



# Σημειώσεις μαθήματος

## Θεωρητικό μέρος

Εμμανουήλ Φωκίδης

ΥΓ02. Εργαστήριο στις Εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας και  
Αναδυόμενων Τεχνολογιών

## Περιεχόμενα

<i>Εισαγωγή. Τεχνολογία, μάθηση και εκπαίδευση.....</i>	<i>4</i>
<i>Κεφάλαιο 1. Εικονική Πραγματικότητα, ορισμοί και ιστορικό .....</i>	<i>12</i>
1.1. Ορισμοί για την Εικονική Πραγματικότητα.....	13
1.2. Ιστορική αναδρομή .....	16
<i>Κεφάλαιο 2. Head-mounted displays .....</i>	<i>22</i>
2.1. Εννοιολογικό πλαίσιο για τα Head Mounted Displays .....	23
2.2. Αρχές και στοιχεία λειτουργίας των Head Mounted Displays .....	24
2.3. Παρουσίαση διαφόρων HMDs.....	37
<i>Κεφάλαιο 3. Βασικά χαρακτηριστικά της Εικονικής Πραγματικότητας .....</i>	<i>40</i>
3.1. Τα τρία Is της Εικονικής Πραγματικότητας .....	41
3.2. Η εμπύθιση.....	42
3.3. Η παρουσία .....	45
3.4. Η αλληλεπίδραση .....	48
3.5. Σχέση εμπύθισης και παρουσίας .....	49
3.6. Γενικά σχόλια .....	52
<i>Κεφάλαιο 4. Ταξινόμια συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας.....</i>	<i>53</i>
4.1. Υφιστάμενες ταξινομίες συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας.....	54
4.2. Προτεινόμενη ταξινόμια συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας.....	56
<i>Κεφάλαιο 5. Τομείς εφαρμογής της Εικονικής Πραγματικότητας .....</i>	<i>61</i>
5.1. Αθλητισμός και σωματική άσκηση .....	62
5.2. Απεικόνιση δεδομένων .....	63
5.3. Αυταρχισμός, βία, διλήμματα, φυλετικές και άλλες προκαταλήψεις.....	64
5.4. Βιομηχανικές εφαρμογές και σχεδιασμός προϊόντων.....	66
5.5. Δημοσιογραφία και ειδήσεις.....	66
5.6. Ιατρική .....	67
5.7. Κοινωνική συμπεριφορά, Proxemics .....	68
5.8. Μετασχηματισμός του σώματος.....	68
5.9. Πολιτιστική κληρονομιά.....	71
5.10. Συνεργασία, διαμοιρασμένα περιβάλλοντα.....	72
5.11. Ταξίδια και τουρισμός.....	73
5.12. Χωρική αναπαράσταση και πλοήγηση .....	74
5.13. Ψυχολογία και θεραπεία παθήσεων .....	75
<i>Κεφάλαιο 6. Εικονική Πραγματικότητα και μάθηση.....</i>	<i>78</i>
6.1. Η Εικονική Πραγματικότητα ως γνωστικό εργαλείο .....	79
6.2. Οι εκπαιδευτικές δυνατότητες της Εικονικής Πραγματικότητας .....	80

6.3. Παράγοντες της ΕΠ που επηρεάζουν τη μάθηση .....	81
<i>Κεφάλαιο 7. Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα και μάθηση.....</i>	<i>87</i>
<i>Κεφάλαιο 8. Η Πλήρως Εμβυθιστική Ψηφιακή Μαθησιακή Εμπειρία.....</i>	<i>92</i>
8.1. Σύνοψη των προηγούμενων κεφαλαίων .....	93
8.2. Ορίζοντας την Πλήρως Εμβυθιστική Ψηφιακή Μαθησιακή Εμπειρία .....	94
8.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την ΠΕΨΜΕ .....	98
<i>Κεφάλαιο 9. Εικονική Πραγματικότητα και Εποικοδομισμός.....</i>	<i>109</i>
9.1. Οι γενιές εκπαιδευτικής χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών .....	110
9.2. Η τέταρτη γενιά εκπαιδευτικής χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών .....	112
9.3. Περισσότερα για τον εποικοδομισμό .....	114
9.4. Η σχέση εποικοδομισμού και τεχνολογίας .....	115
9.5. Η σχέση Εικονικής Πραγματικότητας και εποικοδομισμού.....	116
<i>Κεφάλαιο 10. Εικονική Πραγματικότητα και Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση.....</i>	<i>119</i>
10.1. Προβλήματα στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση .....	120
10.2. Σύνοψη ανασκόπηση πεδίου για τη σχέση ΕΠ και ΕΞΑΕ .....	121
10.3. Διαπιστώσεις.....	122
<i>Επίλογος.....</i>	<i>125</i>
<i>Βιβλιογραφία .....</i>	<i>130</i>

Learning is not compulsory... but neither is survival.

