

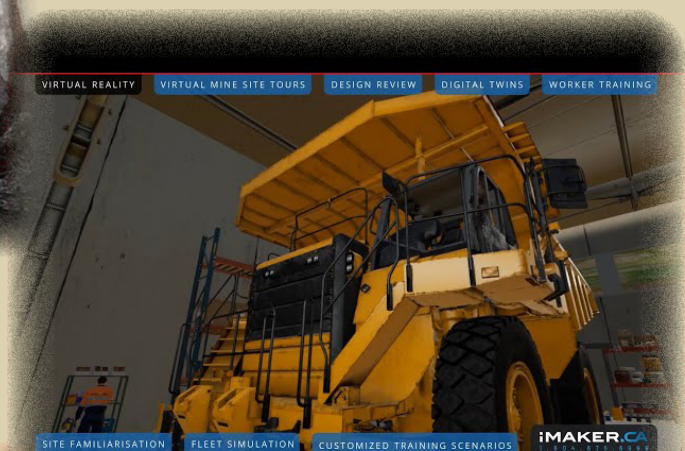


# Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών Εικονικής Πραγματικότητας στον Μεταλλευτικό Κλάδο Μία Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Κουφόπουλος Δήμος

Επιβλέπουσα

Μαρία Μενεγάκη, Καθηγήτρια ΕΜΠ





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

# Εφαρμογή νέων τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας στον μεταλλευτικό κλάδο

*Μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση*

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΟΣ

Επιβλέπουσα: Μαρία Μενεγάκη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από τριμελή επιτροπή στις 27/10/2023

Δαμίγος Δημήτρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καλιαμπάκος Δημήτρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Μενεγάκη Μαρία, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

*Στον Αριστερό Χώρο Μεταλλειολόγο **ΜΕΤ**αλλουργών*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μου στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της σχολής Μεταλλειολόγων-Μεταλλουργών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Μαρία Μενεγάκη για την βοήθεια και την υποστήριξη από την πρώτη στιγμή που ξεκίνησε να συγκροτείται η έρευνα για την παρούσα διπλωματική εργασία. Η καθοδήγηση της με συμβουλές, υποδείξεις, αλλά και κατανόηση και εμπιστοσύνη προς το πρόσωπό μου συνέβαλαν τα μέγιστα ώστε να μπορέσει να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική εργασία. Δεν θα μπορούσε άλλωστε να γίνει αλλιώς, αφού η στάση της σε ακαδημαϊκά ζητήματα και όχι μόνο, είναι τέτοια που πάντα ενισχύει την εξέλιξη της σχολής και της κοινωνίας προς κάτι καλύτερο.

Τις θερμές μου ευχαριστίες στους Καθηγητές της σχολής Μεταλλειολόγων-Μεταλλουργών Μηχανικών Ε.Μ.Π. Δαμίγο Δημήτρη και Καλιαμπάκο Δημήτρη που πλαισίωσαν την τριμελή επιτροπή μου και αφιέρωσαν χρόνο στη μελέτη και την εξέταση της παρούσα διπλωματικής εργασίας. Η στάση τους και η συμβολή τους στη σχολή και στο Ε.Μ.Π. είναι άξια σεβασμού και έπαιξε καθοριστικό ρόλο σε δύσκολες περιόδους.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ από καρδιάς οφείλω στους γονείς μου Φανή και Νίκο, διότι η υποστήριξη και η βοήθειά τους σε κάθε στάδιο της ζωής μου αποτελεί παράδειγμα προς μίμηση για έναν γονέα. Ακόμα και στις πιο δύσκολες συνθήκες, η βοήθεια είτε με υλικό είτε με ψυχολογικό τρόπο ήταν πάντα δεδομένη. Τους οφείλω την ευρύτερη μόρφωση και παιδεία μου, καθώς από πολύ μικρή ηλικία που έμαθαν να παίρνω πάντα την πλευρά του δίκαιου ανεξαρτήτως προσωπικού συμφέροντος, να υπερασπίζομαι τον αδύναμο και να παλεύω για μια καλύτερη κοινωνία για τον άνθρωπο. Ευχαριστώ την Δήμητρα που στάθηκε στο πλευρό μου κατά τη διάρκεια συγγραφής της παρούσας εργασίας, αλλά και την υπομονή και την υποστήριξη που έδειξε όλα αυτά τα χρόνια. Οι στιγμές που μοιραστήκαμε ήταν καθοριστικές για να μπορώ σήμερα να είμαι αυτός που είμαι.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ επίσης, στους συντρόφους από το έτος μου Άρη Φούφα και Βασίλη Χαβέλα, χωρίς τους οποίους τα χρόνια στη σχολή δεν θα ήταν τα ίδια. Από τις δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε μαζί στη φοιτητική μας καθημερινότητα, μέχρι και τις τελευταίες ημέρες πριν την αποφοίτηση, η συμβολή τους ήταν πολύ μεγάλη και σημάδεψε όλα αυτά τα χρόνια που περάσαν.

Στην Αριστερή Συσπείρωση οφείλω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ για την πολιτική μου συγκρότηση, την ιδεολογική αναφορά στο κομμουνιστικό κίνημα και την αιματοβαμμένη ιστορία του λαού μας που με γεμίζει δέος και πείσμα, καθώς και την ηθική στάση που πρέπει να έχει σήμερα όποιος άνθρωπος θέλει να παλεύει για μια καλύτερη κοινωνία. Η καθημερινή πρακτική και οι αγώνες που έχουμε δώσει από κοινού με όλους τους συντρόφους αποτελούν πραγματικό θησαυρό για την ανάπτυξη μιας πολύπλευρης προσωπικότητας ενός ανθρώπου. Ο αγώνας για μια κοινωνία χωρίς εκμετάλλευση ανθρώπου από άνθρωπο, είναι ένας αγώνας καθόλα δίκαιος και ειλικρινής, ο οποίος υπερβαίνει το μπόι ενός ανθρώπου και αναφέρεται στα πιο ευγενή ιδανικά.

Τέλος, το ευχαριστώ που οφείλω στον Αριστερό Χώρο Μεταλλειολόγων ΜΕΤαλλουργών δεν μπορεί να συμπυκνωθεί σε λίγες σελίδες. Την ώρα που ολοκληρώνεται η παρούσα διπλωματική, ο Α.Χ.Μ.ΜΕΤ. κλείνει 33 χρόνια ύπαρξης κόντρα σε πολύ δυσμενείς συνθήκες ανά τα χρόνια, κατά τα οποία συνέβαλε στο να αλλάξει πολλές συνειδήσεις φοιτητών. Αφιερώνοντας στο στέκι του σχήματος ένα στίχο του Γιάννη Ρίτσου «Σε τούτα εδώ τα μάρμαρα κακιά σκουριά δεν πιάνει», είμαι σίγουρος πως όσο μέσα στη νεολαία υπάρχει η φλόγα του αγώνα και της αμφισβήτησης, τόσο οι τοίχοι του στεκιού θα βαστάνε και θα υπενθυμίζουν ότι υπάρχει και άλλος δρόμος. Ευχαριστώ τους μεγαλύτερους συντρόφους που μου έμαθαν να μην τα παρατάω και παλεύω για όσα μου αναλογούν, που μου στάθηκαν και με εμπιστεύθηκαν στα πρώτα χρόνια ενασχόλησής μου με το σχήμα. Σε αυτούς θέλω να υπενθυμίσω πως οι μικρότερες γενιές δεν ξεχνούν και συνεχίζουν την παρακαταθήκη που μας άφησαν. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στους μικρότερους συντρόφους, οι οποίοι παρά την τεράστια ιδεολογική πίεση που δέχονται οι νεότερες γενιές, παραμέρισαν τις προσωπικές απολαύσεις και ρίχτηκαν και οι ίδιοι στον αγώνα για μια καλύτερη ζωή. Σε αυτούς θέλω να «συστήσω» να μην τα παρατάνε όσο δύσκολα και αν φαίνονται τα πράγματα, γιατί το αποτέλεσμα πάντα θα τους επιβραβεύει. Να συνεχίσουν με υψωμένη τη γροθιά και οι καλύτερες μέρες θα έρθουν σίγουρα.

Κλείνοντας έναν κύκλο στη ζωή, είναι σημαντικό να μπορείς να κοιτάς τον καθρέφτη με ψηλά το κεφάλι και να έχεις αφήσει πίσω σου κάτι καλύτερο από αυτό που παρέλαβες.

*Αν θέλεις να λήγεις άνθρωπος  
Κάθε κραυγή σου θα 'ναι μια πετριά στα τζάμια των πολεμοκάπηλων  
Κάθε χειρονομία σου θα 'ναι για να γκρεμίζει την αδικία*

**Τάσος Λειβαδίτης, 1922-1988**

## Περίληψη

Η τεχνολογία virtual reality χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στον μεταλλευτικό κλάδο παγκοσμίως, με στόχο την ασφαλέστερη και βέλτιστη απόδοση των εργαζομένων. Συστηματικές ανασκοπήσεις των ερευνών αυτών έχουν πραγματοποιηθεί με στόχο να διερευνηθούν α) την περαιτέρω χρήση της τεχνολογίας VR στον κλάδο, β) την επένδυση σε νέες τεχνολογίες ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί το προηγούμενο, γ) την κατάλληλη κατάρτιση των εργαζομένων αλλά και των φοιτητών ώστε να εξοικειωθούν όσο περισσότερο γίνεται με την νέα τεχνολογία.

Η συστηματική ανασκόπηση στην παρούσα διπλωματική εργασία επεξεργάζεται και αναλύει ποιες τεχνικές και μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί στο χώρο της μεταλλευτικής δραστηριότητας στον κόσμο αλλά και στην Ελλάδα, ποια είναι τα συμπεράσματα και ποιες οι βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν, καθώς και που επικεντρώνεται κυρίως η χρήση της τεχνολογίας VR έως τώρα στον μεταλλευτικό κλάδο. Στο τέλος αναφέρονται τα αποτελέσματα και κάποια συμπεράσματα στα οποία καταλήγει η ομάδα εργασίας με γνώμονα την ενίσχυση των τομέων εκπαίδευσης και εργασίας μέσω χρήσης τεχνολογίας Virtual Reality.

Η ανασκόπηση λαμβάνει πληροφορίες από 41 έρευνες οι οποίες έγιναν σε χώρες του εξωτερικού, παρουσιάζοντας διάφορες τεχνικές και εφαρμογές, εκ των οποίων όλες κρίνονται ως θετικές και προωθητικές για τον κλάδο της μεταλλευτικής. Τόσο στην ασφάλεια των εργαζομένων, στην εκπαίδευσή τους για την πιο ομαλή ένταξη στην παραγωγή, αλλά και όσον αφορά τα αποτελέσματα που έχει στην ίδια την παραγωγή και αύξηση της αποδοτικότητας.

Τέλος, η συστηματική ανασκόπηση προσθέτει μια πιο συνολική εικόνα στη βιβλιογραφία που ήδη υπάρχει και μπορεί να χρησιμεύσει για μελλοντική έρευνα καθώς ο τομέας της εικονικής πραγματικότητας συνεχώς επεκτείνεται και εξελίσσεται. Όσο η τεχνολογία Virtual reality εξελίσσεται και ενσωματώνεται περισσότερο σε διάφορους κλάδους, θα χρειαστούν εκ νέου διεξαγωγές έρευνας και νέες ανασκοπήσεις προκειμένου να καλυφθούν τα νέα δεδομένα.

## **Abstract**

Virtual reality technology is increasingly being used in the mining industry worldwide, with the aim of safer and more optimal performance of workers. Systematic reviews of these studies have been carried out with the aim of investigating (a) the further use of VR technology in the industry, (b) the investment in new technologies in order to be able to achieve the previous one, (c) the appropriate training of workers and researchers in order to familiarize themselves as much as possible with the new technology.

The systematic review in this thesis elaborates and analyses which techniques and methods have been applied in the field of mining activity in the world and in Greece, which are the conclusions and which are the improvements that can be made, as well as where the use of VR technology is predominantly focused in the mining sector so far. Finally, the results and some conclusions that the working group draws are reported, with a view to strengthening the education and work sectors through the use of Virtual Reality technology.

The review takes information from 41 studies carried out in foreign countries, presenting various techniques and applications, all of which are considered positive and beneficial for the mining sector. Both in terms of worker safety and training for smoother integration into production, but also in terms of the effects on production itself and increased productivity. Finally, the systematic review adds a more comprehensive picture to the literature that already exists and can serve for future research as the field of economic reality is constantly expanding and evolving. As Virtual reality technology evolves and becomes more integrated into various disciplines, re-conducted research and new reviews will be needed in order to cover the new data.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	1
1.2 Πεδία εφαρμογής.....	2
1.3 Προβληματισμός μελέτης.....	4
1.4 Σκοπός εργασίας.....	5
1.5 Δομή εργασίας.....	6
Κεφάλαιο 2ο: Ερευνητική μεθοδολογία.....	1
2.1 Πρόληψη λαθών και μεροληψίας.....	2
2.2 Κριτήρια Επιλογής και Αποκλεισμού Μελετών.....	4
2.3 Προγραμματισμός της αναζήτησης.....	5
2.3.1. Δημιουργία λίστας δοκιμών.....	5
Κεφάλαιο 3ο: Ανάλυση έρευνας.....	11
3.1 Χρήση με σκοπό την ασφάλεια των εργαζομένων.....	11
3.2 χρήση για την εκπαίδευση εργαζομένων και φοιτητών.....	14
3.3 Χρήση της τεχνολογίας Virtual Reality στην παραγωγή.....	27
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα.....	34
4.1 Έτος δημοσίευσης, πεδίο αναφοράς και πεδίο εφαρμογής.....	34
4.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	38
Κεφάλαιο 5ο: Συμπεράσματα.....	42
5.1 Πρακτικές επιπτώσεις και προτάσεις.....	43



## Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μια αύξηση του ενδιαφέροντος για την εισαγωγή νέων τεχνολογιών Virtual Reality και Mixed Reality σε αρκετούς κλάδους, τόσο βιομηχανικούς όσο και εκπαιδευτικούς, υγείας, ψυχαγωγίας κ.α. Με βάση τη μελέτη "Business future 2021" πλέον το 88% των επιχειρήσεων, παγκοσμίως, επενδύει σε νέες τεχνολογίες για τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων. Σύμφωνα με τη μελέτη, η υπάρχουσα τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας, η οποία κυρίως αναφέρεται στις αισθήσεις της όρασης και της ακοής, αναμένεται να εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου, προσφέροντας όλο και πιο ρεαλιστικές εμπειρίες που ενσωματώνουν όλες τις αισθήσεις και εδραιώνουν μια πιο απόλυτη σύνδεση με το φυσικό περιβάλλον. Ειδικότερα, όσον αφορά τον μεταλλευτικό-εξορυκτικό κλάδο και τη μεταλλευτική δραστηριότητα, ακολουθώντας τα πρότυπα του Industrial 4.0 παρατηρούμε ότι η χρήση αυτών των τεχνολογιών εντείνεται διαρκώς με το πέρασμα του χρόνου. Οι κυρίαρχοι λόγοι που ωθούν τη βιομηχανία προς την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών σε διάφορους τομείς της παραγωγής, είναι α) η ολοένα και μεγαλύτερη τάση αυτοματοποίησης αρκετών λειτουργιών στα πλαίσια μιας εξόρυξης, β) η εκπαίδευση των εργαζομένων σε ένα ασφαλές περιβάλλον μακριά από τον πραγματικό εργασιακό χώρο, το οποίο ωστόσο θα είναι άρτια προσαρμοσμένο στο εικονικό περιβάλλον ώστε μετά την εκπαίδευση οι χειριστές μηχανημάτων να είναι έτοιμοι να ενταχθούν κατευθείαν στην παραγωγή.

### 1.1 Ιστορική αναδρομή

Ήδη από το 1960, ο Ivan Sutherland σε μια παρουσίασή του σε ένα παγκόσμιο συνέδριο του IFIP, όπου μίλησε για τη θεωρία του για το "ultimate display," ένα χώρο όπου σύνθετα αντικείμενα θα μπορούσαν να προκαλούν τις ανθρώπινες αισθήσεις ως πραγματικά. Αυτό άνοιξε τον δρόμο για τη δημιουργία των πρώτων συστημάτων προσομοίωσης πτήσης, τα οποία συνδύαζαν πραγματικά εικονογραφημένα ντοκουμέντα όπου κινούνταν από τους μοχλούς των αεροπλάνων με το αντίστοιχο περιβάλλον. Ένα από τα πρώτα παραδείγματα εικονικής πραγματικότητας ήταν το Sensorama, δημιουργία του Morton Heiling το 1962. Το Sensorama επέτρεπε στον χρήστη να κάνει μια "εικονική" βόλτα με μοτοσυκλέτα στους δρόμους της Νέας Υόρκης, ενσωματώνοντας ταυτόχρονα πολλές αισθήσεις: την όραση (κινούμενες εικόνες), την ακοή (στερεοφωνικός ήχος), την αφή, την αίσθηση του κραδασμού και τον αέρα, αλλά και την οσμή. Ο Heiling ήταν επίσης υπεύθυνος για την κατασκευή ενός συστήματος στερεοσκοπικής οθόνης HMD. Αργότερα, ο

Sutherland ανέπτυξε παρόμοιο λογισμικό και ασχολήθηκε με υπερηχητικούς και μαγνητικούς αισθητήρες.

Το 1970, στις αρχές της νέας δεκαετίας, ο Myron Krueger παρουσίασε το "Incredible Helmet," ένα πρωτότυπο σύστημα δυναμικής ανάδρασης. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιούσε ποτενσιόμετρα για να ανιχνεύσει τη θέση μιας μικρής λαβής, και η ανάδραση μεταφερόταν αντίστοιχα μέσω ηλεκτροκινητήρων. Η νέα τεχνολογία αυτή έγινε δημοφιλής, κυρίως στο MIT και στο UNC, και τα επόμενα χρόνια δημιουργήθηκαν πολλές εταιρείες και ερευνητικά κέντρα που ασχολήθηκαν με την εικονική πραγματικότητα.

Με την πάροδο του χρόνου, η εικονική πραγματικότητα εξελίχθηκε και διαδόθηκε ευρέως, κυρίως μέσω της διάδοσής της στο διαδίκτυο, καθώς και λόγω της προσιτότητας των απαραίτητων αντικειμένων. Οι χρήστες βιώνουν αυτά τα εικονικά περιβάλλοντα μέσω ακουστικών με κεφαλή ή οθονών 360 μοιρών, με διάφορα επίπεδα εμπύθισης. Η εικονική πραγματικότητα επιτυγχάνεται με την προσομοίωση των αισθήσεων του ανθρώπου στον φυσικό κόσμο με τον πιο ακριβή και αποτελεσματικό τρόπο. Η εμπύθιση εξαρτάται από τεχνολογικό εξοπλισμό, όπως ακουστικά με κεφαλή και ελεγκτές, μεταξύ άλλων. Αυτός ο εξοπλισμός καθορίζει πόσο εμπυθισμένος είναι ο χρήστης στο εικονικό περιβάλλον. Η εμπύθιση συμβάλλει στην αίσθηση παρουσίας του χρήστη στο περιβάλλον της VR. Η παρουσία είναι ένα υποκειμενικό στοιχείο της VR που αναφέρεται στο βαθμό με τον οποίο ο χρήστης αισθάνεται παρών στο εικονικό περιβάλλον. Το επίπεδο παρουσίας επηρεάζεται από τον σχεδιασμό των εικονικών περιβαλλόντων.

## **1.2 Πεδία εφαρμογής**

Σταδιακά, η Virtual Reality έχει αρχίσει να γίνεται δημοφιλής σε διάφορους τομείς, όπως τα βιντεοπαιχνίδια, η εκπαίδευση και η έρευνα. Εκτός από τις γνωστές εφαρμογές ψυχαγωγίας, η VR έχει επιτύχει την αναπαραγωγή της δράσης και της αντίληψης του ανθρώπου μέσω ενεργού συμμετοχής σε εικονικούς κόσμους και χρησιμοποιείται σε πολλούς διάφορους τομείς. Αυτή η τεχνολογία έχει παίξει σημαντικό ρόλο στον τομέα της αρχιτεκτονικής και των πολεοδομικών εφαρμογών.

Στην αρχιτεκτονική, μπορεί κανείς να δημιουργήσει το σπίτι του επιλέγοντας αντικείμενα από μια βιβλιοθήκη και να τα τοποθετήσει σε έναν εικονικό χώρο. Αυτές οι εφαρμογές ονομάζονται

"interactive CAD." Παρόμοιες εφαρμογές χρησιμοποιούνται και στον τομέα της γεωγραφικής πλοήγησης με τη χρήση της στερεοσκοπικής προβολής.

Στον τομέα της ιατρικής, η εικονική πραγματικότητα χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του ανθρώπινου σώματος και των ιατρικών διαδικασιών, βοηθώντας στην εκπαίδευση των γιατρών. Επίσης, χρησιμοποιείται για τη θεραπεία των φόβων μέσω της εκθέσεως σε φοβικά ερεθίσματα. Η εικονική πραγματικότητα εφαρμόζεται επίσης στην εκπαίδευση, προσφέροντας δυνατότητες ενεργού μάθησης. Επίσης, η παιχνιδιοποίηση (gamification) χρησιμοποιείται με επιτυχία στην εκπαίδευση με τη χρήση βιντεοπαιχνιδιών. Τα 3D εικονικά περιβάλλοντα μάθησης, γνωστά ως VRLE, χρησιμοποιούνται όχι μόνο στην τυπική εκπαίδευση, αλλά και σε άλλους τομείς όπως οι μουσειακές εμπειρίες και η εκπαίδευση αστροναυτών και πιλότων. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε πειράματα για τη μελέτη της συμπεριφοράς του ανθρώπου σε καταστάσεις κινδύνου και σε προσομοιώσεις πυρκαγιάς για πρόβλεψη και μελέτη συμπεριφορικών αντιδράσεων.

