.
- Bing. (2020). Ανάκτηση από https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=QnvHovPT&id=256F39E0C081172C15DFF74F34852661C534ABB5&thid=OIP.QnvHovPT6oZUx_sl7DApygHaEq&mediaurl=https%3a%2f%2fi.pinimg.com%2foriginals%2f63%2fb8%2fd5%2f63b8d55966ba620c1872d5bee736972d.png&cdnurl=htt
- Borregaard. (2021). All you have to know for oil and gas drilling. *Borregaard*, 15.
- C. Shen, B. Fournier, E. Giry, V. Cocault-Duverger. (2019). *Lined Pipe Reeling Mechanics Design of Experiment & Machine Learning Model*. International Society of Offshore and Polar Engineers (2019).
- C.I. Noshi, J.J. Schubert. (2018). *The role of machine learning in drilling operations; a review*. SPE/AAPG Eastern Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers (2018).
- Cai Xunyu, Liu Jinlian, Zhao Peirong, Liu Chaoying, Cheng Zhe . (2020). *Oil and Gas Exploration Progress and Upstream Development Strategy of Sinopec*. <http://www.cped.cn/EN/10.3969/j.issn.1672-7703.2020.01.002>.
- Cameselle, A. L. (2010). *Mapping of Sedimentary Bodies by 3D Seismic Reflection Data. Application to the pre-Messinian Ebro Margin*. 10.13140/RG.2.1.3804.4242.
- Camilo Lima, Susana Relvas, Ana Paula F.D., Barbosa-Póvoa. (2016). *Downstream oil supply chain management: A critical review and future directions*. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.05.002>: Computers & Chemical Engineering.
- CFI Team. (2021, 4 8). Industrial Revolution. *CFI*, σ. 10.
- Chapter 35 - Internet of Things. (2019). Στο D.R.Kiran, *Production Planning and Control* (σσ. 495-513). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818364-9.00035-4>.

- Chapter 4 - Introduction to Machine Learning in the Oil and Gas Industry. (2021). Στο Patrick Bangert, *Machine Learning and Data Science in the Oil and Gas Industry* (σσ. 69-81). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820714-7.00004-2>: GPP.
- Chen Kerui, Meng Xiaofeng. (2020). *Interpretation and Understanding in Machine Learning*. doi: 10.7544/issn1000-1239.2020.20190456: Journal of Computer Research and Development.
- CHEN Pengchao; FENG Wenxing; YAN Bingchuan. (2019). *Construction of full life cycle integrity management system for oil and gas pipelines*. China: Pipeline Integrity Management Center of PetroChina Pipeline Company.
- Chiranth Hegde, K.E.Gray. (2017). *Use of machine learning and data analytics to increase drilling efficiency for nearby wells*. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.02.019>.
- D. Castiñeira, R. Toronyi, N. and Saleri. (2018). *Machine Learning and Natural Language Processing for Automated Analysis of Drilling and Completion Data*. <https://doi.org/10.2118/192280-MS>: Society of Petroleum Engineers (2018).
- D. Zuehlke. (2010). *SmartFactory—Towards a factory-of-things*. 10.1016/j.arcontrol.2010.02.008: Annu. Rev. Control, 34 (2010), pp. 129-138,.
- Darco, E. (2014). *Short guide summarising the oil & gas industry lifecycle for a non technical audience*. UK: Overseas development Institute.
- Data Aspirant*. (2022, 3 18). Ανάκτηση από <https://dataaspirant.com/3-neural-network-architecture/>
- Dennis P.Nolan. (2004). *Wildcat Wells*. Encyclopedia of Energy.
- Devold, Havard. (2013). *Oil and gas production handbook: An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*. <http://hdl.handle.net/123456789/1152>.
- Dmitry Koroteevab\, Zeljko Tekic. (2021). *Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future*. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100041>: Energy and AI.
- Dong, Y. (2020). Analysis on anti-corrosion and anti-scaling technology of water injection well in oil production plant. *4th International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science* (σσ. doi:10.1088/1755-1315/514/2/022005). OP Publishing.
- E.S.A. Osman. (2001). *Artificial neural networks models for identifying flow regimes and predicting liquid holdup in horizontal multiphase flow*. SPE Middle East Oil Show, 17–20 March, Society of Petroleum Engineers, Manama (2001), pp. 1-8.