~Dr. William Edwards Deming (1900-1993)



Εισαγωγή. Τεχνολογία, μάθηση  
και εκπαίδευση

Είναι γενικά παραδεκτό ότι οι διαδοχικές τεχνολογικές επαναστάσεις και, κυρίως η ψηφιακή επανάσταση, οδήγησαν στην αναγκαιότητα διεύρυνσης των αντιλήψεων για τη μάθηση, καθώς και στην αναθεώρηση των μεθόδων που ακολουθούνται σε αυτό που ονομάζεται "διδασκαλία", ή, καλύτερα, εκπαιδευτική διαδικασία. Οι εκπαιδευτικοί και, γενικά, όλοι όσοι ασχολούνται με την εκπαίδευση, έχουν πλέον στα χέρια τους μία πληθώρα -τεχνολογικών- εργαλείων, που τους επιτρέπουν να ασκήσουν το έργο τους πιο αποτελεσματικά, αλλά και να κάνουν την όλη διαδικασία πιο ενδιαφέρουσα και ευχάριστη για αυτούς που μαθαίνουν.

Η αλήθεια είναι ότι η τεχνολογία απέκτησε από νωρίς μία ιδιαίτερη σχέση με την εκπαίδευση. Ο όρος "εκπαιδευτική τεχνολογία" ουσιαστικά περιγράφει τη σύζευξη τεχνολογικών μέσων και διδασκαλίας και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του '40 (Saettler, 2004). Όπως ήδη αναφέρθηκε, εκτός από το ότι προσέφερε νέα διδακτικά εργαλεία, η είσοδος της τεχνολογίας στα σχολεία άνοιξε τον δρόμο για νέες διδακτικές μεθόδους και πρακτικές. Έτσι, γρήγορα θεωρήθηκε ότι, ως μέσο, η τεχνολογία διευκολύνει τη μάθηση και, ως εκ τούτου, θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε μικρό ή μεγάλο βαθμό για την υποστήριξη της διδασκαλίας. Άλλοι, βλέποντας τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις και τις αλλαγές που επέφερε σε όλες τις πτυχές της ανθρώπινης δραστηριότητας, υποστήριξαν ένθερμα τον μετασχηματιστικό ρόλο της τεχνολογίας, μιλώντας για μία επερχόμενη εκπαιδευτική επανάσταση (ενδεικτικά, Seidel & Rubin, 1977).

Εντούτοις, σειρά από επιστημονικά ή μη άρθρα παρουσίασαν με emphaticό τρόπο και με επιχειρήματα που σε πρώτη ανάγνωση πείθουν, την αποτυχία της τεχνολογίας να ωφελήσει τους μαθητές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί έκθεση του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, που μάλιστα έλαβε μεγάλη δημοσιότητα και αναπαρήχθη από πολλά μέσα μαζικής ενημέρωσης, η οποία κατέληξε στο ότι η χρήση της τεχνολογίας στην εκπαίδευση, τελικά, δεν είχε τα αναμενόμενα θετικά και θεαματικά μαθησιακά αποτελέσματα (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2015). Η έκθεση ανέφερε πως οι μαθητές που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς υπολογιστές, όχι όμως εντατικά, τείνουν να έχουν κάπως καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα συγκριτικά με μαθητές που σπάνια χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Ωστόσο, μαθητές που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς υπολογιστές πολύ συχνά στο σχολείο, έχουν χειρότερα μαθησιακά αποτελέσματα στα περισσότερα γνωστικά αντικείμενα, ακόμη και όταν ληφθούν υπόψη κοινωνικο-δημογραφικά χαρακτηριστικά και το υπόβαθρό τους. Επίσης, τα αποτελέσματα δεν έδειξαν κάποια αισθητή βελτίωση στις επιδόσεις των μαθητών στην ανάγνωση, τα μαθηματικά ή στα θετικά μαθήματα σε χώρες που στο παρελθόν είχαν επενδύσει σημαντικά κεφάλαια για την είσοδο της τεχνολογίας στην εκπαίδευση. Ίσως το πιο απογοητευτικό συμπέρασμα της έκθεσης είναι ότι η τεχνολογία προσφέρει τελικά πολύ λίγα στη γεφύρωση του χάσματος δεξιοτήτων μεταξύ προνομιούχων και μειονεκτούντων μαθητών, που είναι βασικό επιχείρημα των υποστηρικτών της εκπαιδευτικής τεχνολογίας.