Στη σύγχρονη εποχή, η εξέλιξη της τεχνολογίας VR έχει φτάσει σε εντυπωσιακά επίπεδα εμπύθισης, καθώς η διαθέσιμη τεχνολογία υλικού έχει εξελιχθεί σε σημείο όπου ακόμα και άτομα με πολυετή εργασιακή πείρα αντιλαμβάνονται τις εμπειρίες στη VR ως απόλυτα ρεαλιστικές. Η χρήση της εκπαίδευσης στη VR μπορεί να προσφέρει ρεαλιστικά περιβάλλοντα και εμπειρίες που είναι δύσκολο να αναπαραχθούν στον πραγματικό κόσμο. Αυτό αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμο στην εκπαίδευση εργαζομένων σε εξορυκτικές περιοχές, όπου η ασφάλεια και η κατάρτιση αποτελούν προτεραιότητες. Οι εργαζόμενοι μπορούν να εκπαιδευτούν σε επικίνδυνες συνθήκες χρησιμοποιώντας τη VR, χωρίς να αντιμετωπίζουν πραγματικούς κινδύνους και χωρίς να επηρεάζουν την παραγωγικότητα των εξορυκτικών περιοχών. Αυτό μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο ατυχημάτων και να αυξήσει την προσαρμοστικότητα και την αποδοτικότητα του προσωπικού.

Επιπλέον, η ανάλυση δεδομένων και η οπτικοποίηση στη VR αποτελούν σημαντικές εφαρμογές. Η εξόρυξη δημιουργεί μεγάλες ποσότητες δεδομένων, και η ανάλυση αυτών των δεδομένων μπορεί να παρέχει πληροφορίες και προβλέψεις σχετικά με την απόδοση των εξορυκτικών περιοχών. Η οπτικοποίηση στη VR μπορεί να βοηθήσει τους ερευνητές και τους αναλυτές να αντλήσουν και να απεικονίσουν πληροφορίες από αυτά τα δεδομένα, με έναν πιο κατανοητό και προσβάσιμο τρόπο. Τέλος, οι τεχνολογίες στη VR μπορούν να παρέχουν προηγμένες δυνατότητες παρακολούθησης,

αυτοματισμού και μάρκετινγκ στις εξορυκτικές περιοχές, βελτιώνοντας την απόδοση και την αποτελεσματικότητα. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της απόδοσης των μηχανημάτων και την αυτοματοποίηση των εργασιών, με τρόπο που εφαρμόζεται σταδιακά σε όλες τις βαριές βιομηχανίες και όχι μόνο. Οι χώρες που υιοθετούν αυτήν την τεχνολογία συνεχώς αυξάνονται, ενώ περίπου 40 πανεπιστήμια στην Ευρώπη προσφέρουν προγράμματα σπουδών που συμπεριλαμβάνουν την εκμάθηση μέσω της VR (Abdelrazeq, Dalling, Supes). Έτσι, οι φοιτητές μπορούν να αποκτήσουν εμπειρία και εξοικείωση με μηχανήματα, εργαλεία και προβλήματα που θα αντιμετωπίσουν ως μελλοντικοί εργαζόμενοι στον τομέα της εξόρυξης. Η τεχνολογία VR έχει εξελιχθεί σε σημείο όπου μπορεί να αναπαράγει όχι μόνο τις υπαίθριες, αλλά και τις υπόγειες εξορυκτικές διαδικασίες, δημιουργώντας ένα πιστό εργασιακό περιβάλλον.

### **1.3 Προβληματισμός μελέτης**

Η 4η βιομηχανική επανάσταση και ο αυτοματισμός των μέσων παραγωγής, έχει επιβάλει και στον μεταλλευτικό-εξορυκτικό κλάδο νέες εργασιακές συνθήκες οι οποίες εισήρθαν και στην Ελλάδα μετά την παγκόσμια επικράτηση αυτού του νέου τεχνολογικού υποδείγματος, όπου ουσιαστικά επιβάλει την ψηφιακή επανίδρυση των μέσων παραγωγής. Το νέο εργασιακό πεδίο που δημιουργείται σε πολλούς κλάδους επιτάσσει την εκπαίδευση και κατάρτιση των εργαζομένων πάνω σε νέες τεχνολογικές μεθόδους και εργαλεία ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στο εργασιακό τους περιβάλλον, χωρίς να προκαλείται κάποια δυσκολία-ατύχημα στους ίδιους, ή στην παραγωγική διαδικασία. Οι νέες μέθοδοι, υπό την κατάλληλη χρήση, μπορούν να βελτιώσουν τις εργασιακές συνθήκες και την απόδοση των εργαζομένων ώστε να επέλθει και αύξηση της παραγωγής, καθώς και να βελτιώσουν το εκπαιδευτικό καθεστώς, ενισχύοντας την επαφή των φοιτητών με το αντικείμενο στο οποίο θα κληθούν να εργασθούν.

Η πλήρης τήρηση όλων των απαραίτητων μέτρων ασφαλείας, καθώς και η περαιτέρω εκπαίδευση των εργαζομένων στον εξορυκτικό-μεταλλευτικό κλάδο, μπορεί να ελαττώσει σε σημαντικό βαθμό τα ατυχήματα που συμβαίνουν και πολλές φορές έχουν αποβεί μοιραία. Με τη χρήση νέων τεχνολογιών και της VR μελλοντικά δεν θα χρειάζεται να υπάρχουν επανδρωμένα μηχανήματα σε περιοχές ή καταστάσεις όπου είναι επίφοβο να συμβεί κάποιο ατύχημα. Ο χειρισμός θα μπορεί να γίνεται εξ αποστάσεως και ο χρήστης να βρίσκεται πίσω από το ασφαλές περιβάλλον της VR,

θέτοντας τον εαυτό του εκτός κινδύνου. Η ενσωμάτωση στην παραγωγή μεθόδων αλληλοσυμπλήρωσης εργαζόμενου-μηχανής με ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μέσω της χρήσης τεχνητής νοημοσύνης μπορεί ακόμα να βελτιώσει και την απόδοση των εργαζομένων.

Η εξορυκτική βιομηχανία είναι μία από τις πρώτες βιομηχανίες που χρησιμοποιεί τεχνολογίες VR/AR στις δραστηριότητές της. Καθόλη τη διάρκεια της ιστορικής της εξέλιξης, είχε να αντιμετωπίσει ένα ευρύ φάσμα σύνθετων οικονομικών, λειτουργικών και τώρα περιβαλλοντικών και κοινωνικών προκλήσεων. Τα τελευταία 10 χρόνια, η παγκόσμια εξορυκτική βιομηχανία έχει επενδύσει περίπου το 0,5 % του εισοδήματός της σε έρευνα και ανάπτυξη σε τεχνολογίες VR/AR (Navenkon , 2022), γεγονός που αναδεικνύει ότι η περαιτέρω οικονομική ενίσχυση για την έρευνα για τη βελτίωση αυτών των τεχνολογιών, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις υπάρχουσες συνθήκες, καθώς υπάρχει μεγάλο περιθώριο ανάπτυξης και βελτίωσης.

#### **1.4 Σκοπός εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην ανάδειξη του θετικού πρόσημου που θα έχει η ανάπτυξη τεχνολογιών όπως το VR/AR στον εξορυκτικό-μεταλλευτικό κλάδο, καθώς και την ανάγκη να εισαχθεί η τεχνολογία αυτή στα πανεπιστήμια με σκοπό να έρθουν σε επαφή οι φοιτητές και να εξοικειωθούν μαζί της πριν ενταχθούν στο χώρο εργασίας τους. Για την επίτευξη των συγκεκριμένων ερευνητικών στόχων, πραγματοποιήθηκε μια σύντομη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, καθώς αποτελεί μια αξιόπιστη πρακτική για την παρουσίαση της υφιστάμενης βιβλιογραφίας και τον εντοπισμό ενδεχόμενων κενών στην έρευνα. Γενικά, οι συστηματικές ανασκοπήσεις αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη ενός θεωρητικού πλαισίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντικές μελέτες ή για τη δημιουργία και επαλήθευση νέων θεωρητικών προτάσεων. Επιπλέον, συμβάλλουν στην εξέταση της συνοχής των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφόρων ερευνητών και τη γενίκευσή τους σε διαφορετικά πλαίσια. Τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία απασχόλησαν τη συγκεκριμένη εργασία είναι α) οι τομείς και β) ο σκοπός για τον οποίο αξιοποιείται η τεχνολογία VR στον μεταλλευτικό κλάδο.

Για την τεχνολογία VR στον εξορυκτικό κλάδο υπάρχουν συστηματικές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις οι οποίες αναφέρονται στην βελτίωση του ήδη υπάρχον εξοπλισμού, τη βελτίωση του εκπαιδευτικού περιβάλλοντος όπου ο εργαζόμενος καταπιάνεται με την τεχνολογία αυτή για πρώτη φορά, την ασφάλεια που μπορεί να παρέχει στους εργαζόμενους σε πολλές και

διαφορετικές περιπτώσεις (την ώρα της εργασίας τους ή σε περίπτωση που χρειάζεται κάποια έκτακτη εκκένωση του λατομείου-σήραγγας κλπ.), καθώς και τους τομείς που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρύτερα. Παρόλα αυτά, φαίνεται ότι λείπει μια συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που θα εξετάζει εκτενώς το θέμα της εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας και τα συνολικά της οφέλη, από το πανεπιστήμιο μέχρι τον εργασιακό χώρο. Η παρούσα διπλωματική εργασία προσπαθεί να καλύψει αυτό το κενό, διατυπώνοντας ερευνητικά ερωτήματα που απαντώνται μέσω της διεξαγωγής μιας συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, εξετάζοντας ένα δείγμα 41 άρθρων που δημοσιεύτηκαν από το 2019 έως το 2023.

### **1.5 Δομή εργασίας**

Στο 2ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται η ερευνητική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ώστε να έρθει εις πέρας αυτή η εργασία. Στο 3ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση και ο διαχωρισμός της έρευνας με έμφαση στον τρόπο χρήσης της τεχνολογίας VR έως τώρα στον μεταλλευτικό-εξορυκτικό κλάδο (χρήση για ασφάλεια, εκπαίδευση, περιβαλλοντικούς λόγους, αύξηση παραγωγικότητας), καθώς και στην κατασκευή και τα διάφορα εξαρτήματα-μηχανήματα στα οποία έχει εφαρμοσθεί και ενσωματωθεί η VR στους κλάδους αυτούς. Στο 4ο κεφάλαιο διατυπώνονται τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξε η ομάδα έρευνας ανά ερευνητικό ερώτημα, ενώ στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν μετά από συνδυασμό του θεωρητικού υποβάθρου και των αποτελεσμάτων της εργασίας. Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται κάποιες πρακτικές επιπτώσεις με σκοπό να καταλήξουν σε στρατηγικές προτάσεις προς τον εργασιακό αλλά και τον εκπαιδευτικό τομέα. Ακόμα, γίνεται αναφορά στους περιορισμούς της υφιστάμενης έρευνας και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Τέλος, παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές.

## Κεφάλαιο 2ο: Ερευνητική μεθοδολογία

Η συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αποτελεί μι σημαντική ερευνητική μέθοδο για την ανάλυση, περιγραφή και κριτική των αρχικών ερευνών και των αποτελεσμάτων τους. Η δυνατότητα να ανακαλύπτονται νέες πτυχές και συμπεράσματα, που πιθανόν δεν είχαν αναδειχθεί από προηγούμενες μελέτες, έχει αυξήσει την δημοτικότητα των συστηματικών ανασκοπήσεων και τις έχει καταστήσει βασική μεθοδολογία της έρευνας. Το αυξημένο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για αυτές τις ανασκοπήσεις έχει οδηγήσει στην δημιουργία υψηλής ποιότητας συστηματικών ανασκοπήσεων. Ο κυρίαρχος στόχος είναι να εκμεταλλευτεί καλύτερα τη συσσωρευμένη γνώση και να εντοπίσει τις σύγχρονες τάσεις και εξελίξεις στα ερευνητικά πεδία που εξετάζονται.

Οι ανασκοπήσεις της βιβλιογραφίας χωρίζονται συνήθως σε δύο κατηγορίες: α) αφηγηματικές και β) συστηματικές. Οι αφηγηματικές ανασκοπήσεις δεν ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη μέθοδο αναζήτησης, αλλά αρκούνται σε μια πιο σφαιρική επισκόπηση της βιβλιογραφίας που επιλέχθηκε. Οι συστηματικές ανασκοπήσεις αντιθέτως, έχουν ως στόχο να καλύψουν την πλήρη διαθέσιμη βιβλιογραφία για ένα θέμα για να απαντήσουν σε μια δοσμένη ερώτηση, για αυτό και επιλέγουν ακριβείς μεθόδους.

Συνολικά, η συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας περιλαμβάνει λεπτομερή έρευνα της βιβλιογραφίας, με σκοπό να αναδείξει συγκεκριμένα ερευνητικά κενά και ερωτήματα σε ένα συγκεκριμένο θέμα, για τα οποία οι προηγούμενες έρευνες δεν είναι επαρκείς, ή έχουν προκαλέσει λάθη. Αυτά τα λάθη, συνήθως, προκαλούνται λόγω μεροληψιών και αδυναμιών των μεθόδων μέτρησης και των ερευνητικών προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται. Η συστηματική ανασκόπηση μπορεί να καθοδηγήσει την αναζήτηση νέων κατευθύνσεων και θεμάτων που μπορούν να εξεταστούν στο μέλλον, καθώς και να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες στους ερευνητές και τους πολιτικούς για τη λήψη αποφάσεων και την ανάπτυξη πολιτικής. Συνολικά, η συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προσφέρει πολύ καλά αποτελέσματα στην ανάπτυξη της γνώσης και την προώθηση της έρευνας σε πολλούς επιστημονικούς τομείς.

Η ερώτηση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης διαδραματίζει έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, καθώς δεν περιορίζεται μόνο στην καθοδήγηση της στρατηγικής αναζήτησης, αλλά επηρεάζει τα

αποτελέσματα που μπορούν να προκύψουν από αυτήν. Τα αποτελέσματα της ανασκόπησης βασίζονται κυρίως στις μελέτες που θα επιλεγθούν ή στα αποδεικτικά στοιχεία που θα συμπεριληφθούν ή αποκλειστούν από αυτήν. Μια πολύ στενή ερώτηση μπορεί να οδηγήσει σε μια περιορισμένη και εξειδικευμένη έρευνα, καταλήγοντας έτσι να περιοριστούν οι διαθέσιμες μελέτες και να μην είναι εφικτή η γενίκευση των αποτελεσμάτων. Αντίθετα, μια πολύ ευρεία ερώτηση μπορεί να προκαλέσει υπερβολική πληθώρα αποτελεσμάτων, περιλαμβάνοντας και μη σχετικές μελέτες, και καθιστώντας δυσκολότερο τον εντοπισμό των σημαντικών ευρημάτων.

Επιπλέον, η επιλογή της ερώτησης πρέπει να γίνει με προσοχή, καθώς επηρεάζει τον τρόπο που θα δομηθεί η αναζήτηση και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν. Οι διαφορετικές διατυπώσεις της ερώτησης μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις και ερμηνείες των δεδομένων. Οι συστηματικές ανασκοπήσεις προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στο πεδίο της βιβλιογραφικής έρευνας. Μπορούν να αναδείξουν ποιες παράμετροι επηρεάζουν τα αποτελέσματα σε διάφορες μελέτες, να ανιχνεύσουν διαφορές στα χαρακτηριστικά των δειγμάτων και να ανακαλύψουν πολιτισμικές διαφορές που μπορεί να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Επιπλέον, συμβάλλουν στη μείωση της μεροληψίας και των λαθών στην έρευνα, ενισχύοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αντιληφθείτε ότι δεν είναι πάντα εφικτό να εντοπίσετε όλη τη σχετική βιβλιογραφία, λόγω πολλών παραγόντων, όπως η γλώσσα, η πρόσβαση και η δυσκολία ευρετηρίασης. Συνεπώς, είναι σημαντικό να τεκμηριώνονται οι περιορισμοί της αναζήτησης και να γίνεται προσπάθεια για την ανακάλυψη τυχόν ελλείπουσας πληροφορίας κατά τη διάρκεια της έρευνας.

## **2.1 Πρόληψη λαθών και μεροληψίας**

Μία αυστηρή ανάλυση βασισμένη σε αποδεικτικά στοιχεία απαιτεί την προσπάθεια να μειωθούν όσο γίνεται τα λάθη λόγω μεροληψίας που ενδέχεται να επηρεάσουν την όλη διαδικασία. Πιο πιθανό είναι να προκύψουν τα εξής σφάλματα κατά την αναζήτηση: εσφαλμένη ορθογραφία στους όρους αναζήτησης, ελλιπείς όροι αναζήτησης, λάθη στη σύνταξη των αναζητήσεων (π.χ. ανάρμοστη χρήση τελεστών Boolean (AND, OR, NOT)) και ανάλογη μη κατάλληλη χρήση όρων αναζήτησης. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με μια αυστηρή διαδικασία



καθορισμού των όρων αναζήτησης και με την αξιολόγηση της αναζητούμενης στρατηγικής από ανεξάρτητους εκτός της ομάδας εργασίας (π.χ. επόπτη της ομάδας). Η προκατάληψη (συστηματικά λάθη) στη στρατηγική αναζήτησης μπορεί να επηρεάσει τα συμπεράσματα. Για την αντιμετώπιση αυτής της προκατάληψης μπορεί να απαιτηθεί:

1. αναζήτηση σε πηγές εκτός των συνηθισμένων ακαδημαϊκών ηλεκτρονικών βιβλιογραφικών πηγών
2. χρήση πολλαπλών βάσεων δεδομένων και εργαλείων αναζήτησης για τη μείωση της πιθανότητας προκατάληψης στα ανακτημένα αποτελέσματα, και
3. επικοινωνία με άτομα ή οργανισμούς που ενδέχεται να διαθέτουν παρόμοιο υλικό.

Συγκεκριμένα δείγματα μεροληψίας τεκμηριώθηκαν από τους Bayliss και Beyer. Η γλωσσική μεροληψία σημαίνει ότι μελέτες με σημαντικά ή "ενδιαφέροντα" ευρήματα δημοσιεύονται κυρίως στην αγγλική γλώσσα, κάτι που τις καθιστά αυτόματα πιο προσβάσιμες από όσο είναι οι μελέτες που σε άλλες γλώσσες. Το αποτέλεσμα αυτού στα συμπεράσματα ανάλυσης δεν είναι σίγουρο, ωστόσο η μείωση αυτής της μεροληψίας απαιτεί την αναζήτηση πέρα από τα αγγλικά. Μια άλλη συχνή μεροληψία είναι η τάση των μελετών να υποστηρίζουν και να ενισχύουν την υπάρχουσα άποψη σχετικά με ένα θέμα, και αυτές οι μελέτες έχουν περισσότερες πιθανότητες να δημοσιευθούν και να ανακαλυφθούν από τις μελέτες που αμφισβητούν αυτήν την άποψη. Με στόχο να αποφευχθεί αυτή η μεροληψία, η ομάδα εργασίας οφείλει να διερευνήσει πέρα από τις πιο γνωστές σχετικές μελέτες, διότι είναι πιθανό να υπάρχουν μελέτες που έχουν δημοσιευθεί προηγουμένως και η "δημοφιλία" τους έχει υποχωρήσει.

Για να μειωθεί αυτή η προκατάληψη ενδέχεται να χρειαστεί η αναζήτηση δημοσιεύσεων που έχουν δημοσιευθεί σε περασμένο χρόνο, καθώς και τον στατιστικό έλεγχο για να εξεταστεί αν η προκατάληψη επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα των μελετών. Συχνά παρατηρείται ότι τα σημαντικά αποτελέσματα (συνήθως τα θετικά) είναι πιο πιθανό να γίνουν δεκτά και να δημοσιευθούν, ενώ τα μη σημαντικά (αρνητικά αποτελέσματα) έχουν λιγότερες πιθανότητες. Αυτή η προκατάληψη μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά σφάλματα και εσφαλμένα συμπεράσματα σε μια συστηματική ανάλυση, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη όλα τα δεδομένα που μπορεί να επηρεάσουν μια επίδραση ή μια παρέμβαση. Για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία και η έγκυρος διεξαγωγή μιας

συστηματικής ανάλυσης, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί έρευνα και αναζήτηση ακόμη και για μελέτες που περιλαμβάνουν αρνητικά αποτελέσματα.

## **2.2 Κριτήρια Επιλογής και Αποκλεισμού Μελετών**

Η συλλογή βιβλιογραφικών πηγών για μια συστηματική ανασκόπηση συνεπάγεται την ανάγκη να τεθούν ορισμένοι βασικοί περιορισμοί σχετικά με τις πηγές αυτές. Αυτοί οι περιορισμοί συγκεντρώνονται κυρίως στην καθορισμό κατάλληλων κριτηρίων επιλογής και αποκλεισμού. Τα κριτήρια αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν τη μέθοδο αξιολόγησης, τη χρονολογία δημοσίευσης, τη χώρα όπου διεξήχθη η έρευνα, το είδος της έρευνας (συμμετέχοντες/ερευνητικά θέματα) και το μέγεθος του δείγματος. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το κύριο κριτήριο επιλογής ήταν η εξέταση των μελετών που εξετάζουν τη χρήση της τεχνολογίας VR/MR στον εξορυκτικό-μεταλλευτικό κλάδο, είτε για την εκπαίδευση του προσωπικού, την ενίσχυση μέτρων ασφαλείας για τους εργαζόμενους, την αύξηση της παραγωγικότητας κ.λπ.