- Electric, G. (2017). *Digital Transformation of Oil & Gas Pipeline Operations*. http://solutions.geoilandgas.com/ge-predictive-corrosion-management/digital_pipeline_optimization?_ga=2.82912470.1569595665.1558839537-628690186.1558839537.
- Ertekin T, Sun Q. (2017). *Artificial neural network applications in reservoir engineering*. In *Artificial Neural Network Applications in Chemical Engineering*. New York, NY, USA: Nova Science.

- F. Saghir, H. Gilabert, M. and Boujonnier. (2018). *Edge Analytics and Future of Upstream Automation*. <https://10.2118/192019-MS>: Society of Petroleum Engineers (2018).
- F.M. Giger; L.H. Reiss; A.P. Jourdan. (1984). *The Reservoir Engineering Aspects of Horizontal Drilling*. <https://doi.org/10.2118/13024-MS>.
- Farris, A. (2012). *How Big Data Is Changing the Oil & Gas Industry*. <http://analytics-magazine.org/how-big-data-is-changing-the-oil-a-gas-industry/>: Analytics-magazine.
- Franca Cantoni, Roberto Bernazzani, Mariacristina Piva. (2018). *The future role of machine learning in HR development*. Human Resource Management and Digitalization, Publisher: Routledge Giappichelli.
- From the Styx*. (2014). Ανάκτηση από <https://fromthestyx.wordpress.com/2014/02/05/statewide-policy-change-on-horizontal-wells/>
- Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A Self-organizing Neural Network Model . *Biological Cybernetics*, 10.
- G.Y. Feng, J.X. Han. (2015). *The oilfield production prediction model based on principal component analysis and least squares support vector machine*. *ComputKnowlTechnol*, 11 (31) (2015), pp. 144-147.
- H. Lu, K. Huang, M. Azimi, L. Guo. (2019). *Blockchain technology in the oil and gas industry: A review of applications, opportunities, challenges, and risks*. 10.1109/ACCESS.2019.2907695: IEEE Access, 7 (2019), pp. 41426-41444,.
- H. Lu, K. Huang, M. Azimi, L. Guo. (2019). *Blockchain technology in the oil and gas industry: A review of applications, opportunities, challenges, and risks*. 10.1109/ACCESS.2019.2907695: IEEE Access, 7 (2019), pp. 41426-41444,.
- H.B., B. (1989). Unsupervised Learning. Στο H. Barlow, *Neural Computation*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- H.Y. Yan, J.Y. Fu, J.H. Dong. (2014). *Forecast model of oilfield indexes based on IPSO GNN*. *Sci. Technol. Eng.*, 14 (15) (2014), pp. 197-202.
- Hdrill*. (2022, 5 5). Ανάκτηση από <http://hdrill.gr/>
- HEBB, D. O. (1949). *The Organization of Behavior*. New York, London: New York JOHN WILEY if SONS, Inc. & London CHAPMAN i HALL, Limited.
- HolditchS, A. (2013). *Unconventional oil and gas resource development – let's do it right*. *Journal of Unconventional Oil and Gas Resources*, 1 (2) (2013), pp. 2-8.
- Hongfang Lu, Li jun Guob Mohammadamin Azimi, Kun Huang. (2019). *Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook*. *Computers in Industry*, Volume 111, October 2019, Pages 68-90.
- Hongfang Lu, Lijun Guo, Mohammadamin Azimi, Kun Huang. (2019). *Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook*. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.007>: *Computers in Industry*.

- I. Zliobaite, M. Pechenizkiy, J. Gama. (2016). *An overview of concept drift applications*. Big Data Analysis: New Algorithms for a New Society, Studies in Big Data 16, Springer, Cham (2016).
- I2G cloud*. (2022, 4 30). Ανάκτηση από Lifecycle of oil and gas field: <https://www.i2g.cloud/the-lifecycle-of-oil-and-gas-field/>
- Ian H. Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall. (2020). *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*. AMSTERDAM • BOSTON • HEIDELBERG • LONDON: Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier.