Το ότι η εκπαιδευτική τεχνολογία δεν είναι ικανή να βελτιώσει τα μαθησιακά αποτελέσματα, πράγματι, με την πρώτη ματιά, δείχνει και καλά τεκμηριωμένη άποψη -εφόσον στηρίζεται σε σοβαρές έρευνες- και δίνει ισχυρή βάση επιχειρημάτων σε όσους αντίκεινται στην ένταξη της τεχνολογίας στο σχολικό περιβάλλον. Όμως, το να σταθεί κάποιος στα μαθησιακά αποτελέσματα, αποκόπτοντάς τα από το πώς, γιατί και κάτω από ποιες συνθήκες αυτά επιτεύχθηκαν, είναι λάθος. Θα πρέπει να γίνει αντιληπτή η συνολική εικόνα, που είναι πολυδιάστατη και περίπλοκη.

Ένα πρώτο σημείο άξιο προσοχής είναι το ψηφιακό χάσμα μεταξύ εκπαιδευτικών και μαθητών. Πράγματι, έρευνες δείχνουν ότι εκτός από τα γνωστά ψηφιακά χάσματα μεταξύ οικονομικά ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων περιοχών και μεταξύ αυτών που έχουν πρόσβαση και αυτών που δεν έχουν πρόσβαση στην τεχνολογία, υπάρχει ένα άλλο χάσμα που έχει να κάνει με το πώς αντιλαμβάνονται οι εκπαιδευτικοί τη χρήση της τεχνολογίας και με το πώς περιμένουν οι μαθητές αυτή να χρησιμοποιείται μέσα στην τάξη. Μάλιστα, αυτό ισχύει για όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης (CDW-G, 2010). Για παράδειγμα, το 75% των εκπαιδευτικών ανέφεραν ότι χρησιμοποιούν τακτικά την τεχνολογία στις τάξεις τους. Ωστόσο, μόνο το 40% των μαθητών ανέφεραν ότι η τεχνολογία χρησιμοποιείται στην τάξη, ενώ ένα 86% ανέφερε ότι χρησιμοποιεί την τεχνολογία πιο πολύ στο σπίτι παρά στο σχολείο. Την ίδια στιγμή, ένα συντριπτικό 94% των μαθητών δήλωσαν ότι χρησιμοποιούν την τεχνολογία για να κάνουν τις εργασίες τους, ενώ λιγότερο από το ήμισυ των εκπαιδευτικών (46%) φαίνεται ότι έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία σε εργασίες που αναθέτουν στους μαθητές. Εύλογο είναι κάποιος να υποθέσει ότι ο όρος "τακτική χρήση" ορίζεται με διαφορετικό τρόπο από παιδιά και ενήλικες.

Το επόμενο σημείο όπου πρέπει να διερευνηθεί είναι το πόσο πραγματικά χρησιμοποιείται η τεχνολογία στο σχολικό περιβάλλον. Ο Van Broekhuizen (2016) σε μελέτη του που διήρκησε 3 χρόνια και περιλάμβανε 144.000 τάξεις σε 39 πολιτείες των ΗΠΑ και άλλες 11 χώρες, κατέληξε ότι λίγοι μαθητές χρησιμοποιούν την τεχνολογία και τα ψηφιακά εργαλεία με ουσιαστικό τρόπο στις τάξεις τους. Όντως, οι εκπαιδευτικοί έχουν εκπαιδευτεί στο πώς να χρησιμοποιούν, για παράδειγμα, διαδραστικούς πίνακες και πολλοί το κάνουν, αλλά υπάρχει μικρή χρήση της τεχνολογίας από τους ίδιους τους μαθητές κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Τα παιδιά χρησιμοποιούν τεχνολογία έξω από το σχολείο όλη την ώρα για προσωπικούς και ψυχαγωγικούς σκοπούς, αλλά δεν ωθούνται ή δεν τους ζητείται να χρησιμοποιήσουν την ίδια τεχνολογία μέσα στην τάξη για μάθηση. Χαρακτηριστικά ευρήματα της παραπάνω έρευνας ήταν:

- Σε περισσότερες από τις μισές αίθουσες διδασκαλίας, δεν υπήρξαν αποδείξεις ότι οι μαθητές χρησιμοποιούν τεχνολογία για τη συλλογή, την αξιολόγηση ή τη χρήση πληροφοριών για μάθηση.
- Στα δύο τρίτα των τάξεων, δεν υπήρξαν στοιχεία που να αποδεικνύουν ότι η τεχνολογία χρησιμοποιείται ώστε οι μαθητές να λύνουν προβλήματα, να διεξάγουν έρευνες ή να εργάζονται συνεργατικά.
- Το πρόβλημα δεν είναι ότι τα σχολεία στερούνται πρόσβασης στην τεχνολογία. Περισσότεροι από οκτώ στους δέκα εκπαιδευτικούς έχουν πρόσβαση σε προσωπικούς ή φορητούς υπολογιστές στην τάξη τους. Παράλληλα, διαπιστώθηκε μικρή διακύμανση στη διαθεσιμότητα της τεχνολογίας σε διάφορα είδη σχολείων.
- Πολλοί εκπαιδευτικοί έχουν μια άβολη σχέση με την τεχνολογία. Τη βλέπουν ως ένα "αναγκαίο κακό", ανεκτή όταν είναι αυστηρά περιορισμένη. Επίσης, οι εκπαιδευτικοί έχουν τον -κατανοητό- φόβο ότι θα χάσουν τον έλεγχο της τάξης τους και των μαθητών τους. Ακόμη και οι καθηγητές στα πανεπιστήμια ανέφεραν ότι τους είναι δύσκολο να προσελκύσουν το ενδιαφέρον των φοιτητών τους όταν smartphones, tablets και φορητοί υπολογιστές επιτρέπονται στην αίθουσα.

Ένα τρίτο σημείο που πρέπει να αναλυθεί είναι το πώς χρησιμοποιείται η τεχνολογία στην τάξη. Συσκευές όπως τα tablets και οι φορητοί υπολογιστές σε όλα τα σχήματα και τα μεγέθη, παρέχουν στους μαθητές ευκαιρίες να οργανώσουν τις σημειώσεις και τις εργασίες τους, να εξερευνήσουν τα ενδιαφέροντά τους, να επικοινωνήσουν με τους εκπαιδευτικούς και τους ομότιμους τους, να προετοιμάσουν παρουσιάσεις, να συνεργαστούν σε έργα και να συνδεθούν με ειδικούς. Παρόλα

αυτά, ακόμη και αν τα ψηφιακά εργαλεία γίνονται πιο φορητά, πιο εξελιγμένα και πιο "πανταχού παρόντα", για κάποιο λόγο δεν έχουν καταστεί το κυρίαρχο, καθημερινό εργαλείο μάθησης. Και οι δύο έρευνες που αναφέρθηκαν πιο πάνω, κατέληξαν στο ότι η τεχνολογία χρησιμοποιείται ως εργαλείο διδασκαλίας αντί να χρησιμοποιείται από τους ίδιους του μαθητές ως μέσο για να μάθουν. Επιπρόσθετα, το να τους ζητείται να γράψουν τις εργασίες τους στον υπολογιστή ή να κάνουν μία παρουσίαση, είναι απλά μία επιφανειακή (και ανούσια) χρήση της τεχνολογίας και οι μαθητές (που είναι ήδη εξοικειωμένοι με την τεχνολογία), αντιλαμβάνονται αυτό το λάθος. Χαρακτηριστικά, μόλις 4 στους 10 μαθητές θεώρησαν ότι τους ικανοποιεί η χρήση της τεχνολογίας στο σχολείο (CDW-G, 2010). Συνεπώς, αυτό που πραγματικά συμβαίνει είναι ότι τα παιδιά εξακολουθούν να κάνουν ακριβώς ό,τι έκαναν και οι παλαιότερες γενιές όταν πήγαιναν στο σχολείο. Η κυριαρχία των φωτοτυπιών και των φύλλων εργασίας συνεχίζει να υπάρχει, μετασχηματισμένη ή "ντυμένη" με ένα ψηφιακό περιτύλιγμα.