Συνολικά, επιλέχθηκαν επιστημονικά άρθρα που είχαν άμεση σχέση με το ζήτημα που εξετάζεται και που είχαν γραφεί στην αγγλική γλώσσα. Αυτά τα άρθρα έπρεπε να έχουν δημοσιευθεί σε περιοδικά ή συνέδρια που σχετίζονται με τον εξορυκτικό-μεταλλευτικό κλάδο και/ή την περιβαλλοντική διαχείριση, καθώς και με την τεχνολογία της Virtual Reality και τη χρήση της σε αυτούς τους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης φοιτητών που σπουδάζουν σχετικές επιστήμες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα περιλαμβάνουν περιοδικά/συνέδρια όπως το 8th International Conference on Information Technology Trends: Industry 4.0: Technology Trends and Solutions, ITT 2022, το Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy και το Application of Virtual Reality Technology in Training of Substation in Coal Mining Area, μεταξύ άλλων. Επιπλέον, τα άρθρα που επιλέχθηκαν είχαν δημοσιευτεί κατά την περίοδο από το 2019 έως το 2023. Ταυτόχρονα, έρευνες που δεν είχαν δημοσιευθεί ή βρίσκονταν ακόμα υπό επεξεργασία, δεν έλαβαν μέρος στην έρευνα. Τέλος, επιλέχθηκαν αυστηρά μελέτες οι οποίες επικεντρώνονταν στους τομείς της μηχανικής, της ενέργειας, καθώς και της πλανητικής επιστήμης και των επιστημών της Γης.

## 2.3 Προγραμματισμός της αναζήτησης

Όταν ξεκινάμε τον προγραμματισμό μιας αναζήτησης για μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, είναι αναγκαίο να δημιουργήσουμε μια αποτελεσματική στρατηγική με δύο βασικούς στόχους: α) τη μέγιστη εντοπισμό σχετικών άρθρων και β) την μείωση του αναγκαίου χρόνου που απαιτείται για τη διαδικασία αυτή, προκειμένου να έχουμε περισσότερο χρόνο για την ίδια τη μελέτη και τη σύναψη συμπερασμάτων από τα άρθρα αυτά. Ο προγραμματισμός μπορεί επίσης να περιλαμβάνει συζητήσεις σχετικά με τα κριτήρια καταλληλότητας για μελλοντικό έλεγχο, καθώς συχνά συνδέονται με τους όρους αναζήτησης. Ταυτόχρονα, στο σχεδιασμό πρέπει να παρθούν αποφάσεις σε σχέση με τα κριτήρια γύρω από τη λήξη της αναζήτησης, καθώς οι περιορισμοί σε πόρους μπορεί να γίνουν η αιτία ώστε να διακοπεί η να περιοριστεί η αναζήτηση.

### 2.3.1. Δημιουργία λίστας δοκιμών

Μια προκαταρκτική λίστα αποτελείται από ένα σύνολο άρθρων που έχουν ταυτιστεί ως σχετικά με την αντιμετώπιση της ερώτησης της βιβλιογραφικής ανασκόπησης (π.χ. ανήκουν στον επιθυμητό τομέα και περιέχουν στοιχεία για την αντιμετώπιση της ερώτησης). Η δημιουργία αυτής της προκαταρκτικής λίστας γίνεται με τη συμμετοχή ειδικών, ερευνητών και άλλων ατόμων από ενδιαφερόμενους φορείς (δηλαδή όποιον έχει ενδιαφέρον για την ερώτηση της ανασκόπησης και τα ενδεχόμενα συμπεράσματα). Η ομάδα εργασίας αξιολογεί τα άρθρα της προκαταρκτικής λίστας για να επιβεβαιώσει τη σχετικότητά τους με το ερώτημα της ανασκόπησης. Η δημιουργία της αρχικής αυτής λίστας είναι ανεξάρτητη από την ίδια τη διαδικασία αναζήτησης και στοχεύει στο να υποστηρίξει την εξέλιξη της στρατηγικής αναζήτησης και την αξιολόγησή της. Αυτή η λίστα θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις πηγές που σχετίζονται με το ερώτημα της ανασκόπησης (έγγραφα, περιοδικά, έρευνες κ.λπ.).

Για να αποτελέσει αποτελεσματικό εργαλείο, η προκαταρκτική λίστα πρέπει να περιλαμβάνει ένα σημαντικό ποσοστό και το εύρος των αποδεικτικών στοιχείων που είναι πιθανό να συναντηθούν στην ανασκόπηση. Το πόσα άρθρα θα ενέχει η προκαταρκτική λίστα εξαρτάται κυρίως από το πλάτος του ερωτήματος και μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα. Η χρήση μιας πολύ μικρής προκαταρκτικής λίστας κινδυνεύει να οδηγήσει την ομάδα εργασίας σε εσφαλμένα συμπεράσματα και να κατατάξει την αναζήτηση ως ανεπιτυχή. Η προκαταρκτική λίστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί

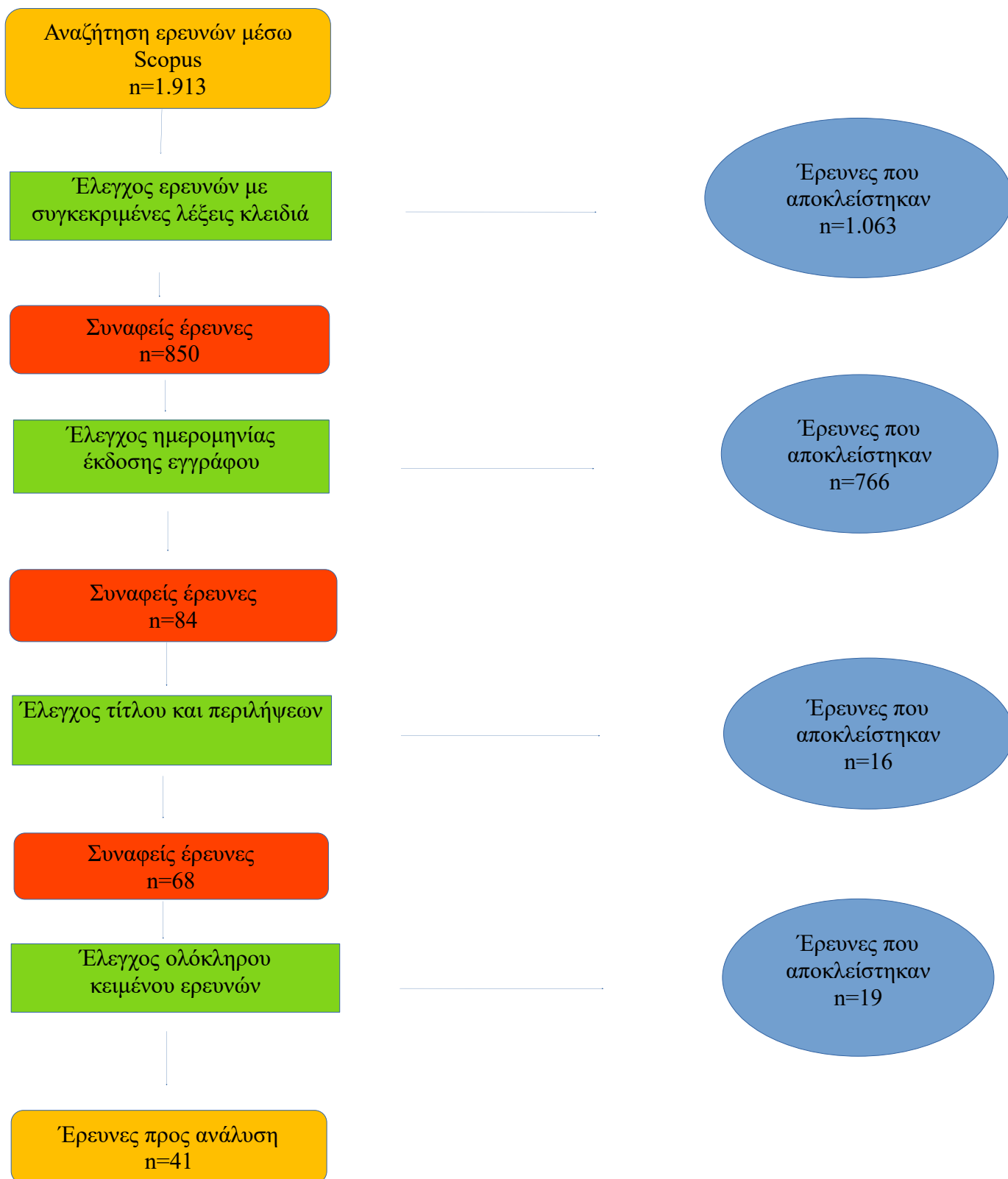
ως ένας οδηγός από την ομάδα έργου για τη βελτίωση της στρατηγικής αναζήτησης ή για τον καθορισμό πότε πρέπει να διακοπεί η αναζήτηση.

Οι βάσεις δεδομένων Web of Science (WoS), Scopus, ScienceDirect, EBSCO, ProQuest και IEEE Xplore αποτελούν συνήθεις πηγές πληροφοριών στην ακαδημαϊκή κοινότητα. Ειδικότερα, η Scopus περιλαμβάνει πάνω από 84 εκατομμύρια καταχωρήσεις και περισσότερους από 25,800 τίτλους άρθρων και βιβλίων σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, όπως ιατρικές επιστήμες, τεχνολογία, κοινωνικές επιστήμες, τέχνες και ανθρωπιστικές επιστήμες (Elsevier Scopus Fact Sheet, 2023). Επομένως, η Scopus επιλέχθηκε για την εντοπισμό των αναφορών στα επιστημονικά άρθρα που επιλέχθηκαν. Η αρχική διαδικασία αναζήτησης στη Scopus ξεκίνησε με την εφαρμογή της ακόλουθης συμβολοσειράς:

Article title, Abstract, Keywords (“virtual reality” OR “virtual reality mining” OR “virtual reality construction” OR “new technologies in mining” OR “mining and metallurgical technology” OR “mixed reality in mining” OR “virtual reality in mining industry”).

Η βιβλιογραφική αναζήτηση απαιτεί την αναζήτηση, τον εντοπισμό και την εξέταση μελετών σε αρκετές βάσεις δεδομένων, χρησιμοποιώντας τις λέξεις κλειδιά που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Για να διευκολυνθεί η πιο εξειδικευμένη έρευνα και η ανάλυση των πιο σύγχρονων μελετών, έγιναν ορισμένοι χρονικοί περιορισμοί για τη δημοσίευση των άρθρων: επιλέγονταν άρθρα που είχαν δημοσιευθεί από το 2019 έως το 2023. Επιπλέον, εξαιρέθηκαν άρθρα που δεν ήταν στα Αγγλικά. Στη συνέχεια, τέθηκαν περιορισμοί αναζήτησης για να περιοριστεί η έρευνα σε ακόμα πιο εξειδικευμένο πεδίο: αποκλείστηκαν άρθρα που α) αφορούσαν τον τομέα της εξόρυξης δεδομένων (καθώς δεν συνδέεται με τον μεταλλευτικό κλάδο), β) επικεντρώθηκαν στην τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας στους τομείς της μηχανικής, της ενέργειας, καθώς και της επιστήμης Γης και της πλανητικής επιστήμης. Έτσι, εντοπίστηκαν 41 μελέτες που πληρούσαν τα κριτήρια και χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, αποτελώντας το δείγμα για την παρούσα συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπως παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2.1 και στον Πίνακα 2.1.



Διάγραμμα 2.1: Διαδικασία Αναζήτησης και Επιλογής Βιβλιογραφίας

Πίνακας 2.1: Μελέτες που αναλύθηκαν για την παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση

A/A	Τίτλος	Έτος δημοσίευσης
1	Application of virtual reality in mining industry – where are we now?	2023
2	How Virtual Reality is Revolutionizing the Mining Industry	2023
3	Use of Virtual Reality to Increase Awareness of Line-of-Sight Hazards around Industrial Equipment	2022
4	VR/AR technologies and staff training for mining industry	2022
5	Framework for a closed-loop cooperative human Cyber-Physical System for the mining industry driven by VR and AR: MHCPs	2022
6	Simulation-based training and learning: A review on technology-enhanced education for the minerals industry	2022
7	Constructing a high-precision virtual scene of mining equipment and coal seam roof and floor using actual mining data	2022
8	Application of 3D scanning, computer simulations and virtual reality in the redesigning process of selected areas of underground transportation routes in coal mining industry	2021
9	Application of Virtual Reality Technology in Training of Substation in Coal Mining Area	2021
10	Load control using projected VR system of wallmounted buttons	2021
11	Floor water inrush analysis based on mechanical failure characters and microseismic monitoring	2021
12	Simulation System of Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment Maintenance Based on Virtual Reality Technology	2021
13	An Unsupervised Learning Methodology for Increasing Human Productivity via VR Training	2021
14	Scenario development for nuclear emergency decision deduction training platform for radiographers in developing countries (case study,Ghana)	2021
15	Research on Construction Method of Fully Mechanized Coal Mining Equipment Workspace Based on Virtual Reality	2020
16	Virtual simulation system of paste filling for green mining of metallic mine	2020
17	Virtual Reality System for Industrial Motor Maintenance Training	2020

18	A study on the deduction and diffusion of promising artificial intelligence technology for sustainable industrial development	2020
19	Dynamic Construction of Underground Mining Operations with Visualization in Virtual Reality	2020
20	Evaluating the use of virtual reality in work safety: A literature review	2020
21	Digital twins and modeling of the transporting-technological processes for on-line dispatch control in open pit mining	2020
22	The concept of digital twins for tech operator training simulator design for mining and processing industry	2020
23	Scenario development for nuclear emergency decision deduction training platform for radiographers in developing countries: Case study, Ghana	2020
24	METS VR: Mining Evacuation Training Simulator in Virtual Reality for Underground Mines	2020
25	Optimizing occupational safety through 3-d simulation and immersive virtual reality	2020
26	Towards sustainable mixed reality simulation for the mining industry	2019
27	Scene Building of Fully Mechanized Mining and Safety Training in Dongbaowei Coal Mine Based on VR Technology	2019
28	To enhance the impact of deep learning-based algorithms in determining the behavior of an individual based on communication on social media	2019
29	An approach for creative convergence among technologies with big data and triz	2019
30	Research and design of an integrated multi-service monitoring platform for mine safety	2019
31	Digitization of the mining industry. concept and modern geotechnology	2019
32	Performance comparison of user interface devices for controlling mining software in virtual reality environments	2019
33	Real-time Display Method for Mining Vehicle Simulation based on Virtual reality	2019
34	Sports Coaching in Impoverished Communities through the Use of Virtual Reality	2019

35	An evaluation framework for virtual reality safety training systems in the South African mining industry	2019
36	Analysis of the rock stratum in a mining area in China with virtual reality technology	2019
37	The impact of forensic laser scanning technology on incident investigations in the mining industry	2019
38	Training of it-personnel in the interior of “Digital economy”	2019
39	Virtual reality mine: A vision for digitalised mining engineering education	2019
40	An approach for drilling pattern simulation	2019
41	Virtual reality applications in the extractive industry—a short review	2019



## Κεφάλαιο 3ο: Ανάλυση έρευνας

### 3.1 Χρήση με σκοπό την ασφάλεια των εργαζομένων

Η φύση του εξορυκτικού κλάδου είναι τέτοια, ώστε πολλές φορές τα ατυχήματα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής μπορεί να αποβούν μοιραία για τους εργαζόμενους. Τα ογκώδη και βαριά μηχανήματα, οι εκατοντάδες τόνοι υλικού που μεταφέρονται καθημερινά στα πλαίσια μιας εξόρυξης, η δυσκολία ορατότητας-αναπνοής αναλόγως με τις συνθήκες εργασίας (σκόνη, εξόρυξη σε μεγάλο βάθος όπου ο φωτισμός δεν είναι ο κατάλληλος) κατατάσσουν τον εξορυκτικό κλάδο σε αρκετά επικίνδυνο. Είναι ζήτημα ζωτικής σημασίας οι χειριστές μηχανημάτων να έχουν καταρτιστεί και εκπαιδευτεί κατάλληλα, ώστε να γνωρίζουν και να χειρίζονται όσο το δυνατόν καλύτερα τα μηχανήματα.

Είτε προέρχεται από υπερκατανάλωση είτε από ελλιπείς κουλτούρες μάθησης, η έλλειψη τεχνογνωσίας των χειριστών μπορεί να είναι καταστροφική. Σε μια μελέτη σχετικά με την υπόγεια εξόρυξη μικρής κλίμακας στην Γκάνα, οι Bansah κ.ά. (2016) περιέγραψαν μια σειρά από αστοχίες στο έδαφος που είχαν ως αποτέλεσμα θανάτους, ενώ τα μη θανατηφόρα ατυχήματα δεν είχαν καν αναφερθεί στο κοινό. Οι αστοχίες του εδάφους θα μπορούσαν να αποδοθούν στην έλλειψη σχεδιασμού, στην άγνοια της φύσης και της ορυκτολογίας και στην ακατάλληλη επιλογή των μεθόδων εξόρυξης που προκλήθηκε από την έλλειψη τεχνικής εμπειρογνωμοσύνης των φορέων εκμετάλλευσης. Αντίστοιχα στην Ελλάδα, δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου έχουν συμβεί θανατηφόρα ατυχήματα σε ώρα εργασίας.

Η χρήση της τεχνολογίας VR για την εκπαίδευση σχετικών λειτουργιών μπορεί όχι μόνο να λύσει αποτελεσματικά το πρόβλημα του υψηλού κόστους εξοπλισμού και του κόστους συντήρησης στην πλήρως μηχανοποιημένη πρακτική εξόρυξης, αλλά και να δημιουργήσει μια πρακτική σκηνή, η οποία χαρακτηρίζεται από προσομοίωση και αλληλεπίδραση. Οι ανθρακωρύχοι μπορούν να προσομοιώσουν το καθημερινό περιβάλλον λειτουργίας και τα μέτρα αντίδρασης που λαμβάνονται μπροστά σε απροσδόκητα ατυχήματα, έτσι ώστε να μπορούν να συσσωρεύσουν εμπειρία, να μειώσουν αποτελεσματικά τα προβλήματα ασφάλειας στην πραγματική λειτουργία του ορυχείου στο μέλλον και να επιτύχουν διπλάσιο αποτέλεσμα με τη μισή προσπάθεια. Σε αυτόν τον τρισδιάστατο εικονικό κόσμο, οι εργαζόμενοι μπορούν να βελτιώσουν την ικανότητά τους μέσω της ελεύθερης λειτουργίας.

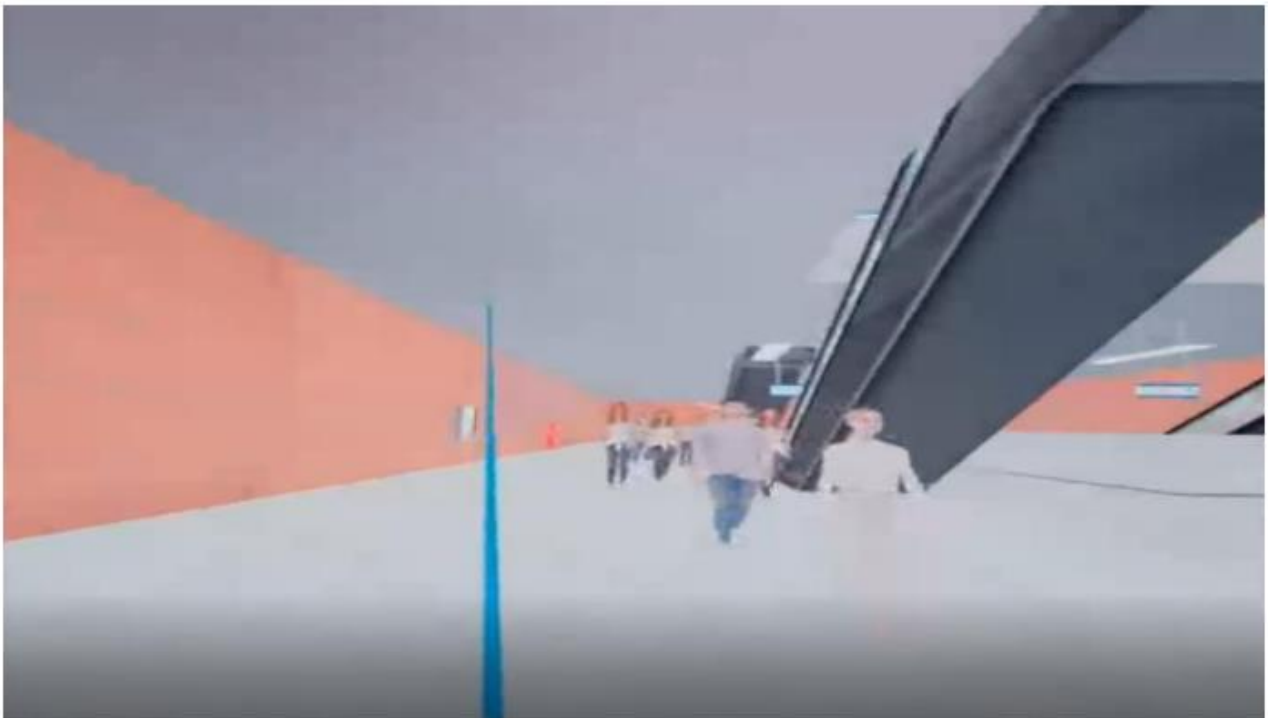
Αξίζει να σημειωθεί το παράδειγμα ενός μηχανήματος LHD το οποίο είναι γνωστό ότι έχει αρκετά κακό προφίλ ορατότητας το οποίο αποδίδεται σε διάφορους παράγοντες (σχεδιασμός, θέση, περιβάλλον). Σε μια τρισδιάστατη ανάλυση ορατότητας που μοντελοποιήθηκε με το λογισμικό Classic JACK, ο Eger και οι συνεργάτες του (2020) διαπίστωσαν ότι οι χειριστές πέντε μοντέλων LHD είχαν ορατότητα μεταξύ 20-55% εντός μιας περιοχής 470 m<sup>2</sup> box plot. Οι χειριστές των οχημάτων LHD κάθονται πλάγια προς την κατεύθυνση της κίνησης για να εξυπηρετήσουν την αμφίδρομη φύση του μηχανήματος. Αυτή η θέση καθίσματος έχει συσχετιστεί με μειωμένη οπτική επαφή (LOS), ιδίως στην πλευρά που βρίσκεται απέναντι από τον χειριστή και σε ύψος εδάφους 2 m ή λιγότερο. Ο Eger και οι συνεργάτες του εντόπισαν την μπροστινή δεξιά γωνία του LHD ως την περιοχή με την χειρότερη ορατότητα γύρω από το LHD, απαιτώντας από έναν πεζό ύψους 1,7 m να στέκεται πάνω από 4 m από τον κάδο του LHD για να τον βλέπει ο χειριστής. Η χρήση της εικονικής πραγματικότητας για την εκπαίδευση σε θέματα ασφάλειας έχει θεωρηθεί πλεονεκτική επειδή οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να αποκτήσουν επαναλαμβανόμενη έκθεση σε επικίνδυνα σενάρια χωρίς να υποβάλλονται σε αδικαιολόγητο κίνδυνο.