- iED Team. (2019, 6 30). *iED*. Ανάκτηση από The 4 Industrial Revolutions: <https://ied.eu/project-updates/the-4-industrial-revolutions/>
- Integrated lifting solutions for enhanced well production*. (2022). Ανάκτηση από Schlumberger: <https://www.slb.com/completions/artificial-lift>
- Introduction to Extended Reach Drilling - ERD. (2016). *Introduction to Extended Reach Drilling - ERD*. Ανάκτηση από <https://www.drillingcourse.com/2016/03/introduction-to-extended-reach-drilling.html>
- J. Bhandari, R. Abbassi, V. Garaniya, F. Khan. (2015). *Risk analysis of deepwater drilling operations using Bayesian network*. J. Loss Prev. Process. Ind., 38 (2015), pp. 11-23.
- J. Dunlop, IsangulovR, W.D. Aldred, H.A. Sanchez, J.L.S. Flores, J.A. Herdoiza, C. Luppens. (2011). *Increased Rate of Penetration through Automation*. <https://10.2118/139897-MS>: Society of Petroleum Engineers (2011).
- J. Zhang, X. Yin, G. Zhang, Y. Gu, X. Fan. (2020). *Prediction method of physical parameters based on linearized rock physics inversion*. Petrol. Explor. Dev., 47 (1) (2020), pp. 59-67, 10.1016/S1876-3804(20)60005-2.
- J.H. Yang, M.X. Qiu, H.N. Hao, X. Zhao, X.X. Guo. (2016). *Intelligence–Oil and gas industrial development trend*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2016.06.008: Oil Forum, 35 (2016), pp. 36-42,.
- John Jechura. (2017). Crude oil distillation. Στο *Chapter 4* (σ. 44). Colorado School Of Mines.
- John Paul Mueller, Luca Massaron. (2019). *Deep Learning for Dummies*. New Jersey: John Wiley and sons.
- K. PandeyR, KakatiH, MandalaA. (2017). *Thermodynamic modeling of equilibrium conditions of CH₄/CO₂/N₂ clathrate hydrate in presence of aqueous solution of sodium chloride inhibitor*. Petrol. Sci. Technol., 35 (10) (2017), pp. 947-954.
- K.G. Salem, AbdulazizAAM, A. Abdel Sattar, A.S.D. Dahab. (2018). *Prediction of hydraulic properties in carbonate reservoirs using artificial neural network*. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, 12–15 November, Society of Petroleum, Abu Dhabi (2018), pp. 1-18.
- Kevin Gurney University of Sheffield. (1997). *An introduction to Neural Networks*. London: UCL Press Limited.

- Kevin L. Priddy, Paul E. Keller. (2005). *Artificial Neural Networks: An Introduction*. Washington: SPIE Press.
- Kotsiantis, S. (2007). *Supervised Machine Learning: A review of classification techniques*. Pelloponese: IOS Press.
- L. Aliouane, S.A. Ouadfeul. (2014). *Sweet spots discrimination in shale gas reservoirs using seismic and well-logs data. A case study from the worth basin in the barnett shale*. <https://10.1016/j.egypro.2014.10.344>: Energy Procedia, 59 (2014), pp. 22-27.
- Leicester Middle school. (2022, 4). Ανάκτηση από <https://lms-leicester.libguides.com/c.php?g=807815>
- Les Earnest. (2012, 12). *Stanford Cart*. Ανάκτηση από <https://web.stanford.edu/~learnest/sail/oldcart.html>
- Lucas Herrmann, Mark Bloomfield, Phil Corbett, Sebastian Yoshida. (2013). *Oil & Gas for beginners*. UK: Deutsche Bank.
- Luisiana Government. (2000). Ανάκτηση από <http://www.dnr.louisiana.gov/assets/TAD/education/BGGB/5/techniques.html>
- M. Saggaf, M.N. Toksöz, H.M. Mustafa. (2003). *Estimation of reservoir properties from seismic data by smooth neural networks*. 10.1190/1.1635051: Geophysics, 68 (2003), pp. 1969-1983.
- M.R. Khan, Z. Tariq, A. Abdulraheem. (2018). *August. Machine learning derived correlation to determine water saturation in complex lithologies*. SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, Society of Petroleum Engineers (2018).
- M.R. Khan, Z. Tariq, A. Abdulraheem. (2018). *Machine learning derived correlation to determine water saturation in complex lithologies*. SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, Dammam (2018), pp. 1-10.
- Ma, X. (2017). *Natural gas and energy revolution: A case study of Sichuan–Chongqing gas province*. <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2017.07.014>: Natural Gas Industry B.
- Maad M. Mijwel, Adam Esen, Aysar Shamil. (2019). *Overview of Neural Networks*.