Επιπλέον, υπάρχουν δύο διαδεδομένοι μύθοι που αφορούν την τεχνολογία και που παρεμποδίζουν την πρόοδο στην έρευνα και την εφαρμογή καινοτομιών στην πράξη. Ο πρώτος μύθος αφορά την προβληματική σχέση μεταξύ ψηφιακών και μη-ψηφιακών μέσων (για παράδειγμα, ψηφιακά και έντυπα βιβλία) (Kucirkona, 2014). Συνέπεια αυτού του μύθου είναι πρακτικές όπου τεχνολογία και αναλογικά μέσα είναι σε αντιπαράθεση και όχι σε μια αλληλο-συμπληρωματική σχέση (Edwards, 2013). Η δεύτερη παρανόηση σχετίζεται με τον τεχνολογικό ντετερμινισμό και στο ότι πολλοί βλέπουν την τεχνολογία ως πανάκεια. Έτσι, υποστηρίζουν ότι η τεχνολογία μπορεί να αποτελέσει την κινητήρια δύναμη για την αλλαγή στην εκπαίδευση, χωρίς να αναγνωρίζουν τον ισχυρό ρόλο του πλαισίου που εφαρμόζεται και των ατόμων που την εφαρμόζουν, δηλαδή, των εκπαιδευτικών (Livingstone et al., 2013).

Πέρα από τα παραπάνω, μια συνηθισμένη κριτική στα προγράμματα που αποσκοπούν στην εισαγωγή της τεχνολογίας στην εκπαίδευση (είτε αυτά είναι ερευνητικά είτε όχι) είναι ότι είτε το λογισμικό το οποίο θα υποστηρίξει το υλικό είναι ανεπαρκές είτε δεν υπάρχει ικανοποιητική τεχνική υποστήριξη είτε η κατάρτιση/επιμόρφωση είναι ελάχιστη έως ανύπαρκτη. Είναι απόλυτα κατανοητό ότι οι εκπαιδευτικοί βρίσκονται σε αδιέξοδο. Πώς να αντιμετωπίσουν την ταχύτητα των τεχνολογικών εξελίξεων; Με τόσα διαθέσιμα τεχνολογικά συστήματα, με ποια τεχνολογία να ασχοληθούν και πώς μπορούν να γνωρίζουν τρόπους ένταξης στην εκπαιδευτική διαδικασία; Οι εκπαιδευτικοί είναι χωρίς ουσιαστική υποστήριξη. Είναι κοινή διαπίστωση ο αργός ρυθμός με τον οποίο υλοποιούνται σημαντικές επιμορφωτικές δράσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η επιμόρφωση στις Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας (ΤΠΕ) Β' επιπέδου, της οποίας η ολοκλήρωση έχει καθυστερήσει για τουλάχιστο δέκα χρόνια. Η σχέση των εκπαιδευτικών με την τεχνολογία και, εν τέλει, η καλή της χρήση βασίζεται και πάλι στην ίδια την εκπαίδευση ως διαδικασία. Όμως, ένα τέτοιο *modus operandi* είναι απίθανο να δημιουργήσει τις κατάλληλες συνθήκες για εκπαιδευτική επανάσταση ή αλλαγή στην πράξη· το πιθανότερο είναι να αναπαραχθούν τα κυρίαρχα μοντέλα διδασκαλίας. Ένα άλλο λάθος είναι ότι αγνοείται η συστημική-θεσμική φύση της εκπαιδευτικής πρακτικής (Crook & Lewthwaite, 2013). Για παράδειγμα, τι θα συνέβαινε αν λαμβάνονταν υπόψη οι δεξιότητες των παιδιών στην τεχνολογία, οι κοινωνικές επιδράσεις, η κουλτούρα ή το οικονομικό πλαίσιο; Αυτό το ευρύτερο πλαίσιο συνδέεται στενά με τους τρόπους με τους οποίους η τεχνολογία μπορεί να υποστηρίξει τη μάθηση (Crook, 1991).



Συμπερασματικά, υπάρχουν σοβαρά προβλήματα και στο πώς και στο πόσο χρησιμοποιείται η τεχνολογία. Λογικό είναι να υπάρχουν προβλήματα που σχετίζονται με τα μαθησιακά αποτελέσματα. Ωστόσο, όπως φάνηκε πιο πάνω, η τεχνολογία αυτή καθαυτή δεν είναι υπεύθυνη. Η περιορισμένη χρήση της για μάθηση δεν είναι ούτε θέμα της πρόσβασης των μαθητών σε τεχνολογικά εργαλεία στο σχολείο ούτε ζήτημα τεχνολογικών υποδομών. Σε τι οφείλεται όμως; Ο Van Broekhuizen (2016) υποστήριξε ότι ποτέ η σχολική εκπαίδευση δεν προσπάθησε πραγματικά να αξιοποιήσει ή να ενσωματώσει την τεχνολογία για να εξατομικεύσει και να εμπραθύνει τη μάθηση. Δυστυχώς, το εκπαιδευτικό κατεστημένο δεν ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές και αυτό δεν έχει να κάνει μόνο με την τεχνολογία. Την ίδια στιγμή, η τεχνολογική πρόοδος πιέζει για ακόμα περισσότερες αλλαγές.