Σε μια πιλοτική μελέτη του Godwin και των συνεργατών του (2016), οι αρχάριοι συμμετέχοντες μπορούσαν να σχεδιάσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια μια πραγματική αναπαράσταση της περιορισμένης ορατότητας γύρω από ένα μηχάνημα εξόρυξης, αφού είχαν παρακολουθήσει ένα βίντεο VR από την οπτική γωνία του χειριστή. Σε εικονικά περιβάλλοντα, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να βυθιστούν σε επικίνδυνα σενάρια που διαφορετικά θα ήταν επίπονο ή αδύνατο να αναπαραχθούν στην πραγματική ζωή, απαιτώντας σημαντικό χρόνο, χρήμα, εξοπλισμό ή προσωπικό. Επιπλέον, η εκπαίδευση σε θέματα ασφάλειας με χρήση εικονικής πραγματικότητας έχει διερευνηθεί ως τρόπος διευκόλυνσης της βελτίωσης της ανίχνευσης κινδύνων μεταξύ των εκπαιδευόμενων με ορισμένες μελέτες να δείχνουν ευεργετικά αποτελέσματα (Gauthier S. , Leduc M. , Perfetto).

Σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο εκμάθησης, δεν είναι μόνο πιο διαισθητικός, αλλά και μη επικίνδυνος. Μπορεί να προσομοιώσει τους κινδύνους του υπόγειου ορυχείου, στο οποίο οι εργαζόμενοι αλληλοεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο και εκπαιδεύονται να αντιμετωπίζουν διάφορες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Το σύστημα VR διαθέτει όχι μόνο απλή λειτουργία και μηδενικό κίνδυνο, αλλά και εξάλειψη του κόστους του εξοπλισμού και της συντήρησης. Είναι πιο

αποδοτικό από την εκπαίδευση των ανθρακωρύχων σε καλά εξοπλισμένους χώρους εργασίας και μπορεί να επιτύχει σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα αποτελέσματα πειραματικής διαδικασίας που διεξήχθη στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας στη σχολή Μεταλλειολόγων-Μεταλλουργών Μηχανικών στο Ε.Μ.Πολυτεχνείο το 2020 με σκοπό να εξελίξει τη χρήση της VR, κατά την οποία 104 άτομα συνολικά (63 άνδρες και 41 γυναίκες) φορώντας εξοπλισμό VR κλήθηκαν να βγουν από μια σήραγγα του ΜΕΤΡΟ στην οποία υπήρχε πυρκαγιά (Δ. Δράγιου και Α.Ζαχαρή). Οι χρήστες έπρεπε να διασχίσουν όσο ταχύτερα τη διαδρομή από την αποβάθρα του μετρό μέχρι την έξοδο, ενώ παράλληλα υπήρχε καπνός και συνωστισμός από κόσμο, τα οποία προγραμματίστηκαν μέσα από το πρόγραμμα του VR. Η πειραματική διαδικασία ανέδειξε κάποιους κινδύνους που ενδεχομένως να υπάρξουν σε μια αντίστοιχου τύπου έκτακτη ανάγκη για εκκένωση, όπως για παράδειγμα η λειτουργία των ακυρωτικών μηχανημάτων στην είσοδο προς τις αποβάθρες.



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση του σταθμού και των εικονικών επιβατών στο VR (Δράγιου & Ζαχαρή, 2020)

Όπως επισημαίνετε και στη διπλωματική εργασία, η εικονική πραγματικότητα φαίνεται να αποτελεί το μέλλον στην έρευνα για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου ασφαλείας, σε συνδυασμό με προηγούμενα και δοκιμασμένα λογισμικά. Σε αντίθεση με τα μοντέλα προσομοίωσης που λαμβάνουν υπόψη τα δεδομένα του χώρου και τις συνθήκες της έκτακτης ανάγκης, όπως για παράδειγμα την εξέλιξη μιας φωτιάς, αλλά δεν λαμβάνουν υπόψη τη συμπεριφορά με ακρίβεια, τα μοντέλα VR δίνουν τη δυνατότητα περιήγησης στο χώρο. Έτσι, μέσω του πειράματος γίνεται προσπάθεια να αξιολογηθεί η πραγματική συμπεριφορά των ανθρώπων, δημιουργώντας ένα περιβάλλον που μοιάζει με πραγματικό σταθμό. Η προσπάθεια επικεντρώνεται στο πώς οι χρήστες θα κινηθούν ελεύθερα στο χώρο, αν λάβουν μόνο την πληροφορία για την πυρκαγιά, χωρίς όμως πολλές έξτρα σημάσεις πέρα από τις βασικές πινακίδες. Επιπλέον, όταν ζητήθηκε από τους χρήστες να αξιολογήσουν τον ρεαλισμό της διαδικασίας, αρκετοί ανέφεραν ότι ένοιωσαν άγχος και ακόμη και δυσφορία κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, γεγονός που υποδηλώνει ότι προσέγγισε τη ψυχολογική κατάσταση που θα επικρατούσε σε πραγματικές συνθήκες.

Αντίστοιχες διαδικασίες μπορούν να γίνουν και για χώρους υπόγειων εκμεταλλεύσεων, σιηράγγων, ακόμα και υπαίθριων εκμεταλλεύσεων, όπου οι εργαζόμενοι μπορούν να εκπαιδευθούν πάνω στις οδηγίες που πρέπει να ακολουθήσουν σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης (πυρκαγιά, σεισμός, συγκεκριμένη βλάβη μηχανήματος κλπ.). Με την κατάλληλη προετοιμασία αυτές οι εικονικές προσομοιώσεις μπορούν να γίνουν αρκετά πειστικές, ούτως ώστε να μην είναι σαν ένα απλό videogame, αλλά να δημιουργούν στον χρήστη σωματική και ψυχολογική “πίεση” σαν να βρισκόταν στον πραγματικό εργασιακό του χώρο.

### **3.2 χρήση για την εκπαίδευση εργαζομένων και φοιτητών**

Η Εικονική Πραγματικότητα (VR) επιτρέπει τη δημιουργία και αναπαραγωγή πολλών καταστάσεων και σεναρίων, όπως ένα εικονικό μουσείο, ένα εικονικό εργαστήριο ανατομίας, εκπαιδευτικούς χώρους, καθώς και την επίλυση προβλημάτων στον βιομηχανικό τομέα. Στο πλαίσιο της εξορυκτικής βιομηχανίας, τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνολογίας AV/VR είναι ότι επιτρέπει την εκπαίδευση σε ένα περιβάλλον κοντά στην πραγματικότητα, καθώς και την προσομοίωση εικονικών σεναρίων. Προφανώς, η εισαγωγή τεχνολογιών εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας σε εκπαιδευτικά προγράμματα θα απαιτήσει νέες μεθοδολογικές προσεγγίσεις που θα λαμβάνουν υπόψη το επίπεδο εκπαίδευσης των ειδικών, τα επιμέρους προσόντα τους (εγκαταστάτης, χειριστής, αποστολέας, διασώστης ναρκών, κ.λπ.), τον αριθμό των εκπαιδευομένων

και τον νέο ρόλο του εκπαιδευτή κ.λπ. Αξιολογώντας την εφαρμοσιμότητα των επιμέρους τεχνολογιών AR και VR, οι προγραμματιστές προσφέρουν επίσης μικτές λύσεις MR (Vavenkov, 2022).

Η εκπαίδευση χειριστών και συντηρητών εξελιγμένου εξοπλισμού σε προσομοιωτές όπως αυτή έχει εξελιχθεί έως τώρα, περιλαμβάνει:

- 1) τη διαδικασία συνεχούς θεωρητικής κατάρτισης
- 2) την εργασία σε προσομοιωτές όπου εξασκούνται πρακτικές καταστάσεις στους χώρους εργασίας
- 3) τον έλεγχο των γνώσεων, των δεξιοτήτων και των ικανοτήτων
- 4) εργασία με οδηγίες που βασίζονται σε λύσεις VR/AR
- 5) διόρθωση λαθών, ενίσχυση των σωστών αλγορίθμων δράσης

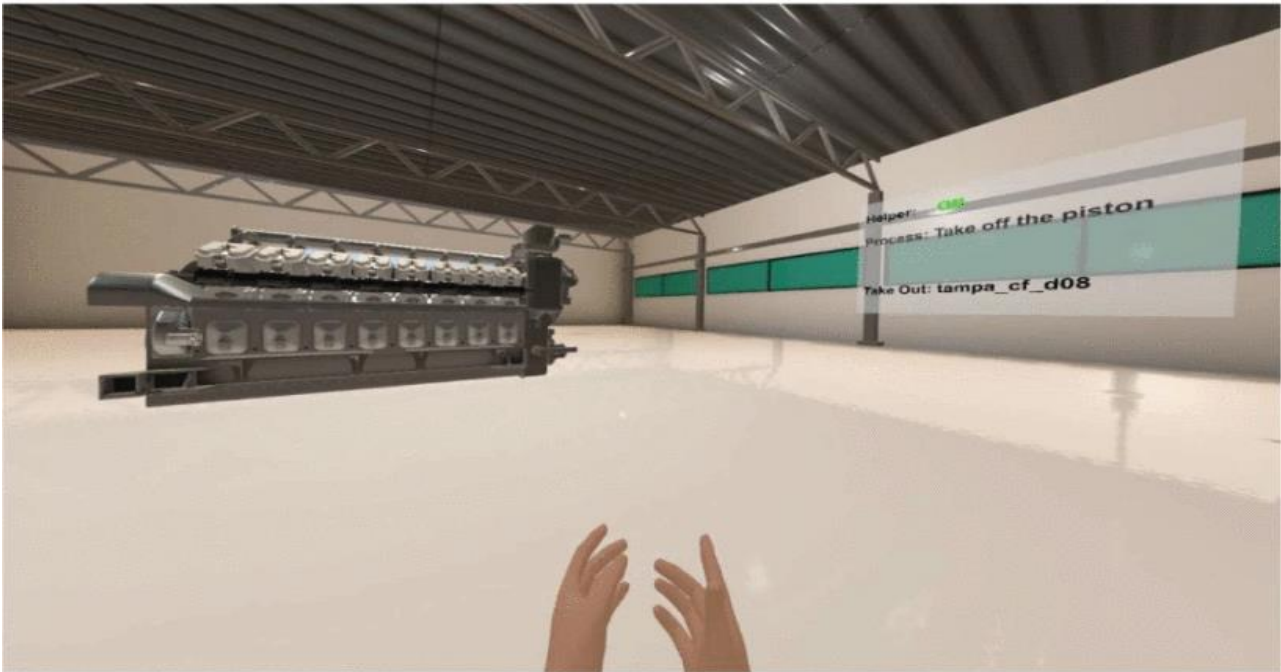
Προσεγγίσεις για την υλοποίηση σύνθετων VR/AR λύσεων στα κύρια εκπαιδευτικά προγράμματα για κατάρτιση ειδικών του κλάδου (πτυχία, ειδικοί και master) παρουσιάζονται με εντελώς διαφορετικό τρόπο. Η παγκόσμια πρακτική δείχνει ότι η καλύτερες λύσεις για τη διαμόρφωση και την ανάπτυξη των ικανοτήτων στον τομέα του περιβάλλοντος VR/AR υλοποιούνται από επιχειρήσεις εξόρυξης σε συνεργασία με πανεπιστήμια.

Ειδικότερα σε κλάδους όπου η χειρονακτική εργασία είναι καθημερινότητα για τον μελλοντικό απόφοιτο, είναι πολύ ουσιαστικό οι φοιτητές να έρθουν σε όσο μεγαλύτερη τριβή γίνεται με το εργασιακό αντικείμενο στο οποίο πρόκειται να εργασθούν. Η εκπαίδευση χειρισμού μηχανημάτων που συναντάμε στον εξορυκτικό κλάδο με την τεχνολογία του VR, είναι ένας άμεσος και πιο οικονομικός τρόπος (κοστίζει λιγότερο από μαζική μεταφορά σε μια μεταλλευτική εταιρεία και μπορεί η σχολή να τον παρέχει στο χώρο της) ώστε οι φοιτητές να εξασκηθούν πάνω στα μηχανήματα αυτά. Η αγορά του αντίστοιχου εξοπλισμού από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ή τη σχολή μας, μπορεί να ενισχύσει τη διαδραστικότητα του Προγράμματος Σπουδών και να το κάνει α) πιο ελκυστικό και β) πιο πρακτικό για τους φοιτητές (χωρίς αυτό να σημαίνει πως η VR τεχνολογία μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τη φυσική επαφή με το αντικείμενο που παρέχουν για παράδειγμα οι Πρακτικές Ασκήσεις).

Με αυτόν τον τρόπο οι απόφοιτοι θα είναι πιο κατάλληλα προετοιμασμένοι για την αγορά εργασίας, έχοντας μια παραπάνω εμπειρία όσον αφορά τον χειρισμό μηχανημάτων ή τα αντανακλαστικά που πρέπει να έχουν απέναντι σε ένα ενδεχόμενο πρόβλημα που μπορεί να συναντήσουν. Την ώρα που σύμφωνα με μελέτες του ΟΟΣΑ το 2019 οι απόφοιτοι χρησιμοποιούν περίπου το 10% όσων έχουν διδαχθεί στη σχολή τους, η προσθήκη της VR μπορεί σίγουρα να ενισχύσει τα προγράμματα σπουδών ώστε να θωρακίζουν τους αποφοίτους μακροπρόθεσμα και ουσιαστικά.

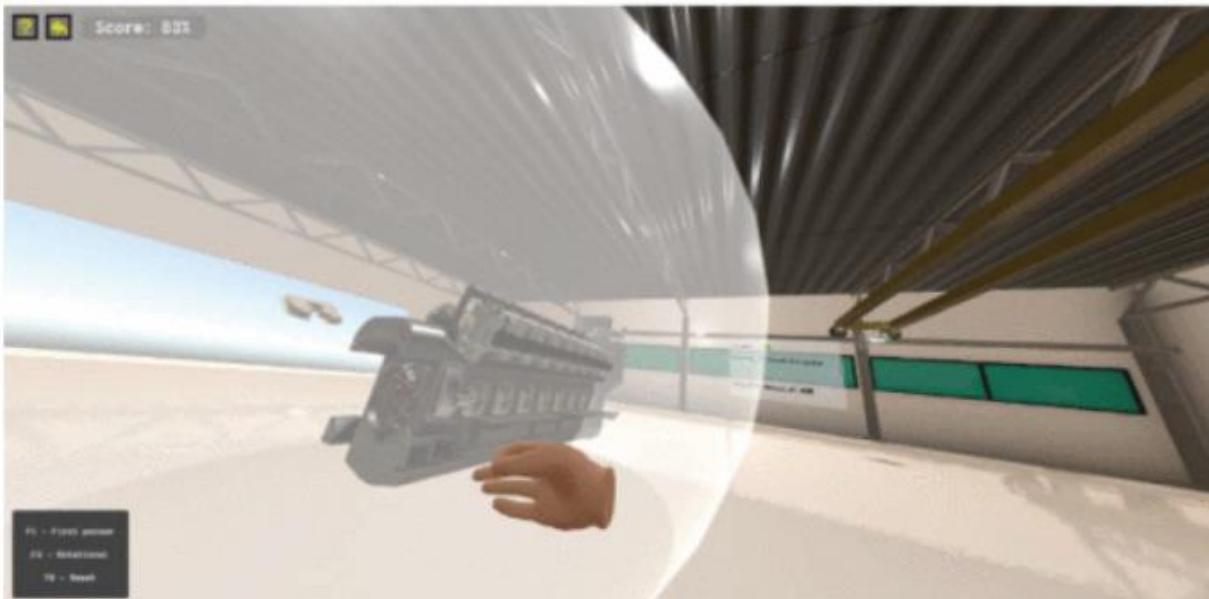
Εκτός από την εκπαίδευση πάνω στο χειρισμό των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στον εξορυκτικό κλάδο, η τεχνολογία VR μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη όσον αφορά τη συντήρηση και επισκευή των μηχανημάτων και των εξαρτημάτων τους (για παράδειγμα τους κινητήρες τους).

Ένα παράδειγμα προέρχεται από την Βραζιλιάνικη εταιρεία εξόρυξης, όπου δημιουργήθηκε ένας προσομοιωτής για την εκπαίδευση συντήρησης βιομηχανικού εξοπλισμού στην πλατφόρμα Unity, μέσω του Oculus Rift (VR set). Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος και τον αντίκτυπο στην αλυσίδα της εταιρείας, απαιτείται προληπτική συντήρηση για να μειώσει τα ατυχήματα και να ελαττώσει τη φθορά του κινητήρα. Συνεπώς, η εταιρεία εξόρυξης πραγματοποιεί προληπτική συντήρηση του κινητήρα, που είναι μια πολύπλοκη διαδικασία εξαιτίας του μεγάλου μήκους και βάρους του. Η εκπαίδευση του τεχνικού προσωπικού σε πραγματική ατμομηχανή είναι δύσκολη, δεδομένου ότι ο κινητήρας δεν είναι διαθέσιμος για εκπαίδευση. Συνεπώς, η εικονική πραγματικότητα προσφέρει μια οικονομική και αποτελεσματική λύση για την εκπαίδευση συντήρησης (Oliveira, et.al.2020).



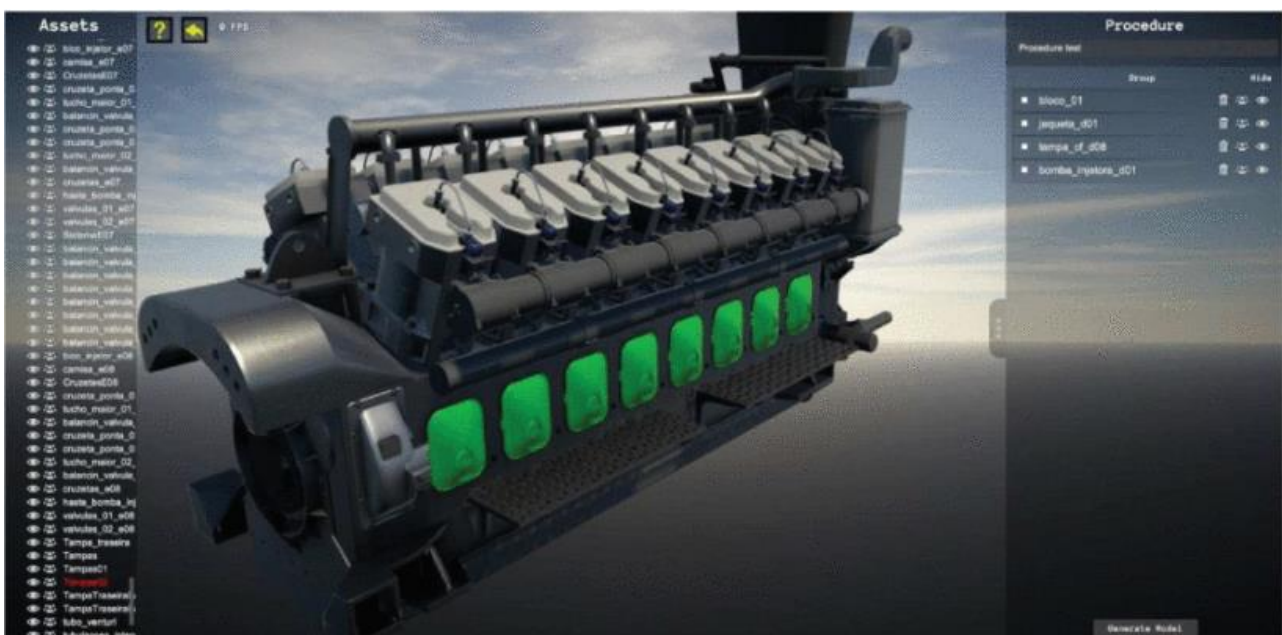
Εικόνα 3.2: Απεικόνιση VR σε πρώτο πρόσωπο (Oliveira et.al, 2020)

Το σύστημα καλύπτει τη ζήτηση για εκπαίδευση συντήρησης, με τη δυνατότητα προσωπικής καθοδήγησης από έναν επιβλέποντα ή έναν πιο έμπειρο υπεύθυνο της θέσης. Ο προσομοιωτής προσφέρει αρκετούς πόρους, συγκεκριμένα: αρχική οθόνη που παρουσιάζει το παιχνίδι και εισαγωγή δεδομένων από τον χρήστη, περιβάλλον για τη δημιουργία της διαδικασίας αποκατάστασης και οθόνη παιχνιδιού σε εικονική πραγματικότητα με στρατηγική βαθμολογίας. Το παιχνίδι είναι στο πρώτο πρόσωπο, ενώ συντονίζεται από έναν οδηγό. Διαθέτει απλή λειτουργία με λίγες εντολές και κανόνες, έτσι ώστε οποιοσδήποτε να μπορεί να συμμετάσχει, συμπεριλαμβανομένων ατόμων χωρίς εμπειρία σε βιντεοπαιχνίδια.