- Machine Learning Knowledge. (2019, 11 17). Ανάκτηση από <https://machinelearningknowledge.ai/timeline/birth-of-multilayer-neural-network/>
- MAJID SHAKHSI-NIAEI, SEYED HOSSEIN IRANMANESH and SEYED ALI TORABI. (2013). *A REVIEW OF MATHEMATICAL OPTIMIZATION APPLICATIONS IN OIL-AND-GAS UPSTREAM & MIDSTREAM MANAGEMENT*. <https://doi.org/10.1142/S2335680413500105>: International Journal of Energy and Statistics Vol. 01, No. 02, pp. 143-154 (2013).
- Manohar Swamynathan. (2019). *Mastering Machine Learning with Python in Six steps*. Apress.
- Maria Razno. (2019). *Machine Learning Text Classification Model with NLP*. Ukraine: COLINS.
- Meyers, R A. (2004). *Handbook of petroleum refining processes*. France.

- Micah Musser, Ashton Garriott. (2021). *Machine learning and Cyber Security*. Center for Security and Emerging technology.
- Michael Batty. (2018). *Digital twins*. <https://doi.org/10.1177/2399808318796416>: Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science.
- Mikael Höök, Ugo Bardib, Lianyong Feng, Xiongqi Pang, D. (2010). *Development of oil formation theories and their importance for peak oil*. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.06.005>: Marine and Petroleum Geology.
- Mohammad Wazid, Ashok Kumar Das, Vinay Chamola, Youngho Park. (2022). *Uniting cyber security and machine learning: Advantages, challenges and future research*. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2022.04.007>: ICT Express.
- N. Subrahmanya, P. Xu, A. El-Bakry, C. Reynolds. (2014). *Advanced Machine Learning Methods for Production Data Pattern Recognition*. <https://10.2118/167839-MS>: Society of Petroleum Engineers (2014).
- N.B. Vassoyevich, Yu. I. Korchagina, N.V. Lopatin & V.V. Chernyshev. (2009). *Principal phase of oil formation*. DOI: International Geology Review, 12:11, 1276-1296.
- Nasteski, V. (DOI 10.20544/HORIZONS.B.04.1.17.P05). *An overview of the supervised machine learning methods*. Partizanska bb, 7000 Bitola, Macedonia: Faculty of Information and Communication Technologies.
- Oil Refinery Process*. (2022). Ανάκτηση από https://uma.ac.ir/files/site1/m_ghorbanpour_6ffe535/refinery_3.pdf
- OIL, GAS AND MINING*. (2022). Ανάκτηση από <https://www.cac-international.com/oil-gas-and-mining/?lang=en>
- Onwuchekwa, C. (2018). *Application of Machine Learning Ideas to Reservoir Fluid Properties Estimation*. <https://10.2118/193461-MS>: Society of Petroleum Engineers (2018).
- P.K. Ghahfarokhi, T. Carr, S. Bhattacharya, J. Elliott, A. Shahkarami, K. Martin. (2018). *A fiber-optic assisted multilayer perceptron reservoir production modeling: a machine learning approach in prediction of gas production from the Marcellus shale*. SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference, 23–25 July, Houston, Texas, USA (2018), pp. 1-10.
- Patrick Bangert. (2021). *Machine Learning and data science in the oil and gas industry*. United States, United Kingdom: Gulf professional Publishing.
- Paul Smolensky. (1986). *Information processing in dynamical systems: foundations of Harmony Theory*. Cambridge: MIT Press.
- Peter P. Groumpos. (2021). *A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions*. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492>, IFAC-PapersOnLine.
- Peter R. Hartley, Kenneth B Medlock, III, Jennifer E. Rosthal. (2019). *The Relationship of Natural Gas to Oil Prices*. 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol29-No3-3: The Energy Journal.

- Pet-Oil*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://pet-oil.blogspot.com/2011/06/multi-lateral-drilling.html>
- pet-oil*. (2022). Ανάκτηση από Advantages of multilateral wells: <https://pet-oil.blogspot.com/2011/06/multi-lateral-drilling.html>
- Public Health*. (2022, 5 6). Ανάκτηση από <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/kriging-interpolation>
- Public Service Commission of Wisconsin. (χ.χ.). *Environmental Impacts of power plants*. Wisconsin: Public Service Commission of Wisconsin.