Η τεχνολογική πίεση έχει οδηγήσει σε μια βαθιά αντίφαση. Οι σημερινοί μαθητές είναι ψηφιακά γηγενείς (digital natives), είναι δηλαδή, απόλυτα εξοικειωμένοι με μια μεγάλη γκάμα ψηφιακών εργαλείων και υπηρεσιών. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τους δασκάλους τους, οι οποίοι είναι ψηφιακοί μετανάστες (digital immigrants) (Prensky, 2001) και, όπως αναφέρθηκε, διστάζουν να εντάξουν την τεχνολογία στην καθημερινή διδακτική τους πρακτική. Ως αποτέλεσμα, έξω από την τάξη, οι μαθητές ασχολούνται σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση τεχνολογιών (που μάλιστα κάποιες θεωρούνται τεχνολογίες αιχμής), πολλές από τις οποίες εύκολα θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν από τα σχολεία. Μέσα στην τάξη, οι τεχνολογίες αυτές είναι αποκλεισμένες.

Παρόλα αυτά, είτε κάποιος το θέλουν είτε όχι είτε τα σχολεία είναι έτοιμα είτε όχι, η τεχνολογία θα βρει τελικά το δρόμο της προς την τάξη και στα χέρια των μαθητών. Αυτό γιατί, από κάποιο σημείο και μετά, η χρήση των ψηφιακών εργαλείων θα είναι ένα τόσο αναπόσπαστο κομμάτι της κοινωνίας, που η εισβολή της θα είναι αναπόφευκτη. Πιθανότατα, κάτι τέτοιο έχει ήδη συμβεί. Εν ολίγοις, είναι πολύ αργά να κρατηθεί την τεχνολογία μακριά από τις τάξεις ή τις ζωές των παιδιών. Μπορεί κάποιος να νομίζουν ότι προστατεύουν τους μαθητές όταν τους κρατούν κλεισμένους σε μία "φούσκα" χωρίς τεχνολογία κατά τη διάρκεια του σχολείου, αλλά τελικά αυτοί πηγαίνουν σπίτι τους, αποφοιτούν, παίρνουν θέσεις εργασίας. Παντού μπορούν ή είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία. Αν μπλοκαριστεί η χρήση της στο σχολείο, μπορεί, τελικά, αυτό να αποβεί επιζήμιο. Πρέπει λοιπόν, τα παιδιά να ασχολούνται με δυναμικά, ευπροσάρμοστα τεχνολογικά περιβάλλοντα στο σχολείο, ώστε να είναι επιτυχημένα αργότερα. Είναι, λοιπόν, αδήριτη η ανάγκη οι εκπαιδευτικοί να εντάξουν τεχνολογικά εργαλεία στο μάθημά τους, έτσι ώστε, όχι μόνο να συμβαδίζουν με τις ανάγκες της εποχής τους, αλλά και για να κάνουν το μάθημά τους ελκυστικότερο για τους ψηφιακά γηγενείς μαθητές τους. Εξυπακούεται ότι οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να καταστούν ικανοί να κάνουν σοφές επιλογές για το τι τεχνολογικά εργαλεία να χρησιμοποιήσουν και πώς να τα χρησιμοποιήσουν.

Μέσα στο παραπάνω πλαίσιο, με δεδομένο τον ρυθμό της τεχνολογικής εξέλιξης από τη μία και τις διαρκώς μεταβαλλόμενες παιδαγωγικές αντιλήψεις από την άλλη, λογικό είναι να κάνει πολλούς να αναρωτιούνται ποια τεχνολογία, στο κοντινό μέλλον, θα προκαλέσει το ίδιο ενδιαφέρον και συζήτηση όπως η εισαγωγή των πρώτων εκπαιδευτικών εφαρμογών της Πληροφορικής πριν από κάποια χρόνια. Με άλλα λόγια, ποιες μπορεί να είναι οι νέες "Νέες Τεχνολογίες" στην εκπαίδευση; Βέβαια, ακόμα πιο σημαντικό ερώτημα είναι το εάν αυτές οι νέες "Νέες Τεχνολογίες" θα μπορέσουν να ανατρέψουν τη δυσάρεστη κατάσταση που αναφέρθηκε προηγουμένως αναφορικά με τον βαθμό διείσδυσης και τον τρόπο χρήσης της τεχνολογίας στην εκπαίδευση, ανοίγοντας τον δρόμο για τον ουσιαστικό μετασχηματισμό της.