Εικόνα 3.3: Χειριστής μετακινεί ένα μέρος του κινητήρα (Oliveira et.al, 2020)

Η εικόνα 3.2 απεικονίζει την προοπτική σε πρώτο πρόσωπο, η εικόνα 3.3 αναπαριστά την κίνηση που κάνει ο χρήστης για να μετακινήσει ένα μέρος του κινητήρα, ενώ η εικόνα 3.4 είναι μια πιο κοντινή οπτική του κινητήρα και κάποιων επιλογών που διατίθενται. Είναι δυνατό να επιστραφεί στην αρχική οθόνη από όλες τις επόμενες οθόνες, καθώς και να αποκτήσει πρόσβαση σε οδηγίες που βοηθούν τον χρήστη να πλοηγηθεί μέσα από τις πιθανές διαδρομές.



Εικόνα 3.4: Εικόνα του κινητήρα (Oliveira et.al, 2020)



Ο Stone (Citation2012) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι τεχνολογίες μάθησης που βασίζονται σε παιχνίδια (gamification) έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν πολύ περισσότερες υποσχέσεις από τους προηγούμενους προγόνους τους VR. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να διδαχθούν μαθήματα με επίκεντρο τον άνθρωπο και τα τρισδιάστατα μέσα πρέπει να σχεδιάζονται με γνώμονα τους τελικούς χρήστες τους. Ως εκ τούτου, οι ανθρώπινοι παράγοντες είναι μια πτυχή που θα επηρεάσει τη χρηστικότητα, τη βιωσιμότητα και τη μακροπρόθεσμη συνάφεια των τεχνολογιών μαγνητικής τομογραφίας για εφαρμογές εξόρυξης.

Οι ανθρώπινοι παράγοντες αποτελούν σημαντικό εμπόδιο για την ενσωμάτωση των τεχνολογιών MR στο εργοτάξιο και δεν πρέπει να υποτιμώνται. Οι γνώσεις και τα σενάρια που εκτελούνται στο MR θα επιτρέψουν την πραγματοποίηση λαθών στο εικονικό περιβάλλον, ενώ παράλληλα θα παρατηρούν, θα αξιολογούν και θα διαχειρίζονται το πραγματικό περιβάλλον. Θα είναι δυνατή η ανάλυση ολόκληρου του κύκλου της εξόρυξης, από την εξερεύνηση του πράσινου πεδίου έως το τελικό κλείσιμο του ορυχείου, την αποκατάσταση και τη μεταφορά της γης στην αρχική της κατάσταση και χρήση. Η μαγνητική τομογραφία θα παρείχε στιγμιότυπα του τι είχε προγραμματιστεί, τι παραδόθηκε και θα βοηθούσε στον μετριάσμο τυχόν διαφορών ή παρεξηγήσεων.

Παράδειγμα αυτού είναι η εκπαίδευση προσομοιωμένη σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης όπου χρειάζεται άμεση εκκένωση του χώρου εργασίας. Το συμπέρασμα των εκπαιδευτών, βάσει των αποτελεσμάτων των εκπαιδευόμενων, ήταν πως εκπαίδευση βασισμένη στην VR με στρατηγικές gamification είναι μια νέα και υποσχόμενη προσέγγιση που εξερευνά νέα περιβάλλοντα μάθησης, προσφέρει ασφάλεια στην ανθρώπινη ζωή, μειώνει τα κόστη και αυξάνει την αποτελεσματικότητα της εκπαίδευσης (Grassini).

Ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η εφαρμογή διαδραστικών συστημάτων εκπαίδευσης VR προτείνεται ως καινοτόμος προσέγγιση για την ενίσχυση της εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας. Πολλοί παγκόσμιοι κατασκευαστές εξοπλισμού εξορυκτικών έχουν αναπτύξει προσομοιωτές για τον πιο προηγμένο εξοπλισμό τους. Η Sandvik και η Atlas Copco έχουν προσομοιωτές για τις δραστηριότητες των αντλιών, ενώ η Bucyrus International εισήγαγε προσομοίωση εκπαίδευσης για ηλεκτρικά ανασκαφείς (Chadwick, 2009). Η Caterpillar και η Volvo παρέχουν προσομοιωτές για τον

βαρύ εξοπλισμό τους, συμπεριλαμβανομένων των φορτωτών τροχών και των εκσκαφών. Αυτοί οι προσομοιωτές διαθέτουν λογισμικό υψηλής τεχνολογίας με προηγμένα γραφικά 3D για να αναπαράγουν τις λειτουργικές κινήσεις των πραγματικών μηχανημάτων (CAT, 2014; Oryx, 2014).

Ωστόσο, προκειμένου να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος τέτοιων συστημάτων εκπαίδευσης VR, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων. Συνεπώς, απαιτείται μια προσέγγιση που να αξιολογεί την καταλληλότητα και την αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας στο πλαίσιο της εκπαίδευσης για την ασφάλεια των ορυχείων. Η εικονική πραγματικότητα διαθέτει χαρακτηριστικά που είναι κατάλληλα για την εκπαίδευση για το περιβάλλον των ορυχείων και, ειδικότερα, για την αναγνώριση κινδύνων και τη συναφή διορθωτική δράση ασφαλείας. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά είναι: α) η δυνατότητα έκθεσης των εκπαιδευομένων σε προσομοιωμένες επικίνδυνες καταστάσεις χωρίς να τους θέτει σε πραγματικό κίνδυνο, β) η δυνατότητα παρουσίασης προσομοιωμένων επικίνδυνων καταστάσεων συχνότερα από ό,τι συναντώνται στον πραγματικό κόσμο, γ) η προσομοίωση καταστάσεων που δεν έχουν εμφανιστεί προηγουμένως, αλλά που θα μπορούσαν να συναντηθούν στο χώρο εργασίας και δ) η παρουσίαση των πιθανών συνεπειών των ενεργειών (Van Wyk et.al. 2019).

Τέτοιες προσομοιώσεις ανακατασκευής περιστατικών βοηθούν στην επισήμανση της σημασίας των ανεπιθύμητων ενεργειών και στην προώθηση μιας ισχυρής πολιτικής ασφαλείας. Επιτρέπουν στους εργαζομένους να κατανοήσουν πώς και γιατί συνέβη ένα περιστατικό, πώς θα μπορούσε να αποφευχθεί και πώς θα μπορούσαν να αποφευχθούν τραυματισμοί ή θάνατοι. Η προσομοίωση διαφόρων σεναρίων περιστατικών σε έναν υπολογιστικό οθόνη και η προβολή τους από πολλές γωνίες επιτρέπει στους ερευνητές και τους εργαζομένους να κατανοήσουν τα βαθύτερα αίτια ενός περιστατικού (STS3D, 2017).

Επιπλέον, η επένδυση στην εκπαίδευση εικονικής πραγματικότητας αποτελεί πλεονέκτημα, καθώς έχει χαμηλό κόστος υλοποίησης και απαιτεί λιγότερες ώρες εκπαίδευσης. Η εκπαίδευση αυτή λειτουργεί και με όρους «πρόληψης», ούτως ώστε οι εκπαιδευόμενοι να είναι εξοικειωμένοι με τις διαδικασίες που πρέπει να εκτελεστούν, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των ωρών εργασίας των εργαζομένων και των εκπαιδευτών και, κατά συνέπεια, οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος.

Αντίστοιχα δεδομένα μας δίνει και το RWTH Aachen University and TalTech University (Abdelrazeq et.al. , 2019) το οποίο ανέπτυξε το πρόγραμμα VR-mine το οποίο χρησιμοποιείται από φοιτητές. Η διδασκαλία με το VR-Mine γίνεται στα πλαίσια του διδασκαλίας ανάστροφης τάξης: οι φοιτητές κανονίζουν αυτόνομα ραντεβού στο εργαστήριο VR για να επισκεφθούν το VR-Mine. Κατά τη διάρκεια αυτών των συνεδριών, οι φοιτητές μπορούν να προχωρήσουν μέσα από συγκεκριμένα κεφάλαια βασισμένα στο πρόγραμμα μελέτης για να μελετήσουν τα σχετικά θέματα που θα αναπτυχθούν εκτενώς κατά τη διάρκεια της παρουσίας τους.

Για να επιτευχθούν οι επιθυμητοί εκπαιδευτικοί στόχοι για τους φοιτητές, οι εξηγήσεις ενσωματώνονται στο VR-Mine σε κατάλληλα σημεία, τα οποία μπορούν να ερωτηθούν μέσω ενός μενού ή να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια της πλοκής. Η πλοκή περιέχει διάφορους εκπαιδευτικούς τομείς και καθοδηγεί τους φοιτητές μέσα από θεματικά περιορισμένες ακολουθίες. Αυτο-δοκιμές υλοποιούνται σε κατάλληλα σημεία για να αποκαλύψουν οποιαδήποτε γνωστικά κενά μπορεί να υπάρχουν. Με αυτόν τον τρόπο, οι φοιτητές λαμβάνουν άμεσα ανατροφοδότηση σχετικά με την εκπαιδευτική τους επιτυχία. Ως τελικό στοιχείο, υλοποιείται ένα αναφορικό έργο για τον σημαντικότερο ορυκτολογικό όρο, όπου ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει βασικούς ορυκτολογικούς όρους. Οι φοιτητές μπορούν να καταγράψουν στιγμιότυπα στο VR-Mine και να προσθέσουν σχόλια σε αυτά, τα οποία αργότερα χρησιμοποιούνται ως βάση για συζητήσεις στις διαλέξεις. Αυτός ο κύκλος αυτο-μελέτης και παρουσίας επαναλαμβάνεται συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια του εξαμήνου.



Εικόνα 3.5: Εικόνα σε πρώτο πρόσωπο (Abdelrazeq et.al, 2019)

Σε ευρύτερο πλαίσιο, μελέτες που έχουν γίνει και για τη χρήση της VR σε χώρους εκπαίδευσης, δείχνουν πως είναι πάρα πολύ αποτελεσματική και βοηθάει σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό τους εκπαιδευόμενους να κατανοήσουν πληρέστερα το αντικείμενο με το οποίο ασχολούνται. Συγκεκριμένα με αριθμούς:

- Τέσσερις φορές ταχύτερα στην εκπαίδευση εικονικής πραγματικότητας από ό,τι στη συμβατική εκπαίδευση στην αίθουσα διδασκαλίας
- 275% πιο σίγουροι για τις δεξιότητες που αποκτούσαν με την εκπαίδευση VR
- 3,75 φορές περισσότερο συνδεδεμένοι συναισθηματικά με το περιεχόμενο που μαθαίνουν μέσω VR. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι άνθρωποι γενικά κατανοούν καλύτερα όταν υπάρχει συναισθηματική εμπλοκή
- 4 φορές πιο εστιασμένη από τη μάθηση μέσω ηλεκτρονικής μάθησης

Η εκπαίδευση VR είναι αποτελεσματική καθώς βυθίζει πλήρως τον εκπαιδευόμενο ή τον νέο εργαζόμενο στο περιβάλλον της εξόρυξης ή της εγκατάστασης και τον κάνει να εκτελεί τα ίδια

καθήκοντα που εκτελούνται στην πραγματική εγκατάσταση. Η μάθηση μέσω της πράξης έχει σημαντική επίδραση στη διατήρηση των πιο κρίσιμων δεξιοτήτων που απαιτούνται για την εργασία σε επικίνδυνες εγκαταστάσεις και απαιτητικά περιβάλλοντα. Ακόμα ένα θετικό της εκπαίδευσης μέσω VR είναι ότι είναι παιχνιδιοποιημένη και η εκπαίδευση μπορεί να γίνεται ξανά και ξανά μέχρι να επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα ικανοτήτων και παραγωγικότητας. Επιπλέον, αυτό γίνεται στην ασφάλεια ενός γραφείου και καθιστά το προσωπικό σχεδόν έτοιμο για τη βιομηχανία, ακόμη και πριν πατήσει το πόδι του στη μονάδα.

Η εκπαίδευση αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση προσομοιωτών εκπαίδευσης χειριστών εικονικής πραγματικότητας (VR-OTS) και προσομοιωτών εκπαίδευσης συντήρησης (VR-MTS), οι οποίοι αποτελούν τις βασικές εφαρμογές εκπαίδευσης εικονικής πραγματικότητας για τη μεταλλευτική βιομηχανία. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν στους επόπτες και τους εκπαιδευτές κατάρτισης να παρακολουθούν τη μάθηση, την απόδοση και να παρέχουν ακριβή ανατροφοδότηση στον εκπαιδευόμενο. Αυτή η εστιασμένη και στοχευμένη ανατροφοδότηση είναι αποτελεσματική και επίσης άμεση (N. Akbulut , A. Anani 2023).

Ακόμα ένα παράδειγμα εκπαίδευσης χειριστών βαριών μηχανημάτων έχουμε από πειραματική διαδικασία που διενεργήθηκε στα πλαίσια εκπαίδευσης του προσωπικού Βραζιλιάνικης εξορυκτικής εταιρείας (Sergio Viademonte t.al, 2021). Πειραματικά δεδομένα συλλέχθηκαν από 24 υγιείς έμπειρους λειτουργούς αρσενικού φύλου ( $36,7 \pm 6,8$  ετών) κατά τη διάρκεια των συνεδριών εκπαίδευσης. Η VR συσκευή είναι αντίγραφο ενός εκσκαφέα, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 2.6. Το περιβάλλον που παρέχει η VR επιτρέπει την αξιολόγηση της απόδοσης του λειτουργού και την ανάπτυξη τεχνικών δεξιοτήτων σε ασφαλείς και ελεγχόμενες συνθήκες. Αυτή η εργασία περιλάμβανε την εκτέλεση μιας ελεύθερης εξορυκτικής λειτουργίας με σκοπό την επίτευξη όσο το δυνατόν περισσότερης παραγωγικότητας. Οι αρχικές πειραματικές συνθήκες και το εικονικό περιβάλλον ήταν τα ίδια για όλους τους συμμετέχοντες, όπου ο λειτουργός ελέγχει τον εκσκαφέα με δύο μοχλούς ελέγχου (ίδιους με αυτούς του πραγματικού εξοπλισμού). Η απόδοση και η εξέλιξη κάθε λειτουργού καταγράφηκαν σε χιλιοστά του δευτερολέπτου και μετρήθηκαν με βάση 12 δείκτες. Κάθε δοκιμή διήρκεσε 60 λεπτά, πράγμα που επέτρεψε τον υπολογισμό της μέσης παραγωγικότητας τόσο σε τόνους ανά ώρα (τ/ώ) όσο και σε τόνους ανά δευτερόλεπτο (τ/δ) για κάθε υποκείμενο.



Εικόνα 3.6: Προσομοίωση του εκσκαφέα (Viademonte et.al, 2021)

Αυτή η μελέτη περιγράφει την εφαρμογή μιας μεθοδολογίας βασισμένης σε μη επιβλεπόμενη μηχανική μάθηση για τον συστατικό έλεγχο ενός συνόλου δεδομένων εκπαιδευτικών εγγραφών, περιλαμβάνοντας την παραγωγικότητα 24 χειριστών σε εξορυκτική δραστηριότητα. Στο πρώτο βήμα της εκπαίδευσης, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο μη επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης για τον συστατικό έλεγχο και τον συστατικό χαρακτηρισμό της παραγωγικής συμπεριφοράς των χειριστών εξόρυξης κατά τη διάρκεια των συνεδριών εκπαίδευσης σε εικονική πραγματικότητα. Στο δεύτερο βήμα, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο για να δημιουργηθούν νέες εκπαιδευτικές στρατηγικές βασισμένες σε δείκτες απόδοσης και δοκιμάστηκε η χρησιμότητα του μοντέλου σε ένα προσομοιωμένο πείραμα.

Βασισμένα στο προσομοιωμένο πείραμα, τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ένα πιθανή αύξηση της μέσης παραγωγικότητας για τους χειριστές που βρίσκονται κάτω από το

επιθυμητό επίπεδο παραγωγικότητας. Επίσης, οι χειριστές που βρίσκονται κοντά στον επιθυμητό μέσο όρο παραγωγικότητας χρειάζονται λιγότερες επεμβάσεις στην εκπαίδευση σε σύγκριση με εκείνους που βρίσκονται κάτω από αυτόν. Αυτό σημαίνει ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία επέτρεψε τη δημιουργία (σε προσομοίωση) εξατομικευμένων πρωτοκόλλων εκπαίδευσης σε εικονική πραγματικότητα. Τέλος, αυτές οι νέες βελτιώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε μικρότερους χρόνους εργασίας που σχετίζονται με την παραγωγή. Ως τελικό αποτέλεσμα, αυτές οι βελτιώσεις μπορούν πιθανώς να οδηγήσουν σε κέρδος για την επιχείρηση και να παρέχουν ένα ασφαλέστερο εργασιακό περιβάλλον.

Η μεθοδολογία που προτείνεται σε αυτή την έρευνα μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα σενάρια με ελάχιστη παρέμβαση λόγω της μη επιβλεπόμενης φύσης της. Η πρώτη συνεδρία εκπαίδευσης, που χρησιμοποιεί ένα κοινό εικονικό περιβάλλον για όλους τους λειτουργούς, δημιούργησε τα αρχικά δεδομένα και τις ατομικές στατιστικές. Αφού οριστεί ένα προφίλ για κάθε λειτουργό, μπορεί να σταλεί σε τροποποιημένες εκδόσεις του αρχικού σεναρίου που απαιτούν διαφορετικές ικανότητες για να εκπαιδευθούν πιο έντονα.

Εκτός από το χειρισμό μηχανημάτων όπως οι γερανοί, οι εκκαφεείς κ.α., η τεχνολογία VR μπορεί να βελτιώσει την εκπαίδευση και σε άλλους τομείς μια μεταλλευτικής δραστηριότητας, όπως για παράδειγμα τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Το επαγγελματικό επίπεδο των ηλεκτρολόγων στις περιοχές εξόρυξης άνθρακα επηρεάζει άμεσα την ασφαλή λειτουργία των συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας των ανθρακωρυχείων. Στη μελέτη του πάνω στο ζήτημα, ο Chuan (2021) σχεδίασε ένα εικονικό σύστημα εκπαίδευσης προσομοίωσης βασισμένο σε σχετικά πρότυπα και κανονισμούς. Το σύστημα περιλαμβάνει κυρίως πέντε ενότητες: έλεγχος περιαγωγής εξοπλισμού, αναγνώριση εξοπλισμού, προσομοίωση άσκησης, προσομοίωση βλάβης και αξιολόγηση γνώσεων. Μέσω της τεχνολογίας εικονικής πραγματικότητας, προσφέρει μια πιο ζωντανή, ρεαλιστική και αφοπλιστική εμπειρία στους ηλεκτρολόγους των ανθρακωρυχείων, αυξάνει τον ενθουσιασμό τους για τη μάθηση και επιτρέπει στους ηλεκτρολόγους να κατανοήσουν την εσωτερική δομή του εξοπλισμού και ολόκληρη τη διαδικασία συντήρησης σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Η εισαγωγή αυτού του συστήματος μπορεί να αλλάξει τον τρόπο εκπαίδευσης των ηλεκτρολόγων των ανθρακωρυχείων, να αντικαταστήσει το πραγματικό κέντρο εκπαίδευσης με λογισμικό και υλικό σύστημα, να παρέχει εγγύηση ασφάλειας για την εκπαίδευση των ηλεκτρολόγων των

ανθρακωρυχείων, να εξοικονομήσει το κόστος εκπαίδευσης στην ανθρακοβιομηχανία και να έχει καλύτερα οικονομικά οφέλη και πρακτικότητα. Ο κύριος ηλεκτρικός εξοπλισμός του υποσταθμού της περιοχής εξόρυξης περιλαμβάνει: εκρηκτικό διακόπτη υψηλής τάσης, κινητό υποσταθμό, μετασχηματιστή ξηρής τύπου, διακόπτη τροφοδοσίας χαμηλής τάσης, μαγνητικό εκκινητή και σύστημα συνολικής προστασίας φωτισμού, κ.λπ.



Εικόνα 3.7: Προσομοίωση ανθρακωρυχείου (Chuan, 2021)

Η 3D μοντελοποίηση και η ενσωμάτωσή της στον εξοπλισμό της VR περιλαμβάνει κυρίως τη μοντελοποίηση του ηλεκτρικού εξοπλισμού στους υποσταθμούς της περιοχής εξόρυξης, τη μοντελοποίηση του περιβάλλοντος των υποσταθμών και τη μοντελοποίηση των σηράγγων άνθρακα, κ.λπ. Το μοντέλο του ηλεκτρικού εξοπλισμού είναι ένα σημαντικό μοντέλο του συστήματος εκπαίδευσης. Λόγω της πολύπλοκης δομής του και των πολλών μερών του, απαιτεί λεπτομερή μοντελοποίηση. Μπορεί να απλοποιηθεί η μοντελοποίηση για ορισμένα μοντέλα που δεν απαιτούν λεπτομέρεια, όπως φράχτες, αφίσες, πυροσβεστήρες και αμμοκιβώτια πυροσβεστικών μέσων κ.α.