- Qin, W. (2016). *Intelligent process manufacturing-an efficient way to upgrade traditional refineries*. *Petroleum & Petrochemical Today*, 24 (2016), pp. 1-4.
- Qiong Liu, Ying Wu. (2012). *Supervised Learning*. USA: Encyclopedia of the Sciences of Learning.
- Quoc V. Le, Marc'Aurelio Ranzato, Rajat Monga, Matthieu Devin, Kai Chen, Greg S. Corrado, Jeff Dean, Andrew Y. Ng. (2012). Building High-level Features. Edinburgh, Scotland,: Proceedings of the 29 th International Conference on Machine Learning.
- R.K. Pandey, A.K. Dahiya, A. Mandal. (2021). *Identifying applications of machine learning and data analytics Based Approaches for optimization of upstream petroleum operations*. *Energy Technol.*
- Rahul Rai, Manoj Kumar Tiwari, Dmitry Ivanov, Alexandre Dolgui. (2021). *Machine learning in manufacturing and industry 4.0 applications*. 10.1080/00207543.2021.1956675: *International Journal of Production Research* 59(16):4773-4778.
- Raja Wasim Ahmadab, Khaled Salaha, Raja Jayaraman, Ibrar Yaqoob, Mohammed Omarc. (2022). *Blockchain in oil and gas industry: Applications, challenges, and future trends*. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101941>: *Technology in Society*.
- Rakesh Kumar Pandey, Anil Kumar Dahiya, Ajay Mandal. (2020). *Identifying Applications of Machine Learning and Data Analytics Based Approaches for Optimization of Upstream Petroleum Operations*. <https://doi.org/10.1002/ente.202000749>: *Energy Technology*.
- Ram Mohan Vadavalasa. (2020). End to end CI/CD pipeline for Machine Learning. *International Journal of Advance research, ideas and innovations in technology* (σ. 7). 2020, www.IJARIIIT.com.
- RE'FLEKT*. (2022, 5 27). Ανάκτηση από <https://www.re-flekt.com/>
- Reporter, W. I. (2016). *Colombia Pipeline the First to Use GE, Accenture's Intelligent Pipeline Solution*. <https://worldindustrialreporter.com/colombia-pipeline-first-use-ge-accentures-intelligent-pipeline-solution/>.
- Richard E. Neapolitan, Xia Jiang. (2018). *Artificial Intelligence: With an Introduction to Machine Learning*. US: Taylor and Francis Group.

- Richard S. Sutton, Andrew G. Barto. (2018). Reinforcement learning. USA: Westchester Publishing Services.
- Rocky Roden, Geophysical Insights, and Deborah Sacrey, Auburn Energy. (2017, Vol.13, No.6). *Seismic Interpretation with Machine Learning*. GEO PHYSICS WORLDWIDE.
- S. Thomas. (2007). *Enhanced Oil Recovery - An Overview*. Canada: PERL Canada Ltd.
- S.H. Xu, C.C. Bi, Y. Zhang. (2015). *Oilfield development indicators prediction based on radial basis process neural network*. *Comput. Technol. Autom.*, 3 (2015).
- S.M. Al-Fattah, R.A. Startzman. (2001). *Predicting natural gas production using artificial neural network*. SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, 2–3 April, Society of Petroleum Engineers, Dallas (2001), pp. 1-10.
- Samuel, A. L. (1959). *Some studies in machine learning using*. Ανάκτηση από https://hci.iwr.uni-heidelberg.de/system/files/private/downloads/636026949/report_frank_gabel.pdf
- Saswat Sarangi, Pankaj Sharma. (2020). *Big Data: A Beginner's Introduction*. New York: Routledge.
- Shahab D.MOHAGHEGH. (2020). *Subsurface analytics: Contribution of artificial intelligence and machine learning to reservoir engineering, reservoir modeling, and reservoir management*. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(20\)60041-6](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(20)60041-6).
- Shamil Islamov ,Alexey Grigoriev , Ilia Beloglazov , Sergey Savchenkov and Ove Tobias Gudmestad . (2021). *Research Risk Factors in Monitoring Well Drilling—A Case Study Using Machine Learning Methods*. 1293; <https://doi.org/10.3390/sym13071293>.
- Shell joins digital twin JIP*. (2017, July 19). Ανάκτηση από Offshore Engineer: <https://www.oedigital.com/news/446079-shell-joins-digital-twin-jip>
- Shyam Varan Nath, Pieter van Schalkwyk, Dan Isaacs. (2021). *Building Industrial Digital Twins: Design, develop, and deploy digital twin* . UK: Packt Publishing.