Το να προσπαθεί κάποιος να προβλέψει το μέλλον είναι μία πρακτική που συχνά -αν όχι πάντα- οδηγεί σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Συνεπώς, οποιαδήποτε ανάλυση μπορεί να θεωρηθεί ισορροπία σε τεττωμένο σχοινί. Αν είναι αρκετά συντηρητική, ίσως αποτύχει να εντοπίσει τις επερχόμενες αλλαγές. Αν είναι αρκετά ρηξικέλευθη, μπορεί να χαρακτηριστεί "επιστημονική φαντασία". Η ερώτηση, ωστόσο, παραμένει η ίδια: Ποια τεχνολογία μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του σχολείου του μέλλοντος; Ένας τρόπος να απαντηθεί αυτή η ερώτηση είναι να εξεταστεί το δυναμικό -ή καλύτερα το μη αξιοποιημένο δυναμικό- των υπαρχουσών τεχνολογιών και των εφαρμογών τους και μετά να γίνουν υποθέσεις για το κατά πόσο αυτό το δυναμικό είναι αρκετό για να ξεκινήσει και να συντηρήσει έναν νέο εκπαιδευτικό μετασχηματισμό.

Ποιες είναι λοιπόν οι υπάρχουσες τεχνολογίες που έχουν ευρεία εκπαιδευτική χρήση; Η απάντηση είναι αρκετά εύκολη: το Διαδίκτυο (περιλαμβανομένων των εφαρμογών που εκτελούνται διαδικτυακά) και οι εφαρμογές πολυμέσων/ υπερμέσων. Και οι δύο είναι οι πιο κοινές μορφές χρήσης υπολογιστών σε κάθε εκπαιδευτική βαθμίδα και είναι τόσο αλληλένδετες, που μπορεί να θεωρηθούν ως μία και μόνη μορφή. Πράγματι, κάθε εφαρμογή πολυμέσων, χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες, μπορεί να επεκτείνει τις δυνατότητές της αξιοποιώντας πηγές από το Διαδίκτυο και κάθε εφαρμογή του Διαδικτύου ενσωματώνει σε ποικίλο βαθμό στοιχεία πολυμέσων.

Ποιο είναι όμως το δυναμικό αυτών των εφαρμογών που μέχρι τώρα δεν έχει αξιοποιηθεί απόλυτα; Κατά πρώτον, η εξάλυσή τους. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι να μειωθεί το κόστος το οποίο αφορά είτε στην απόκτηση μίας ηλεκτρονικής συσκευής είτε μίας εφαρμογής είτε της σύνδεσης στο Διαδίκτυο. Δεύτερον, υπάρχουν ήδη διαθέσιμες (με λογικό κόστος) τεχνολογίες που βελτιώνουν κατά πολύ την ταχύτητα σύνδεσης του μέσου χρήστη στο Διαδίκτυο (για παράδειγμα, οι οπτικές ίνες). Μάλιστα, είναι διαθέσιμη η τεχνολογία 5G, η οποία αυξάνει εκθετικά τις ταχύτητες ασύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Παρότι το κόστος της είναι ακόμα υψηλό, αναμένεται να μειωθεί σημαντικά τα επόμενα έτη. Τόσο η μείωση του κόστους όσο και η αύξηση της ταχύτητας, θα έχουν τεράστια επίπτωση στον όγκο και το είδος των δεδομένων που μπορεί να διακινηθεί σε σύντομο χρόνο, σε ένα μεγάλο αριθμό χρηστών. Με άλλα λόγια, οι ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες, πέρα από το ότι επιτρέπουν την υλοποίηση ακόμα πιο σύνθετων και απαιτητικών εφαρμογών, μπορούν να υλοποιήσουν, ακόμα καλύτερα, το δημοκρατικό ιδεώδες της "πρόσβασης στη γνώση από όλους".