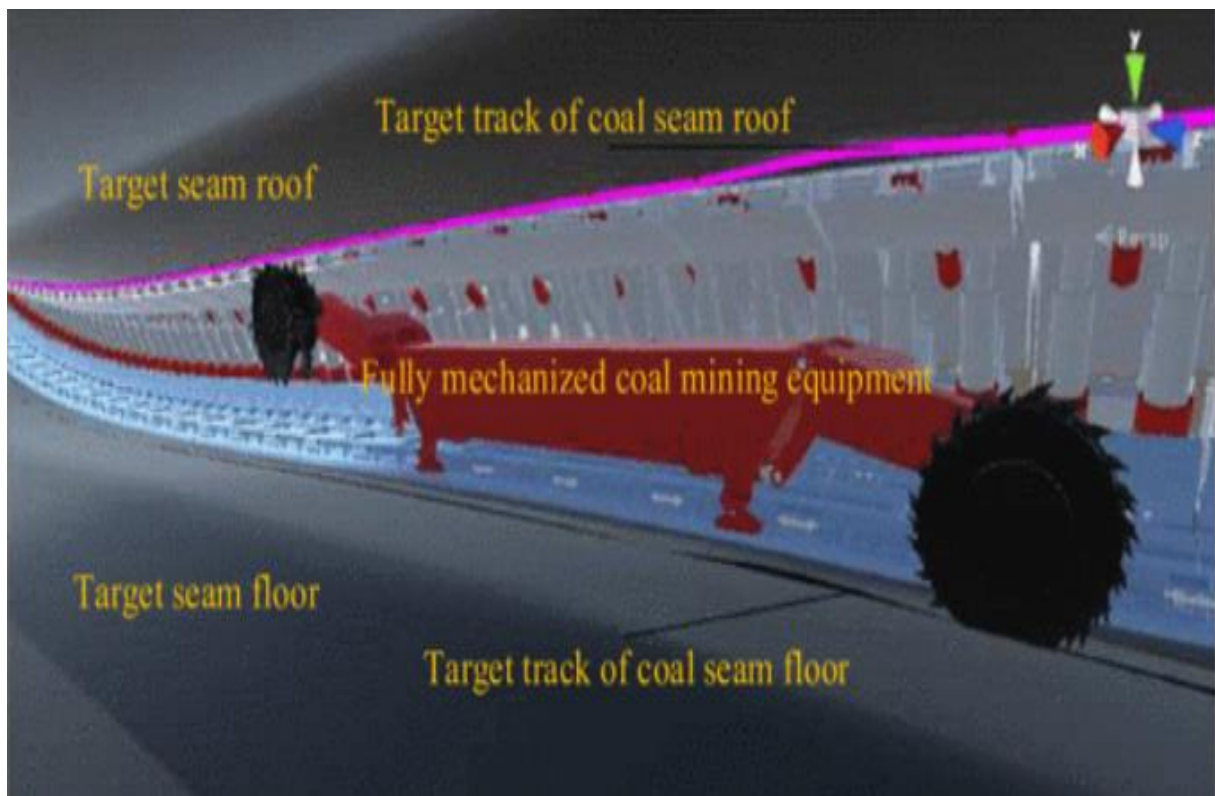
### 3.3 Χρήση της τεχνολογίας Virtual Reality στην παραγωγή

Με την εμφάνιση των μεγάλων δεδομένων του υπολογιστικού νέφους, του βιομηχανικού διαδικτύου, της εικονικής πραγματικότητας και άλλων νέων τεχνολογιών, η βιομηχανία εξόρυξης εξελίσσεται προς την κατεύθυνση του ψηφιακού ανθρακωρυχείου, του διαφανούς ανθρακωρυχείου και του έξυπνου ανθρακωρυχείου. Ο Wang (2022) πρότεινε το έξυπνο μοντέλο εξόρυξης και την τεχνική πορεία των ανθρακωρυχείων, προσφέροντας καθοδήγηση για την υλοποίηση του έξυπνου ανθρακωρυχείου. Ο Xie έχει δημιουργήσει το σύστημα λειτουργίας της διαφανούς πλήρως μηχανοποιημένης εξόρυξης άνθρακα, κίνητρο του βιομηχανικού διαδικτύου, και έχει αναλύσει τις κυριότερες τεχνολογίες, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη λύση για τη βιομηχανική εφαρμογή της διαφανούς εξόρυξης κάτω από το έδαφος.

Κατά τη διάρκεια της εξόρυξης άνθρακα, το φως κάτω από το έδαφος είναι σχετικά χαμηλό, η ορατότητα είναι περιορισμένη και υπάρχει πολύ υγρασία στην ατμόσφαιρα, πράγμα που οδηγεί σε ένα εξαιρετικά δυσμενές περιβάλλον εξόρυξης. Ο παραδοσιακός τρόπος "δεδομένων + βίντεο" είναι δύσκολος για τον ακριβή κατανόηση της πραγματικής κατάστασης της εξόρυξης σε πραγματικό χρόνο. Με την εφαρμογή της τεχνολογίας ψηφιακού διδύμου, της τεχνολογίας εικονικής πραγματικότητας και της τεχνολογίας μεγάλου εύρους ζώνης, η κατασκευή της παρακολούθησης VR μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά την ακρίβεια της παρακολούθησης. Ο Xie δημιούργησε έναν τρόπο παρακολούθησης τριών μηχανών και δυναμικού σχεδιασμού για το πλήρως μηχανοποιημένο πρόσωπο εξόρυξης άνθρακα υπό το περιβάλλον VR και πρότεινε έναν τρόπο σχεδίασης και λειτουργίας του συστήματος παραγωγής βασισμένου σε ψηφιακό δίδυμο, παρέχοντας τεχνολογία πυρήνα και υποστήριξη πλατφόρμας για έξυπνη ανεπανόρθωτη εξόρυξη.

Η βελτίωση της ταχύτητας μετάδοσης παρέχει επιστημονική υποστήριξη για την πραγματική χρήση εικονικού εξοπλισμού, η πραγματική μετάδοση πραγματικών δεδομένων στην εικονική πραγματικότητα οδηγεί τον εικονικό εξοπλισμό στην επίτευξη του συγχρονισμού κίνησης της εικονικής σκηνής και της πραγματικής σκηνής, και στη συνέχεια χρησιμοποιεί τεχνολογία VR, AR και MR για την αύξηση της αίσθησης εμπύθισης και πραγματικότητας, προκειμένου να επιτύχει τον σκοπό χρήσης της τεχνολογίας εικονικής πραγματικότητας για την παρακολούθηση της πραγματικής σκηνής σε πραγματικό χρόνο.

Ως ένας ισχυρός κινητήρας εικονικής πραγματικότητας, το Unity3d μπορεί να δημιουργήσει ένα εικονικό πλήρως μηχανοποιημένο πρόσωπο εξόρυξης άνθρακα που είναι πλήρως συμβατό με την πραγματική σκηνή στο εικονικό περιβάλλον. Αυτή η εργασία λαμβάνει τον εξοπλισμό εξόρυξης άνθρακα που ανήκει στο εργαστήριο ως πρωτότυπο (κοπτικό MGTY250 / 600, προωθητικός μεταφορέας SGZ600 / 630 και υδραυλική υποστήριξη ZZ4000 / 18 / 38). Το ίδιο εικονικό μοντέλο εξοπλισμού κατασκευάζεται στο λογισμικό 3D μοντελοποίησης, και στη συνέχεια γίνεται η ρύθμιση μονάδων και η μετατροπή του μεσαίου μορφολογικού σχήματος μέσω του ενδιάμεσου λογισμικού, και το εικονικό μοντέλο εισάγεται στον κινητήρα εικονικής πραγματικότητας Unity3d. Η πραγματική επαφή μεταξύ του πλήρως μηχανοποιημένου εξοπλισμού εξόρυξης άνθρακα και του 3D γεωλογικού μοντέλου πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τεχνολογία φυσικής μηχανής και σωματιδίων σύγκρουσης. Με τη βελτιστοποίηση του πλήρως μηχανοποιημένου εξοπλισμού εξόρυξης άνθρακα και του 3D γεωλογικού μοντέλου, δημιουργείται το εικονικό πλήρως μηχανοποιημένο προφίλ εξόρυξης άνθρακα στο εικονικό περιβάλλον. Το εικονικό πλήρως μηχανοποιημένο πρόσωπο εξόρυξης άνθρακα φαίνεται στην εικόνα 3.8.



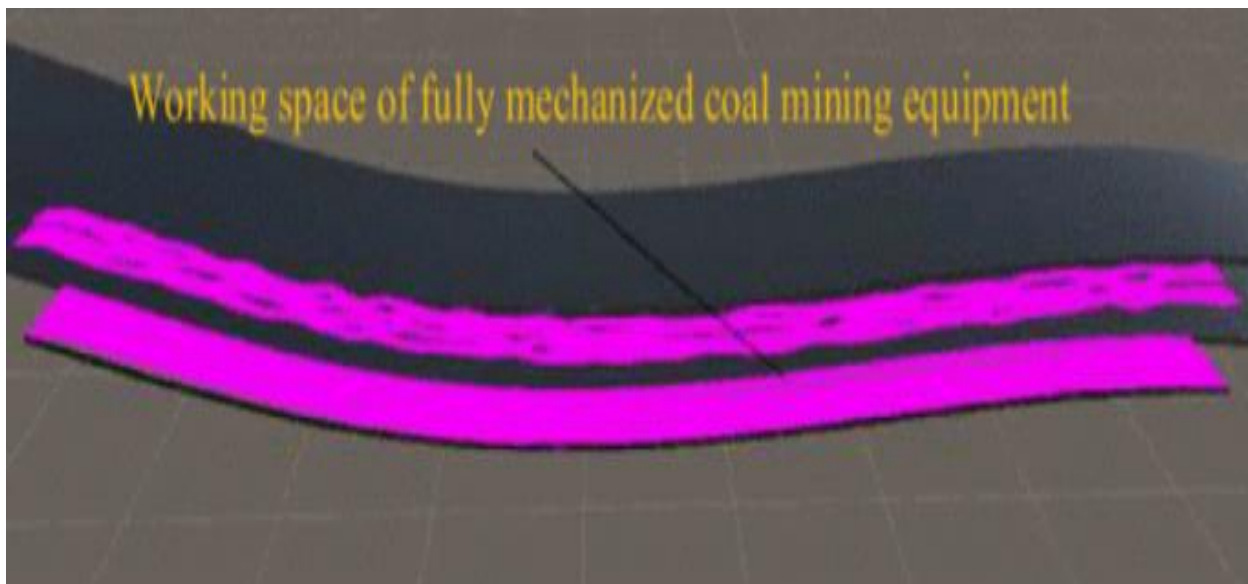
Εικόνα 3.8: Εικονική πλήρως μηχανοποιημένη εξόρυξη άνθρακα (Wang & Xie, 2022)

Το υπάρχον εικονικό πλήρως μηχανοποιημένο προφίλ εξόρυξης άνθρακα είναι κατάλληλο μόνο για ιδανικά επίπεδα και δυσκολεύει την προσομοίωση της πολύπλοκης κατάστασης του πλήρως

μηχανοποιημένου εξοπλισμού εξόρυξης άνθρακα στην πραγματική διαδικασία εξόρυξης άνθρακα. Αυτή η μέθοδος μπορεί να καθιστά τον εικονικό εξοπλισμό εξόρυξης άνθρακα να έχει χαρακτηριστικά βάρους και να προσαρμόζεται αυτόματα σε πολύπλοκο έδαφος. Με αυτό τον τρόπο, δημιουργείται ένα εικονικό πλήρως μηχανοποιημένο πρόσωπο εξόρυξης άνθρακα που ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματική κατάσταση. Η διαδρομή κοπής του κάτω τύμπανου του κοπτικού καθορίζει την οριζοντιότητα του πατώματος του ανθρακωρυχείου, ενώ ο τύπος του πατώματος καθορίζει τον τύπο του προωθητικού μεταφορέα. Κατά την πραγματική λειτουργία, το κοπτικό χρησιμοποιεί τα παπούτσια περπατήματος και τα παπούτσια καθοδήγησης για να περπατήσει πάνω στον προωθητικό μεταφορέα, έτσι η στάση και η θέση του προωθητικού μεταφορέα καθορίζουν την διαδρομή περπατήματος του κοπτικού. Η διαδρομή κοπής του μπροστινού τύμπανου του κοπτικού καθορίζει τη στήριξη και τον χώρο των υδραυλικών στηριγμάτων. Η κατασκευή του προωθητικού μεταφορέα και της ομάδας υδραυλικής στήριξης μπορεί να παρακολουθεί τη θέση και τη στάση του προωθητικού μεταφορέα και της ομάδας υδραυλικής στήριξης σε πραγματικό χρόνο, κάτι που μπορεί να λειτουργήσει ως πρόληψη.

Στον κινητήρα εικονικής πραγματικότητας Unity3d, η διαδρομή του κέντρου του κοπτικού καταγράφεται σε πραγματικό χρόνο και αποθηκεύεται σε αρχείο XML. Όλα τα δεδομένα προστίθενται στην ακτίνα του τύμπανου του κοπτικού για να πραγματοποιηθεί η πραγματική διαδρομή κοπής του κοπτικού. Όλα τα σημεία δεδομένων συνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το στοιχείο Line Render, σχηματίζοντας έτσι τη διαδρομή κοπής του κοπτικού, και στη συνέχεια χρησιμοποιείται η προγραμματισμός σε C# για να πραγματοποιηθεί η δημιουργία δυναμικής οροφής και δαπέδου σε έναν εργασιακό κύκλο. Μετά τον εργασιακό κύκλο του κοπτικού, η δυναμική οροφή και το δάπεδο σε αυτόν τον κύκλο συνδυάζονται με τη δυναμική οροφή και το δάπεδο στον επόμενο εργασιακό κύκλο, και ούτω καθεξής.

Χρησιμοποιώντας αυτήν τη μέθοδο, μπορεί να δημιουργηθεί ο εργασιακός χώρος σε πραγματικό χρόνο ενός πραγματικού εξοπλισμού εξόρυξης άνθρακα βάσει της διαδρομής κοπής του κοπτικού. Χρησιμοποιώντας την εικονική μέθοδο προσομοίωσης, μετά από πολλούς κύκλους στο πλήρως μηχανοποιημένο πρόσωπο εξόρυξης άνθρακα, η οροφή και το δάπεδο του δυναμικού στρώματος άνθρακα συνδέονται σε σειρά, προκειμένου να δημιουργηθεί ο εργασιακός χώρος του πλήρους εξοπλισμού εξόρυξης άνθρακα. Ο εργασιακός χώρος της πολλαπλής κοπής κύκλου του πλήρως μηχανοποιημένου εξοπλισμού εξόρυξης άνθρακα φαίνεται στην εικόνα 3.9.



Εικόνα 3.9: Χώρος εργασίας του πλήρως μηχανοποιημένου εξοπλισμού εξόρυξης άνθρακα (Wang & Xie , 2022)

Ο χώρος εργασίας του εξοπλισμού εξόρυξης άνθρακα αντικατοπτρίζει την ιστορική διαδρομή κοπής του ψαλιδιού, η οποία είναι η πραγματική ψηφιακή οθόνη της διαδρομής κοπής του ψαλιδιού. Σύμφωνα με τη διαδρομή κοπής του ψαλιδιστικού μηχανήματος, κατασκευάζεται σε πραγματικό χρόνο ένα δυναμικό τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο. Η μελέτη των Wang & Xie παρέχει μια καλή βάση για την έρευνα της μεθόδου προώθησης της πλήρως μηχανοποιημένης μετώπου εξόρυξης άνθρακα σε εικονικό περιβάλλον και μια θεωρητική βάση για την υλοποίηση της παρακολούθησης VR της πλήρως μηχανοποιημένης μετώπου εξόρυξης άνθρακα.

Στον τομέα της εξόρυξης, ένα άρθρο (Grabowski et.al., 2015), έδειξε ελπιδοφόρα αποτελέσματα σχετικά με την τεχνολογία, με τους ανθρακωρύχους να αναφέρουν ότι η εκπαίδευση ήταν χρήσιμη και είχε θετική επίδραση στην εργασία τους για μεγάλο χρονικό διάστημα (τρεις μήνες). Οι συγγραφείς συνέστησαν στους ιδιοκτήτες των εκπαιδευτικών εγκαταστάσεων να συνεργαστούν με τις εταιρείες εξόρυξης για την εισαγωγή της εκπαίδευσης VR ως μέρος της βασικής εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας για τους νεότερους εργοδότες. Οι Cardoso κ.ά. 2017 ανέφεραν ότι η χρήση της εικονικής πραγματικότητας στο πείραμά τους μείωσε τόσο τον χρόνο όσο και το κόστος για την προσομοίωση, την εκπαίδευση και τον έλεγχο υποσταθμών της ΔΕΗ. Στον τομέα της ενέργειας, έχουν καταβληθεί περαιτέρω προσπάθειες για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της κατάρτισης σε θέματα ασφάλειας με βάση την εικονική πραγματικότητα. Οι Kozlak κ.ά. (2014)

δοκίμασαν ένα σύστημα βασισμένο σε VR που επικεντρώθηκε στη λειτουργία ενός μηχανήματος για εξέδρες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν τη χρησιμότητα της εκπαίδευσης VR και της αυξημένης αίσθησης ρεαλισμού που μπορεί να προσφέρει αυτή η μέθοδος οπτικοποίησης.

Η χρήση προσομοιωτών VR για σκοπούς κατάρτισης έχει επίσης διερευνηθεί ευρέως στον τομέα της χημικής βιομηχανίας. Η ευρεία χρήση της εκπαίδευσης εικονικής πραγματικότητας για την ασφάλεια της εργασίας σε αυτές τις βιομηχανίες μπορεί να σχετίζεται με τον υψηλό εγγενή κίνδυνο στον οποίο εκτίθενται οι χειριστές όταν εργάζονται με εύφλεκτα και υπό πίεση χημικά προϊόντα ή με βαριά μηχανήματα κατασκευών. Τα περισσότερα από τα άρθρα που εξετάστηκαν ανέφεραν ότι η εκπαίδευση εικονικής πραγματικότητας μπορεί κατά κάποιον τρόπο να βοηθήσει τους ανθρώπους να προετοιμαστούν για σενάρια έκτακτης ανάγκης στην πραγματική ζωή. Επιπλέον, έχει υποστηριχθεί ότι η χρήση της εικονικής πραγματικότητας στο εργασιακό περιβάλλον δεν θα βελτιώσει μόνο τη συμπεριφορά των εργαζομένων, αυξάνοντας την επίγνωση των κινδύνων κατά τη διάρκεια της πραγματικής τους εργασίας, αλλά θα μπορούσε επίσης να επηρεάσει τις συνήθειες συμπεριφοράς τους με ασυνείδητο τρόπο και, ως εκ τούτου, να επηρεάσει την κουλτούρα ασφάλειας (Rebelo et al. 2018).

Η Simulated Training Solutions, η οποία είναι μια νοτιοαφρικανική εταιρεία, δημιούργησε τον πρώτο τοίχο έκρηξης VR το 2016. Αυτός ο τοίχος έκρηξης VR εγκαταστάθηκε στη Ζάμπια στα ορυχεία χαλκού Morani. Από τότε που εγκαταστάθηκε αυτός ο πρώτος τοίχος, υπήρξαν άλλοι δύο που εγκαταστάθηκαν σε τοποθεσίες στη Νότια Αφρική και υπάρχει ένας τρίτος που δημιουργείται. Αυτή η εκπαιδευτική συσκευή επιτρέπει στους εκπαιδευόμενους να εξασκούν τις δεξιότητές τους. Ενώ κάθονται σε μια σκοτεινή αίθουσα εκπαίδευσης, οι χρήστες βλέπουν έναν βράχο που προβάλλεται σε έναν μεγάλο διαδραστικό καμβά. Ένα ηλεκτρονικό σπρέι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επισημανθούν οι μετρημένες οπές ανατίναξης. Μόλις σημειωθούν οι οπές έκρηξης, ο εκπαιδευόμενος θα μπορεί στη συνέχεια να εξασκηθεί στην πυροδότηση των εκρηκτικών υλών με τη σωστή σειρά. Καθώς το κάνει αυτό, μπορεί να παρακολουθεί για να δει πώς αντιδρούν και θρυμματίζονται οι βράχοι. Τυχόν λάθη που γίνονται επισημαίνονται μέσω των σημάνσεων (από site VR Vision Group).

Αυτοί οι εικονικοί τοίχοι είναι μια πολύ κοντινή αναπαράσταση αυτού που θα αντιμετωπίσουν οι

ανθρακωρύχοι όταν εργάζονται στον πραγματικό κόσμο. Αυτό σημαίνει ότι η εικονική τεχνολογία παρέχει εξαιρετικά αποτελεσματική επαγγελματική εκπαίδευση για τους ανθρακωρύχους. Στο παρελθόν οι ασκήσεις στον μαυροπίνακα και τα βίντεο χρησιμοποιούνταν για την εκπαίδευση και αυτές οι μέθοδοι απλά δεν είναι τόσο αποτελεσματικές όσο ο εικονικός τοίχος.

Όταν η εικονική τεχνολογία χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση των εργαζομένων, αυτοί βγαίνουν από την εκπαίδευση πιο προετοιμασμένοι. Όταν οι εργαζόμενοι είναι καλά εκπαιδευμένοι, αυτό μεταφράζεται σε περισσότερη ασφάλεια για τις ζωές των ίδιων, καθώς και σε εξοικονόμηση πόρων για τους διαχειριστές των ορυχείων, καθώς κάθε έκρηξη που πάει στραβά μπορεί να οδηγήσει σε κόστος εργασίας, κόστος καθαρισμού και καθυστέρηση της παραγωγής.

Στην ενεργειακή βιομηχανία, η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας έχει τεράστιες προοπτικές εφαρμογής. Διάφορα χωρικά αντικείμενα που είναι κοινά στην παραγωγή άνθρακα, συμπεριλαμβανομένων του στρώματος, των γεωτρήσεων, των κτιρίων της βιομηχανικής πλατείας επιφάνειας, των υπόγειων σηράγγων, των δωματίων και του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού, μπορούν να ενσωματωθούν την τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας (Meng, 2021). Η χρήση της τεχνολογίας VR για τη δημιουργία ενός εικονικού συστήματος ορυχείου έχει μεγάλη σημασία για την κατασκευή ψηφιακών ορυχείων. Με βάση την κατάσταση ανάπτυξης του εικονικού συστήματος ορυχείου, ξεκινώντας από την παραγωγή και την εφαρμογή των επιχειρήσεων ορυχείων άνθρακα, αναπτύσσεται μια εικονική πλατφόρμα λογισμικού για ορυχείο χρησιμοποιώντας την τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας για την προσομοίωση διαχείρισης και παρακολούθησης του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού, το οποίο προσφέρει τα εξής οφέλη:

1. Μπορεί να είναι ευανάγνωστο. Μπορεί να εκφράσει ακριβώς την επιφανειακή δομή και τη δομή του εσωτερικού χώρου και την κατανομή του εξοπλισμού στο εσωτερικό των υπογείων σπηλαίων.
2. Χωρίς να κατεβαίνουν στο ενδιαφερόμενο σημείο, οι διευθυντικοί και τεχνικοί υπάλληλοι μπορούν να λάβουν τις πιο πρόσφατες πληροφορίες σχετικά με τον υπόγειο ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό εγκαίρως και ευανάγνωστα για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων.
3. Στα ορυχεία, μπορεί να παίξει αποτελεσματικό ρόλο στην παραγωγή, τον σχεδιασμό εξόρυξης και την εκπαίδευση του προσωπικού ασφαλείας.