- Staff, G. R. (2017). *When Shale Gas Met Software*. <https://www.ge.com/reports/post/97721689407/when-shale-gas-met-software/>.
- Stewart Smith, Olesya Zimina, Surender Manral, Michael Nickel. (2021). *Machine-learning assisted interpretation: Integrated fault prediction and extraction case study from the Groningen gas field, Netherlands*. <https://doi.org/10.1190/INT-2021-0137.1>.
- T. Augustyn. (2012). *Energy efficiency and savings in pumping systems—The holistic approach*. 2012 Southern African Energy Efficiency Convention (SAEEEC), IEEE (2012), pp. 1-.
- Taha Murtuza Husain,. (2011). *Economic Comparison of Multi-Lateral Drilling over Horizontal Drilling for Marcellus Shale Field*. Pennstate.
- Taha Murtuza Husain,Leong Chew Yeong, Aditya Saxena, Ugur Cengiz,, Sarath Ketineni, Amey Khanzhode, Hadi Muhamad. (2011). *Economic Comparison of Multi-*. Pennstate.

- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (χ.χ.). *Britannica*. Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/topic/Deep-Blue>
- Thomas Cover & Peter E.Hart . (1967). Nearest Neighbor Pattern Classification . 7.
- Tim Kam Ho. (1995). *Random Decision Forest*. Montreal: Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, 278-282.
- TRONIN, A. A. (2007). *Satellite thermal survey—a new tool for the study of seismoactive regions*. <https://doi.org/10.1080/01431169608948716>: International Journal of Remote Sensing .
- Tutorials Point. (2020). Machine Learning. Tutorials Point.
- WARREN S. MCCULLOCH & WALTER PITTS. (1943). *A LOGICAL CALCULUS OF THE IDEAS IMMANENT IN NERVOUS ACTIVITY*. Ανάκτηση από cmu.edu: <https://www.cs.cmu.edu/~.epxing/Class/10715/reading/McCulloch.and.Pitts.pdf>
- Waymo. (2018). Ανάκτηση από <https://blog.waymo.com/2019/08/the-worlds-longest-and-toughest-ongoing.html>
- Wenhu Huang, Yajuan Zhang, Wen Zeng. (2022). *Development and application of digital twin technology for integrated regional energy systems in smart cities*. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100781>: Sustainable Computing: Informatics and Systems.
- wikipedia. (2022, 5 26). Ανάκτηση από https://en.wikipedia.org/wiki/Bayesian_network
- Wikiwand. (2022). Ανάκτηση από [https://www.wikiwand.com/en/Christmas_tree_\(oil_well\)](https://www.wikiwand.com/en/Christmas_tree_(oil_well))
- Wood (Environment and Infrastructure solutions). (2019). *Best available techniques Guidance Document on upstream hydrocarbon exploration & production*. Luxembourg: European Union.
- Xin Li, Deli Gao, Xuyue Chen. (2017). *A Comprehensive Prediction Model of Hydraulic Extended-Reach Limit Considering the Allowable Range of Drilling Fluid Flow Rate in Horizontal Drilling*. DOI: 10.1038/s41598-017-03261-3.
- Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang. (2018). *Present conditions and prospect of China's intelligent refinery technology*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.005: Oil Forum, 37 (2018), pp. 28-33,.
- Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang. (2018). *Present conditions and prospect of China's intelligent refinery technology*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.005: Oil Forum, 37 (2018), pp. 28-33,.
- Y. Gong, W.J. Yang, R.Q. Wang, M.F. Huang. (2018). *Present conditions and prospect of China's intelligent refinery technology*. 10.3969/j.issn.1002-302x.2018.03.005: Oil Forum, 37 (2018), pp. 28-33,.
- Y.P. Tsang, C.K.M. Lee. (2022). *Artificial intelligence in industrial design: A semi-automated literature survey*. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104884>: Engineering Applications of Artificial Intelligence.

- Yaniv Taigman , Ming Yang , Marc' Aurelio Ranzato, Lior Wolf. (2014). *DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification*. Facebook AI Research, Tel Aviv University.
- Yasin Hajizadeh. (2019). *Machine learning in oil and gas; a SWOT analysis approach*. Journal of Petroleum Science and Engineering.