Μια πρακτική εφαρμογή του, είναι στους ηλεκτρικούς διακόπτες (Meng, 2021): Σε βιομηχανίες όπως οι πρατήρια αερίων, ακόμα και ένα μικρό σπύρτο μπορεί να προκαλέσει τεράστιες ζημιές. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, εφαρμόστηκε η έννοια της εικονικής πραγματικότητας για να προβάλλεται κουμπιά που τοποθετούνται στον τοίχο και λειτουργούν όπως ο διακόπτης. Σήμερα, η σχεδίαση και η τοποθεσία των διακοπών αποτελούν επίσης σημαντικούς παράγοντες.

## Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

### 4.1 Έτος δημοσίευσης, πεδίο αναφοράς και πεδίο εφαρμογής

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1 (α), δεκαέξι (16) δημοσιεύσεις (39%) δημοσιεύτηκαν το 2019, έντεκα (11) δημοσιεύσεις (26.9%) το 2020, εφτά (7) δημοσιεύσεις (17%) το 2021, πέντε (5) δημοσιεύσεις (12.2%) το 2022 και 2 (2) δημοσιεύσεις (4.9%) το 2023.

Επιπλέον, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 (β), η πλειονότητα των δημοσιεύσεων έχει ως πεδίο αναφοράς την εκπαίδευση του προσωπικού που εργάζεται σε μια επιχείρηση, ή και των φοιτητών που σπουδάζουν σε αντίστοιχες σχολές (26.9%), ενώ λιγότερες δημοσιεύσεις επικεντρώνονται καθαρά σε ζητήματα ασφάλειας (12.2%) ή ζητήματα που αφορούν αμιγώς την ενίσχυση της παραγωγής (17%).

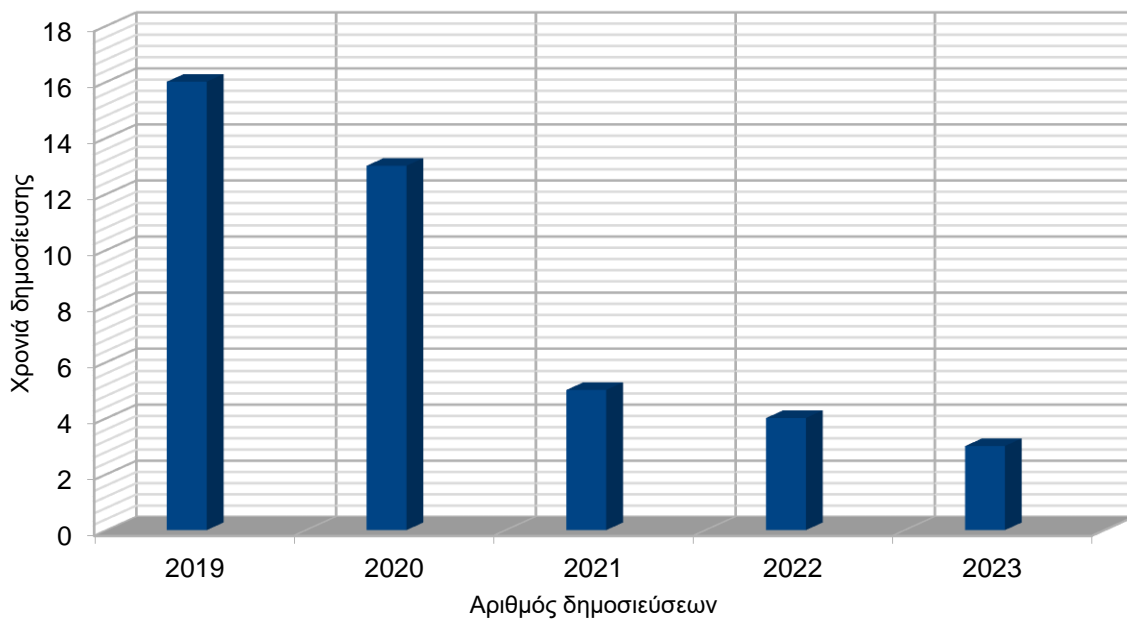
Οι υπόλοιπες δημοσιεύσεις (43.9%) δεν επικεντρώνονται τόσο μονοθεματικά σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες και είτε αποτελούν ένα συνδυασμό χρήσης της VR για εκπαίδευση και ασφάλεια των εργαζομένων, είτε περιγράφουν με μια συνολικότερη εποπτεία την κατάσταση του μεταλλευτικού κλάδου σε σχέση με την VR.

Από αυτές τις δημοσιεύσεις, οι έντεκα (11) αναφέρονται σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις (26.9%), οι επτά (7) αναφέρονται σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις (17%), ενώ οι υπόλοιπες εικοσιτρείς (23) ενέχουν και τις δύο αυτές περιπτώσεις (56.1%) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 (γ).

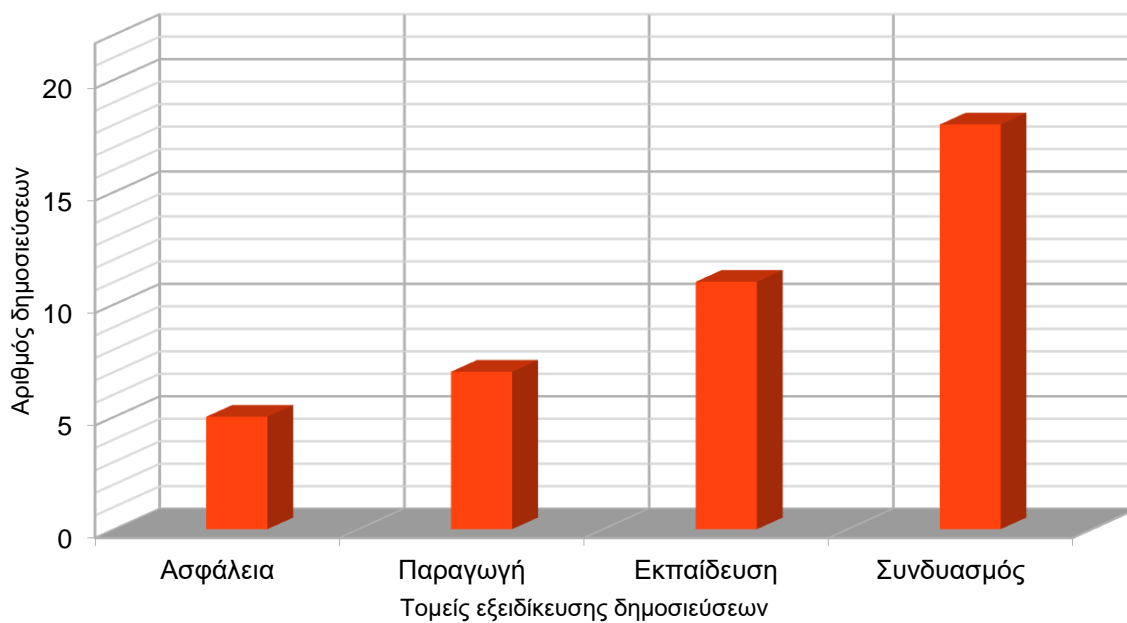
Η χρήση της VR στα υπόγειες εκμεταλλεύσεις έχει να κάνει τόσο με το κομμάτι εκπαίδευσης-ασφάλειας, όσο και με το κομμάτι της παραγωγής. Η αυτοματοποίηση κάποιων λειτουργιών και η χρήση μη επανδρωμένων μηχανημάτων που ελέγχονται μέσω εικονικού εξοπλισμού, παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα και δεν εκθέτουν τους εργαζόμενους σε τυχόν κινδύνους.

Στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, η χρήση της VR εφαρμόζεται κυρίως στην εκπαίδευση και ασφάλεια των εργαζομένων, καθώς δεν υπάρχουν προς το παρόν μη επανδρωμένα μηχανήματα στα οποία μπορεί να ενσωματωθεί η τεχνολογία. Έτσι, χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση για τη χρήση των μηχανημάτων, ή για κάποια νέα μέθοδο εξόρυξης με νέο εξοπλισμό ή διαφορετικό τρόπο.

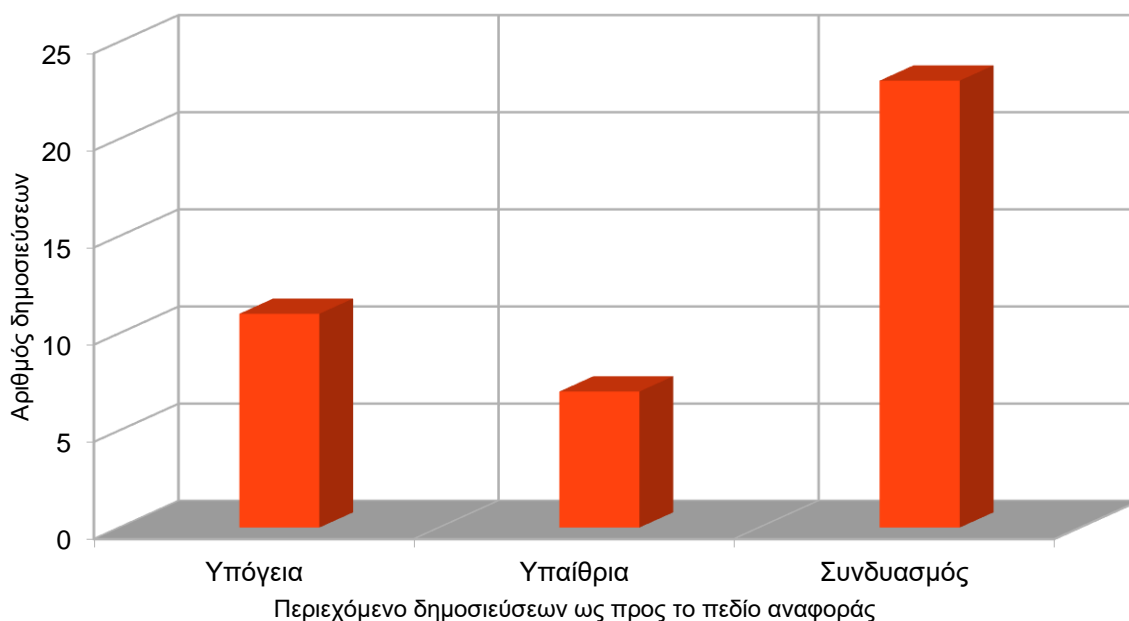




**Σχήμα 4.1 (α) :** Κατανομή δημοσιεύσεων ανά έτος δημοσίευσης



**Σχήμα 4.1 (β) :** Κατανομή δημοσιεύσεων ανά θεματολογία

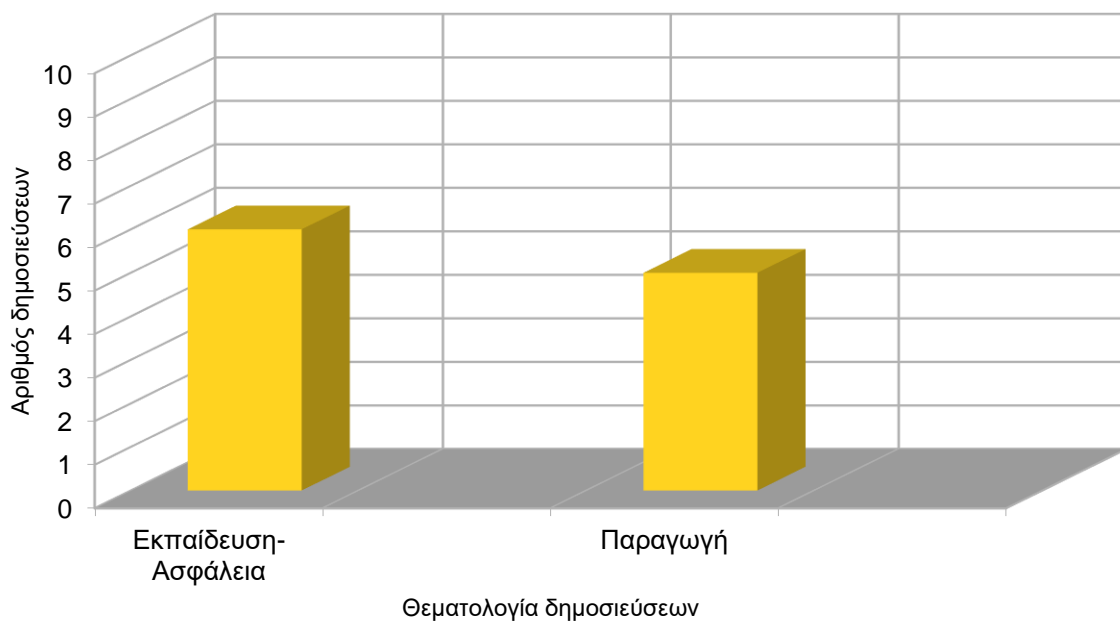


**Σχήμα 4.1 (γ) :** Κατανομή δημοσιεύσεων ανά πεδίο εφαρμογής

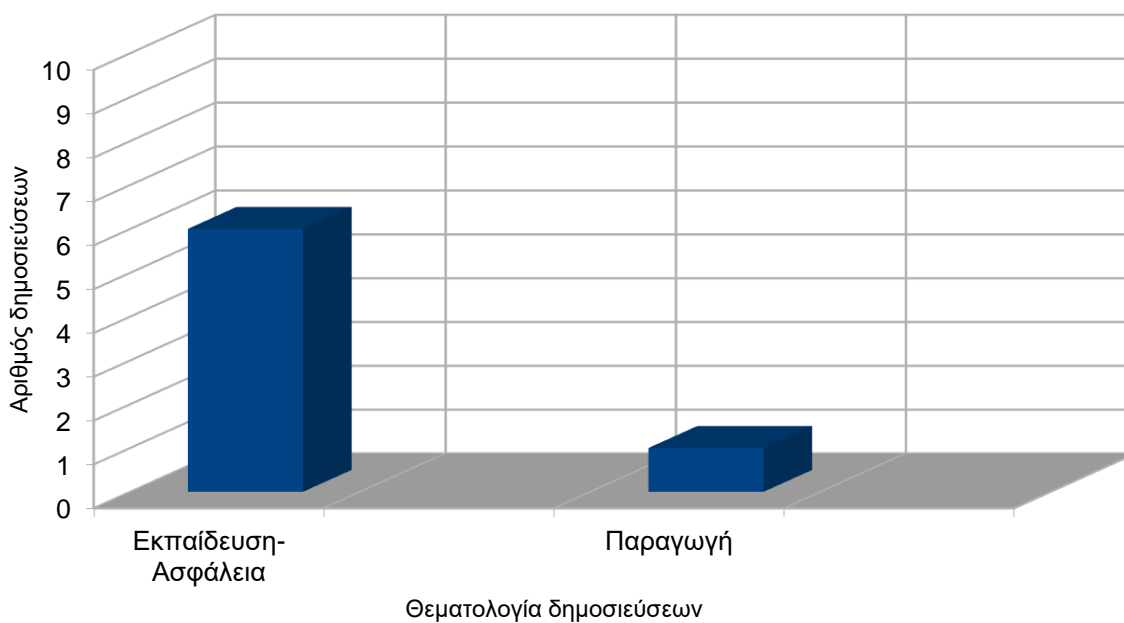
Το γεγονός πως υπάρχουν περισσότερες δημοσιεύσεις για τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις, οφείλεται στα εξής:

- α) στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος, επομένως η εκπαίδευση για την ασφάλεια του προσωπικού είναι κάτι πολύ πιο αναγκαίο και επιτάσσει τη χρήση κάθε νέας τεχνολογίας και μεθόδου που είναι διαθέσιμη. Αυτό αποκρυσταλλώνεται σε δημοσιεύσεις που επικεντρώνονται στην ασφάλεια των εργαζομένων, αλλά και σε δημοσιεύσεις όπου έχουν μελετήσει την χρήση της VR καθαρά για λόγους ενίσχυσης της παραγωγής, όπου μη επανδρωμένα μηχανήματα ελέγχονται μέσω του εξοπλισμού της VR σε συνδυασμό με λογισμικά smart-mining
- β) ακριβώς λόγω της μικρότερης επικινδυνότητας, στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις ακόμα δεν έχει χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία VR καθαρά για την αύξηση της παραγωγής, παρά μόνο για την εκπαίδευση των εργαζομένων πάνω σε ένα μηχάνημα ή μια μέθοδο

Συγκεκριμένα, όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 4.1 (δ), για τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις υπάρχουν πέντε (5) δημοσιεύσεις που αφορούν την παραγωγή (45.4%), ενώ οι υπόλοιπες έξι (6) δημοσιεύσεις αφορούν την εκπαίδευση-ασφάλεια (54.5%). Στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις υπάρχουν έξι (6) δημοσιεύσεις για την εκπαίδευση-ασφάλεια (85,7%), και μόλις μία (1) για την παραγωγή (14.3%), όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1(ε):



**Σχήμα 4.1 (δ) :** Κατανομή δημοσιεύσεων που αφορούν αποκλειστικά τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις ανά θεματολογία



**Σχήμα 4.1 (ε) :** Κατανομή δημοσιεύσεων που αφορούν αποκλειστικά τις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις ανά θεματολογία

## 4.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Η έρευνα για την χρήση της τεχνολογίας VR στον μεταλλευτικό κλάδο εξάγει τα εξής αποτελέσματα και συμπεράσματα για κάθε τομέα χρήσης:

- (1) **Χρήση για εκπαίδευση και ασφάλεια:** το 100% των ερευνητικών πειραμάτων που διεξήχθησαν με στόχο να καταρτιστούν οι εργαζόμενοι μιας εταιρείας (ή να έρθουν σε πρώτη επαφή οι φοιτητές μιας σχολής) με ένα νέο μηχάνημα ή μια νέα μέθοδο, εξάγουν το συμπέρασμα πως η οι δυνατότητες που δίνει η VR και ο σύγχρονος εξοπλισμός μπορούν να βελτιώσουν και να εξελίξουν τον τρόπο με τον οποίο γίνονταν μέχρι τώρα τέτοιου τύπου εκπαιδεύσεις. Καταρχάς, η εκπαίδευση μέσω της εικονικής πραγματικότητας επιτρέπει στους εργαζόμενους να εκπαιδευθούν (ή αντίστοιχα οι φοιτητές να έρθουν σε επαφή) ακόμα και με τα πιο ακραία σενάρια που μπορεί να συμβούν στον εργασιακό τους χώρο. Οι χρήστες μπορούν να προσομοιώσουν το καθημερινό περιβάλλον λειτουργίας και τα μέτρα αντίδρασης που λαμβάνονται μπροστά σε απροσδόκητα ατυχήματα, έτσι ώστε να μπορούν να συσσωρεύσουν εμπειρία, να μειώσουν αποτελεσματικά τα προβλήματα ασφάλειας στην πραγματική λειτουργία του ορυχείου στο μέλλον και να επιτύχουν διπλάσιο αποτέλεσμα με τη μισή προσπάθεια, χωρίς να θέτουν τον εαυτό τους σε πραγματικό κίνδυνο. Οι προσομοιώσεις που μπορεί να παρέχει η τεχνολογία Virtual Reality ποικίλουν από την έκτακτη εκκένωση μιας σήραγγας, μέχρι την εκπαίδευση για το χειρισμό ενός μηχανήματος LHD, έως τη συντήρηση και επιδιόρθωση ενός συγκεκριμένου κινητήρα μηχανήματος.

Επίσης, η δυνατότητα η εκπαίδευση να γίνεται όσες φορές χρειαστεί ο κάθε χρήστης, χωρίς να ζημιώνεται οικονομικά η εταιρεία με το να δαπανά ποσά σε υλικοτεχνικές υποδομές που θα πρέπει να προσαρμοστούν σε μια ενδεχομένως δύσκολη, ή ακόμα και επικίνδυνη κατάσταση στον εργασιακό χώρο, δίνει τη δυνατότητα οι εργαζόμενοι να προετοιμάζονται καλύτερα και με λιγότερα έξοδα. Τέλος, η εκπαίδευση μέσω της εικονικής πραγματικότητας είναι διαδραστική και διεγείρει πολύ περισσότερο την προσοχή και το ενδιαφέρον του χρήστη, από μια επίδειξη σε έναν πίνακα ή την παρακολούθηση ενός βίντεο, τα οποία θέτουν τον εκπαιδευόμενο σε θέση απλού αποδέκτη πληροφοριών χωρίς ο ίδιος να έχει ενεργό ρόλο.

(2) **Χρήση για την παραγωγή:** Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μέσω της τεχνολογίας VR έχουν αναπτυχθεί συστήματα τα οποία βοηθούν στην ενίσχυση της παραγωγής μιας εταιρείας. Είτε μέσω ενός συστήματος λειτουργίας όπου μετατρέπει την εξόρυξη υλικού σε πλήρως μηχανοποιημένη χωρίς να χρειάζεται να υπάρχει κάποιο επανδρωμένο μηχάνημα, είτε μέσω ελέγχου και χρήσης συγκεκριμένων μηχανημάτων μέσω των χειριστηρίων και του εξοπλισμού της VR, τα άρθρα στα οποία βασίστηκε η συγκεκριμένη ερευνητική εργασία αναφέρουν πως η εταιρεία μπορεί να επωφεληθεί μέσω της VR και την ενσωμάτωσή της στην καθημερινή λειτουργία της. Οι έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα πως η αυτοματοποιημένη λειτουργία αφήνει μικρότερα περιθώρια λάθους από τον ανθρώπινο παράγοντα, ενώ ταυτόχρονα προστατεύει και τους εργαζόμενους από ένα ενδεχόμενο ατύχημα.