- Yogesh Kumara, Surabhi Kaulb, Yu-Chen Hu. (2022). *Machine learning for energy-resource allocation, workflow scheduling and live migration in cloud computing: State-of-the-art survey*. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100780>: Sustainable Computing: Informatics and Systems.
- ZHANG Chun-He, QIAO De-Wu , LI Shi-Zhen, ZHANG Ying, YANG Hui, HU Lai-Dong, SHANG Ying-Jun, XU Lei-Liang, CHAI Ji-Tang, TAN Han-Dong, LIU Jin-Song. (2011). *Integration of oil and gas geophysical exploration technologies for geologically complex areas*. doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.02.014: Chinese Journal of Geophysics .
- Δ.Καρώνης, Ε.Λόης, Φ.Ζαννίκος. (χ.χ.). Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού αερίου. Στο Ε. Φ. Δ.Καρώνης, *Κεφ.1: Προέλευση, μηχανισμοί συσσώρευσης, έρευνα και παραγωγή αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου* (σ. 28). Διεθνές Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ζεληλίδης, Α. (2022). *Γεωλογία πετρελαίων*. Ανάκτηση από Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Φυσικό αέριο, Μεθάνιο*. (2010). Ανάκτηση από <https://docplayer.gr/1938796-Einai-uigua-aerion-ydrogonanthrakon-ue-kyrio-systatiko-to-uethanio-ch-4-uehri-kai-90.html>

Ηλεκτρονικά άρθρα - Ηλεκτρονικές Πηγές

- 1 Acst Jeff. (2019, 5 1). *The scientist*. Ανάκτηση από <https://www.the-scientist.com/foundations/machine--learning--1951-65792>
- 2 *Bentley*. (2022). Ανάκτηση από <https://www.bentley.com/en/products/product-line/digital-twins>
- 3 *Bing*. (2020). Ανάκτηση από https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=QnvHovPT&id=256F39E0C081172C15DFF74F34852661C534ABB5&thid=OIP.QnvHovPT6oZUx_sl7DApygHaEq&mediaurl=https%3a%2f%2fi.pinimg.com%2foriginals%2f63%2fb8%2fd5%2f63b8d55966ba620c1872d5bee736972d.png&cdnurl=htt
- 4 *Data Aspirant*. (2022, 3 18). Ανάκτηση από <https://dataaspirant.com/3-neural-network-architecture/>
- 5 Les Earnest. (2012, 12). *Stanford Cart*. Ανάκτηση από <https://web.stanford.edu/~learnest/sail/oldcart.html>
- 6 *Machine Learning Knowledge*. (2019, 11 17). Ανάκτηση από <https://machinelearningknowledge.ai/timeline/birth-of-multilayer-neural-network/>

- 7 Samuel, A. L. (1959). *Some studies in machine learning using*. Ανάκτηση από https://hci.iwr.uni-heidelberg.de/system/files/private/downloads/636026949/report_frank_gabel.pdf
- 8 The Editors of Encyclopaedia Britannica. (χ.χ.). *Britannica*. Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/topic/Deep-Blue>
- 9 WARREN S. MCCULLOCH & WALTER PITTS. (1943). *A LOGICAL CALCULUS OF THE IDEAS IMMANENT IN NERVOUS ACTIVITY*. Ανάκτηση από cmu.edu: <https://www.cs.cmu.edu/~.epxing/Class/10715/reading/McCulloch.and.Pitts.pdf>
- 10 Waymo. (2018). Ανάκτηση από <https://blog.waymo.com/2019/08/the-worlds-longest-and-toughest-ongoing.html>
- 11 Acst Jeff. (2019, 5 1). *The scientist*. Ανάκτηση από <https://www.the-scientist.com/foundations/machine--learning--1951-65792>
- 12 *American Petroleum Institute*. (2022). Ανάκτηση από <https://www.api.org/oil-and-natural-gas/wells-to-consumer/exploration-and-production/natural-gas/advanced-drilling>
- 13 *Bentley*. (2022). Ανάκτηση από <https://www.bentley.com/en/products/product-line/digital-twins>