Όσον αφορά το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, δηλαδή το σκοπό της χρήσης της VR στον μεταλλευτικό κλάδο, μπορούμε να αντλήσουμε τα εξής συμπεράσματα βάσει της έρευνας που πραγματοποιήθηκε αλλά και της συγκυρίας κατά την οποία γράφεται η παρούσα εργασία:

- α) η συνολικότερη αυτοματοποίηση της παραγωγής ειδικότερα σε κλάδους βαρέων εργασιών, όπως είναι και ο μεταλλευτικός, επιτάσσει τη σταδιακή εισαγωγή νέων τεχνολογιών όπως είναι η VR με σκοπό τη μεγαλύτερη απόδοση στην παραγωγή
- β) τα οφέλη της χρήσης της VR είναι τέτοια, όπως απαντήθηκε και στο προηγούμενο ερευνητικό ερώτημα, που μπορούν να βελτιώσουν συνολικά τον μεταλλευτικό κλάδο: τόσο ως προς τις εργασιακές συνθήκες, όσο και προς το κέρδος και τα οφέλη των ίδιων των εταιρειών.

Τα 41 άρθρα που εντοπίστηκαν είναι δημοσιευμένα σε επιστημονικά περιοδικά διαφόρων κλάδων, όπως του μεταλλευτικού, της ενέργειας, της γεωλογίας, ενώ κάποια από αυτά έχουν δημοσιευθεί και σε συνέδρια, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Επιστημονικά περιοδικά και συχνότητα εμφάνισής τους στις μελέτες που αναλύθηκαν

<b>Επιστημονικό Περιοδικό</b>	<b>Συχνότητα</b>	<b>Ποσοστό</b>
1. Advances in Intelligent Systems and Computing	3	7.3%
2. Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy	2	4.8%
3. Mining Goes Digital - Proceedings of the 39th international symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, APCOM 2019	2	4.8%
4. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy	2	4.8%
5. International Conference on Nuclear Engineering, Proceedings, ICONE	2	4.8%
6. Eurasian Mining	2	4.8%
7. Proceedings - 2020 International Conference on Virtual Reality and Visualization, ICVRV 2020	2	4.8%
8. SME Annual Conference and Expo 2023	1	2.4%
9. Advanced Engineering Informatics	1	2.4%
10. Mining Science and Technology (Russian Federation)	1	2.4%
11. Minerals Engineering	1	2.4%
12. Energies	1	2.4%
13. 2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2021	1	2.4%
14. Tunnelling and Underground Space Technology	1	2.4%
15. Proceedings - 20th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2021	1	2.4%
16. Proceedings - 2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2020	1	2.4%
17. Sustainability (Switzerland)	1	2.4%
18. E3S Web of Conferences	1	2.4%
19. 30th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2020 and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, PSAM 2020	1	2.4%
20. Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment	1	2.4%

and Management Conference		
21. Proceedings - 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacturing, AIAM 2019	1	2.4%
22. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering	1	2.4%
23. International Journal of Advanced Science and Technology	1	2.4%
24. Proceedings - 2019 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems, ICVRIS 2019	1	2.4%
25. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences	1	2.4%
26. Applied Sciences (Switzerland)	1	2.4%
27. IEEE International Symposium on Industrial Electronics	1	2.4%
28. 2019 IST-Africa Week Conference, IST-Africa 2019	1	2.4%
29. Geotechnical Research	1	2.4%
30. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM	1	2.4%

Παρατηρούμε ότι τα περισσότερα άρθρα δεν δημοσιεύθηκαν σε περιοδικά ή συνέδρια αποκλειστικά για την VR τεχνολογία, αλλά σε περιοδικά για τον μεταλλευτικό κλάδο, το machine learning, την μηχανική κ.α. Αυτό δείχνει πως η μεταλλευτική δραστηριότητα μετράει συνεχώς νέα βήματα προς κατευθύνσεις που ξεφεύγουν από τη μέχρι τώρα πορεία της όσον αφορά συνολικότερα τη νοοτροπία που χτίζεται γύρω από τον μεταλλευτικό κλάδο, αλλά και εξειδικευμένα πολλές εργασίες όπως αναφέρθηκαν και προηγουμένως. Ειδικότερα, άρθρα όπως των Wang & Xie (2022) και Abdelrazeq et.al. (2019) δείχνουν πως η τεχνολογία VR έχει πολλά να προσφέρει στον μεταλλευτικό κλάδο καθώς εκεί που χρησιμοποιείται ήδη έχει βοηθήσει.

## Κεφάλαιο 5ο: Συμπεράσματα

Με την ολοένα και μεγαλύτερη εμπλοκή των τεχνολογιών Virtual-Mixed Reality στην παραγωγή αυξάνονται τόσο οι μορφές και τα πεδία χρήσης τους, όσο και οι κλάδοι-εταιρείες που τις χρησιμοποιούν. Οι επιπτώσεις που έχει η μεταστροφή από την πλήρη λειτουργία ενός λατομείου-ανθρακωρυχείου από τον ανθρώπινο παράγοντα, σε λειτουργία όπου μπορεί να μη χρειάζεται να υπάρχει ούτε ένα επανδρωμένο μηχάνημα όπως π.χ. για εργασίας μέσα σε μια σήραγγα, είναι πολύ μεγάλες και πρόκειται να πλήξουν άμεσα τον μεταλλευτικό κλάδο. Τόσο οι τομείς της ασφάλειας και της εκπαίδευσης των εργαζομένων όπως αναλύθηκαν παραπάνω, όσο και η ίδια η φύση της εργασίας και οι συνθήκες υπό τις οποίες πλέον θα καλείται να εργασθεί ένας εργαζόμενος στον κλάδο (σωματικές, ψυχολογικές κλπ), είναι δεδομένο ότι θα αλλάζουν διαρκώς όσο περισσότερο εδραιώνονται στην παραγωγή αυτές οι τεχνολογίες.

Αρκετές ερευνητικές εργασίες έχουν δημοσιευθεί σε περιοδικά ή συνέδρια με σκοπό να συμβάλλουν στην περαιτέρω ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στην παραγωγή, ωστόσο λόγω των βασικών πολιτικών που ακολουθεί η κάθε εταιρεία αλλά και της συνολικότερης πολιτικής που έχει την κυρίαρχη τάση στον τομέα της βιομηχανικής παραγωγής, η VR έχει ακόμα αρκετό δρόμο μέχρι να γίνει εδραιωθεί στον κλάδο με τον οποίο ασχολήθηκε η παρούσα εργασία, ειδικά στην Ελλάδα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκόπευε στη διερεύνηση: i) της τεχνολογικής εξέλιξης της VR και τη χρήση της στον μεταλλευτικό-εξορυκτικό κλάδο σε εταιρείες σε όλον τον κόσμο, ii) τα οφέλη και τα πεδία χρήσης που έχει όπου έχει εφαρμοστεί-δοκιμαστεί έως τώρα, iii) την ανάδειξη της χρησιμότητας της τεχνολογίας αυτής με σκοπό την περαιτέρω χρήση της τόσο στους κλάδους αυτούς, όσο και στην εκπαιδευτική διαδικασία και την εμπλοκή των φοιτητών στις δυνατότητες που μπορεί να παρέχει η VR.

Η ανάλυση δείχνει ότι σε όποιες περιπτώσεις η τεχνολογία και ο εξοπλισμός της Virtual Reality έχουν χρησιμοποιηθεί, έχουν θετικά αποτελέσματα και έχουν βοηθήσει τους εργαζόμενους αλλά και τις ίδιες τις εταιρείες να βελτιωθούν. Τόσο στον τομέα της εκπαίδευσης, όπου σε όλες τις δημοσιεύσεις αναφερόταν ότι οι εργαζόμενοι προτιμούν την εκπαίδευση σε ένα διαδραστικό



περιβάλλον παρά σε έναν πίνακα, όσο και στον τομέα της ασφάλειας όπου πολλά ατυχήματα μπορούν να αποφευχθούν με την απουσία των εργαζομένων από ένα επίφοβο σημείο, η VR άφησε θετική παρακαταθήκη. Ακόμα και οι ίδιες οι εταιρείες μπορούν να έχουν οικονομικά οφέλη: 1) από την πολύ πιο άμεση και γρήγορη εκπαίδευση των εργαζομένων σε ένα άρτια εικονικά προσαρμοσμένο περιβάλλον, 2) από την αποφυγή λαθών που ενδεχομένως να πραγματοποιηθούν στη διάρκεια της εκπαίδευσης πάνω σε ένα συγκεκριμένο μηχάνημα και να κοστίσουν στον εξοπλισμό, 3) από το μηδενικό κόστος που έχει η επανάληψη της εκπαίδευσης (δεν χρειάζεται να σπαταληθούν καύσιμα, χρόνος κλπ.ω). Τέλος, η συστηματική ανασκόπηση αφήνει παρακαταθήκη για μελλοντική έρευνα. Η επεξεργασία των μελετών που έχουν δημοσιευθεί έως τώρα, έγινε σε μια συγκυρία όπου ακόμα η τεχνολογία της VR δεν έχει ενσωματωθεί σε μεγάλο ποσοστό στους κλάδους με τους οποίους καταπιάστηκε η παρούσα εργασία. Είναι βέβαιο πως στο μέλλον το ποσοστό αυτό θα μεγαλώσει, ακολουθώντας τη γενικότερη τάση εμπλοκής αυτών των τεχνολογιών με την παραγωγή, αλλά και με την εκπαίδευση. Οι προσπάθειες αποτίμησης που θα γίνουν σε μελλοντικό διάστημα θα κληθούν να καλύψουν τα νέα δεδομένα που θα προκύψουν με τη διεξαγωγή ερευνών γύρω από την εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής.

### **5.1 Πρακτικές επιπτώσεις και προτάσεις**

Τα αποτελέσματα αυτής της διπλωματικής εργασίας μπορούν να τροφοδοτήσουν ένα νέο κύκλο συζητήσεων για ριζικές και κομβικές αλλαγές της πολιτείας γύρω από τα εργασιακά και τα εκπαιδευτικά ζητήματα. Η κατάσταση που επικρατεί στον μεταλλευτικό-εξορυκτικό κλάδο σε συνδυασμό με το εκπαιδευτικό σύστημα, ενέχει μεγάλα περιθώρια βελτίωσης ώστε να μπορούν και τα δύο να προσφέρουν περισσότερα στην κοινωνία.

Η αρκετά ετεροχρονισμένη ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών στην παραγωγή στην Ελλάδα, σε συνδυασμό με την ελλιπή και αποπροσανατολισμένη εκπαίδευση όσον αφορά τα πεδία πάνω στα οποία θα κληθεί να εργασθεί ένας νέος εργαζόμενος, αποτελούν βασικές αιτίες για την παρούσα κατάσταση στην αγορά εργασίας. Με την τεχνολογική ανάπτυξη να έχει φτάσει σε βαθμό όπου μπορεί να βελτιώσει ποιοτικά τη ζωή και την καθημερινότητα του κάθε πολίτη, είναι χρέος της πολιτείας να συνδράμει σε τέτοιο βαθμό ώστε να γίνουν τα απαραίτητα βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση.

Για να επιτευχθεί το παραπάνω, χρειάζεται στο μέλλον να γίνουν ακόμα πιο εξειδικευμένες συστηματικές αναφορές πάνω στο εν λόγω ζήτημα, με προτάσεις για άμεση εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών σε κάθε πιθανή περίπτωση που συναντάμε στον μεταλλευτικό κλάδο. Ειδικότερα στον τομέα της ασφάλειας χρειάζεται τεράστια μέριμνα ώστε να καλύπτονται όλα τα μέσα προστασίας αλλά και να βελτιώνονται (πράγμα στο οποίο μπορεί να βοηθήσει η τεχνολογία VR), καθώς και να υπάρχει η κατάλληλη κρατική μέριμνα ώστε να τηρούνται αυτά τα μέτρα βάσει της νομοθεσίας και να μην υπάρχουν παρεκκλίσεις με στόχο την αποφυγή κόστους. Χρειάζονται ειδικά σχεδιασμένα προγράμματα που να αναπαριστούν κάθε εργασία σε μια εξόρυξη όπου εμπλέκεται ο ανθρώπινος παράγοντας, με στόχο οι εργαζόμενοι να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο προετοιμασμένοι γίνεται. Αντίστοιχες κομβικές μεταρρυθμίσεις χρειάζεται να γίνουν και στον τομέα της εκπαίδευσης, με άμεση αγορά εξοπλισμού και εφαρμογή της τεχνολογίας VR στις σχολές.

Η ενίσχυση αυτή μπορεί να βελτιώσει την εκπαιδευτική διαδικασία με πολύ πιο άμεση επαφή με το αντικείμενο μέσω των διαδραστικών «παιχνιδιών» που προσφέρει η VR, καθώς πλέον η νεολαία είναι πολύ πιο εξοικειωμένη με αντίστοιχες εφαρμογές και τις βρίσκει αρκετά εύκολες στη χρήση. Όσο περισσότερο έτοιμος είναι ένας απόφοιτος να εργασθεί μετά το πέρας των σπουδών του, τόσο μεγαλύτερο όφελος έχει ο ίδιος αλλά ακόμα και η εταιρεία στην οποία πρόκειται να εργασθεί.

## Βιβλιογραφία

- (1) Akbulut, N., Anani, A. “APPLICATION OF VIRTUAL REALITY IN THE MINING INDUSTRY – WHERE WE ARE NOW?” , SME Annual Conference and Expo ,2023
- (2) Xie, J., Li, S., Wang, X. , “A digital smart product service system and a case study of the mining industry: MSPSS” , Advanced Engineering Informatics ,2022
- (3) Vavenkov, M.V. , “VR/AR technologies and staff training for mining industry” , Mining Science and Technology (Russian Federation), 2022
- (4) Bergamo, P.A.D.S., Streng, E.S., de Carvalho, M.A., Rosenkranz, J., Ghorbani, Y. , “Simulation-based training and learning: A review on technology-enhanced education for the minerals industry” , Minerals Engineering ,2022
- (5) Tao, C., Jiacheng, X., Wang, X., Xin, Z., Suhua, L., Mengyao, D. , “Constructing a high-precision virtual scene of mining equipment and coal seam roof and floor using actual mining data” , Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy ,2022
- (6) Rozmus, M., Tokarczyk, J., Michalak, D., Dudek, M., Szewerda, K., Rotkegel, M., Lamot, A., Rożer, J. , “Application of 3D scanning, computer simulations and virtual reality in the redesigning process of selected areas of underground transportation routes in coal mining industry” , Energies, 2021
- (7) Sophia Jasmine, G., Magdalin Mary, D., Naveen, S., Murugan, V., Mohamed Ibrahim, A., Praveen, S. , “Load control using projected VR system of wallmounted buttons” , 2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS ,2021
- (8) Ma, K., Sun, X.Y., Tang, C.A., Yuan, F.Z., Wang, S.J., Chen, T. , “Floor water inrush analysis based on mechanical failure characters and microseismic monitoring” , Tunnelling and Underground Space Technology ,2021

- (9) Viademonte, S., Gomes, B.D., Siravenha, A.C.Q., Gomes, W.C., Rodrigues, C., Tourinho, R.A. ,  
“An Unsupervised Learning Methodology for Increasing Human Productivity via VR Training” ,  
Proceedings - 20th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications,  
ICMLA ,2021
- (10) Oforiwaa, P.O., Manchun, L., Chao, Z., Guofeng, S., Ke, L. , “Scenario development for nuclear  
emergency decision deduction training platform for radiographers in developing countries  
(case study,Ghana)” , International Conference on Nuclear Engineering, Proceedings, ICONE,  
2021
- (11) Li, J., Jiang, S., Xie, J. , “Research on Construction Method of Fully Mechanized Coal Mining  
Equipment Workspace Based on Virtual Reality” , IOP Conference Series: Earth and  
Environmental Science ,2021
- (12) Zhang, Y.-K., Yu, E.-Y., Zheng, D., Zhang, J.-X., Sun, W.-J., Lei, M.-D. , “Virtual simulation system  
of paste filling for green mining of metallic mine” , Proceedings - 2020 International  
Conference on Virtual Reality and Visualization, ICVRV, 2020
- (13) Oliveira, T.R.D., Martinelli, T.F., Bello, B.P., Batista, J.D., Silva, M.M.D., Rodrigues, B.B.,  
Spinasse, R.A.N., Andreao, R.V., Mestria, M., Schimidt, M.Q. , “Virtual Reality System for  
Industrial Motor Maintenance Training” , Proceedings - 2020 22nd Symposium on Virtual and  
Augmented Reality, SVR ,2020
- (14) Lee, H.J., Oh, H. , “A study on the deduction and diffusion of promising artificial intelligence  
technology for sustainable industrial development” , Sustainability (Switzerland) ,2020
- (15) Ivina, O., Belova, A., Klimchuk, A., Akhmetgalym, T. , “Dynamic Construction of Underground  
Mining Operations with Visualization in Virtual Reality” , E3S Web of Conference, 2020
- (16) Gauthier, S., Leduc, M., Perfetto, S.J., Godwin, A. , “Use of Virtual Reality to Increase  
Awareness of Line-of-Sight Hazards around Industrial Equipment” , Safety, 2022

- (17) Grassini, S., Laumann, K. , 30th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2020 and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, PSAM, 2020
- (18) Temkin, I.O., Myaskov, A.V., Deryabin, S.A., Rzazade, U.A. , “Digital twins and modeling of the transporting-technological processes for on-line dispatch control in open pit mining” , Eurasian Mining, 2020
- (19) Beloglazov, I.I., Petrov, P.A., Bazhin, V.Yu. , “The concept of digital twins for tech operator training simulator design for mining and processing industry” , Eurasia Mining ,2020
- (20) Oforiwaa, P.O., Manchun, L., Guofeng, S., Ke, L. , “Scenario development for nuclear emergency decision deduction training platform for radiographers in developing countries: Case study, Ghana” , International Conference on Nuclear Engineering, Proceedings, ICONE, 2020
- (21) Andersen, K., Gaab, S.J., Sattarvand, J., Harris, F.C. , “METS VR: Mining Evacuation Training Simulator in Virtual Reality for Underground Mines” , Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020
- (22) Kwegyir-Afful, E., Lindholm, M., Tilabi, S., Tajudeen, S., Kantola, J. , “Optimizing occupational safety through 3-d simulation and immersive virtual reality” , Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020
- (23) Stothard, P., Squelch, A., Stone, R., Van Wyk, E. , “Towards sustainable mixed reality simulation for the mining industry” , Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, 2019
- (24) Wang, Z., Yang, Q. , “Scene Building of Fully Mechanized Mining and Safety Training in Dongbaowei Coal Mine Based on VR Technology” , Proceedings - 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacturing, AIAM ,2019

- (25) Shivthare, S., Sharma, Y.K., Patil, R.D. , “To enhance the impact of deep learning-based algorithms in determining the behavior of an individual based on communication on social media” , International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2019
- (26) Shim, Y.-J., Kim, J.-H., Shin, J.-A. , “An approach for creative convergence among technologies with big data and triz” , International Journal of Advanced Science and Technology, 2019
- (27) Huang, X., Hou, W. , “Research and design of an integrated multi-service monitoring platform for mine safety” , Proceedings - 2019 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems, ICVRIS, 2019
- (28) Vorobev, A.Y., Metaxa, G.P., Bolenov, Y.M., Metaxa, A.S., Alisheva, Z.N. , “Digitization of the mining industry. concept and modern geotechnology” , News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2019
- (29) Kim, H., Choi, Y. , “Performance comparison of user interface devices for controlling mining software in virtual reality environments” , Applied Sciences (Switzerland) ,2019
- (30) Tang, J., Gao, Y., Yu, H., Wang, Y., Ai, Y., Cao, D. , “Real-time Display Method for Mining Vehicle Simulation based on Virtual reality” , IEEE International Symposium on Industrial Electronics
- (31) Fakier, R., Van Den Berg, C. , “Sports Coaching in Impoverished Communities through the Use of Virtual Reality” , 2019 IST-Africa Week Conference, IST-Africa, 2019
- (32) Van Wyk, E.A., De Villiers, M.R. , “An evaluation framework for virtual reality safety training systems in the South African mining industry” , Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2019
- (33) Yang, Z., Wang, Y. , “Analysis of the rock stratum in a mining area in China with virtual reality technology” , Geotechnical Research, 2019

- (34) Webber-Youngman, R., Grobler, H., Gazi, T., Stroh, F., van der Vyver, A. , “The impact of forensic laser scanning technology on incident investigations in the mining industry” , Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2019
- (35) Bagdasaryan, I., Stupina, A., Zhanna, S., Titiberiya, R., Vaitekunene, E. , “Training of it-personnel in the interior of “Digital economy” , International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM ,2019
- (36) Abdelrazeq, A., Daling, L., Suppes, R., Feldmann, Y. , “Virtual reality mine: A vision for digitalised mining engineering education” , Mining Goes Digital - Proceedings of the 39th international symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, APCOM ,2019
- (37) Usero, G., Misk, S., Saldanha, A. , “An approach for drilling pattern simulation” , Mining Goes Digital - Proceedings of the 39th international symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, APCOM, 2019
- (38) Duarte, J., Dinis, M.L., Baptista, J.S. , “Virtual reality applications in the extractive industry— a short review” , Studies in Systems, Decision and Control
- (39) Meng, L. , “Simulation System of Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment Maintenance Based on Virtual Reality Technology” , IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021
- (40) Yangtao Chuan , “Application of Virtual Reality Technology in Training of Substation in Coal Mining Area” , Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2021
- (41) Ali, M., Pal, I. , “Assessment of workers’ safety behavior in the extractive industries: The case of underground coal mining in Pakistan” , Extractive Industries and Society, 2020