- 14 *Bing*. (2020). Ανάκτηση από https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=QnvHovPT&id=256F39E0C081172C15DFF74F34852661C534ABB5&thid=OIP.QnvHovPT6oZUx_sl7DApygHaEq&mediaurl=https%3a%2f%2fi.pinimg.com%2foriginals%2f63%2fb8%2fd5%2f63b8d55966ba620c1872d5bee736972d.png&cdnurl=htt
- 15 *Data Aspirant*. (2022, 3 18). Ανάκτηση από <https://dataaspirant.com/3-neural-network-architecture/>
- 16 *From the Styx*. (2014). Ανάκτηση από <https://fromthestyx.wordpress.com/2014/02/05/statewide-policy-change-on-horizontal-wells/>
- 17 *Hdrill*. (2022, 5 5). Ανάκτηση από <http://hdrill.gr/>
- 18 *I2G cloud*. (2022, 4 30). Ανάκτηση από Lifecycle of oil and gas field: <https://www.i2g.cloud/the-lifecycle-of-oil-and-gas-field/>
- 19 *Integrated lifting solutions for enhanced well production*. (2022). Ανάκτηση από Schlumberger: <https://www.slb.com/completions/artificial-lift>
- 20 Introduction to Extended Reach Drilling - ERD. (2016). *Introduction to Extended Reach Drilling - ERD*. Ανάκτηση από <https://www.drillingcourse.com/2016/03/introduction-to-extended-reach-drilling.html>
- 21 *Leicester Middle school*. (2022, 4). Ανάκτηση από <https://lms-leicester.libguides.com/c.php?g=807815>
- 22 Les Earnest. (2012, 12). *Stanford Cart*. Ανάκτηση από <https://web.stanford.edu/~learnest/sail/oldcart.html>

- 23 *Luisiana Government*. (2000). Ανάκτηση από <http://www.dnr.louisiana.gov/assets/TAD/education/BGBB/5/techniques.html>
- 24 *Machine Learning Knowledge*. (2019, 11 17). Ανάκτηση από <https://machinelearningknowledge.ai/timeline/birth-of-multilayer-neural-network/>
- 25 *Oil Refinery Process*. (2022). Ανάκτηση από https://uma.ac.ir/files/site1/m_ghorbanpour_6ffe535/refinery_3.pdf
- 26 *OIL, GAS AND MINING*. (2022). Ανάκτηση από <https://www.cac-international.com/oil-gas-and-mining/?lang=en>
- 27 *Pet-Oil*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://pet-oil.blogspot.com/2011/06/multi-lateral-drilling.html>
- 28 *pet-oil*. (2022). Ανάκτηση από Advantages of multilateral wells: <https://pet-oil.blogspot.com/2011/06/multi-lateral-drilling.html>
- 29 *Public Health*. (2022, 5 6). Ανάκτηση από <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/kriging-interpolation>
- 30 *RE'FLEKT*. (2022, 5 27). Ανάκτηση από <https://www.re-flekt.com/>
- 31 Samuel, A. L. (1959). *Some studies in machine learning using*. Ανάκτηση από https://hci.iwr.uni-heidelberg.de/system/files/private/downloads/636026949/report_frank_gabel.pdf
- 32 The Editors of Encyclopaedia Britannica. (χ.χ.). *Britannica*. Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/topic/Deep-Blue>
- 33 WARREN S. MCCULLOCH & WALTER PITTS. (1943). *A LOGICAL CALCULUS OF THE IDEAS IMMANENT IN NERVOUS ACTIVITY*. Ανάκτηση από cmu.edu: <https://www.cs.cmu.edu/~.epxing/Class/10715/reading/McCulloch.and.Pitts.pdf>
- 34 *Waymo*. (2018). Ανάκτηση από <https://blog.waymo.com/2019/08/the-worlds-longest-and-toughest-ongoing.html>
- 35 *wikipedia*. (2022, 5 26). Ανάκτηση από https://en.wikipedia.org/wiki/Bayesian_network
- 36 *Wikiwand*. (2022). Ανάκτηση από [https://www.wikiwand.com/en/Christmas_tree_\(oil_well\)](https://www.wikiwand.com/en/Christmas_tree_(oil_well))
- 37 Ζεληλίδης, Α. (2022). *Γεωλογία πετρελαίων*. Ανάκτηση από Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- 38 *Φυσικό αέριο, Μεθάνιο*. (2010). Ανάκτηση από <https://docplayer.gr/1938796-Einai-uigua-aerion-ydrogonanthrakon-ue-kyrio-systatiko-to-uethanio-ch-4-uehri-kai-90.html>