Αναφορικά με το θέμα της εφαρμογής νέων παιδαγωγικών θεωριών, φαίνεται ότι ο εποικοδομισμός είναι η κρατούσα άποψη. Πράγματι, η μελέτη των τρόπων με τους οποίους οι μαθητές αλληλεπιδρούν με το κάθε γνωστικό αντικείμενο επέτρεψε τη διαμόρφωση της άποψης ότι η γνώση δεν είναι απλά το αποτέλεσμα μετάδοσής της από τον εκπαιδευτικό στον μαθητή, αλλά δομείται από τον δεύτερο. Ο εποικοδομισμός, αν και δεν είναι μία ενιαία θεωρία, υποστηρίζει αυτή την άποψη, παραδέχεται ότι τα άτομα κατασκευάζουν τις δικές τους αναπαραστάσεις της πραγματικότητας, αναγνωρίζει ότι μαθαίνουν μέσω της ενεργού συμμετοχής και δράσης και, τέλος, επισημαίνει ότι η μάθηση είναι μία διαλεκτική και αλληλεπιδραστική δραστηριότητα με τον κοινωνικό περίγυρο. Όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο, ο εποικοδομισμός παρέχει αρκετές ιδέες για το πώς μπορεί να επιτευχθούν τα παραπάνω με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, κυρίως κατασκευάζοντας εφαρμογές που δεν θέτουν όρια στο είδος και τη μορφή των αλληλεπιδράσεων που μπορεί να έχει ο χρήστης με αυτές. Πολλοί μπορεί να υποστηρίξουν ότι όλα αυτά ήδη υλοποιούνται με τις υπάρχουσες τεχνολογικές εφαρμογές. Πράγματι, οι όροι "αλληλεπίδραση", "ελεύθερη και μη γραμμική πλοήγηση", "συνεργασία" και "έλεγχος του μαθητή πάνω στο γνωστικό αντικείμενο" είναι συχνοί σε επιστημονικά

συγγράμματα που μελετούν και υποστηρίζουν τη χρήση διαδικτυακών και πολυμεσικών εφαρμογών στην εκπαίδευση.

Όμως, πρέπει να τεθεί το ερώτημα για το εάν οι εφαρμογές πολυμέσων και το Διαδίκτυο έφεραν πράγματι επανάσταση στον τρόπο που διδάσκονται οι μαθητές ή αν είναι απλώς εργαλεία που υποβοηθούν τη διδασκαλία. Η επιχειρηματολογία για την έννοια της συνεργασίας υπάρχει από πολύ καιρό πριν την εμφάνιση των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Το ίδιο ισχύει και για τις έννοιες της διερευνητικής μάθησης, της αλληλεπίδρασης και άλλων μαθητοκεντρικών διδακτικών προσεγγίσεων. Κατά κάποιον τρόπο, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι στην πραγματικότητα αυτό που πέτυχαν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές είναι να παρέχουν έναν πιο εύκολο τρόπο για την υλοποίηση των παραπάνω.

Μήπως οι εφαρμογές πολυμέσων και το Διαδίκτυο διαφέρουν πάρα πολύ από τα μέσα που είχε στη διάθεσή του ένας εκπαιδευτικός τριάντα, σαράντα, πενήντα ή ακόμα εκατό χρόνια πριν; Όχι στην πραγματικότητα. Ο μαυροπίνακας, τα βιβλία, η τηλεόραση και το βίντεο βρίσκονται συμπιεσμένα και όμορφα παρουσιασμένα σε μία συσκευή που λέγεται ηλεκτρονικός υπολογιστής. Έτσι, αντί οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές να έχουν στη διάθεσή τους βιβλία, μπορούν να εφοδιαστούν με φορητούς υπολογιστές που να περιέχουν ό,τι είναι απαραίτητο για τη σχολική χρονιά. Παρότι μία τέτοια εξέλιξη θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική, δεν αλλάζει εκ βάθρων την εκπαίδευση.

Δεν είναι όμως η εξ αποστάσεως εκπαίδευση μία σημαντική καινοτομία που έφεραν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και το Διαδίκτυο; Μάλλον όχι. Και πάλι αυτό που συμβαίνει είναι ότι οι υπολογιστές παρέχουν, με διαφορετικό τρόπο, λύσεις που υπήρχαν καιρό πριν. Οι μαθητές στη Φιλανδία, την Αυστραλία, τον Καναδά και σε άλλες περιοχές του πλανήτη χρησιμοποιούσαν την από απόσταση εκπαίδευση πολύ καιρό πριν από την έλευση των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Και πάλι, βέβαια, θα πρέπει να αναγνωριστεί ότι τα ψηφιακά μέσα επιτρέπουν την υλοποίηση της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης πιο αποτελεσματικά και με πιο σύνθετους τρόπους.

Όλα τα επιχειρήματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η τεχνολογία που ήδη χρησιμοποιείται ευρύτατα στην εκπαίδευση παρέχει μία πιο ευέλικτη, πιθανώς πιο οικονομική και συζητήσιμη καλύτερη μορφή "παραδοσιακής" εκπαίδευσης. Ωστόσο, σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να υποστηριχθεί ότι μετασχημάτισε ριζικά την εκπαίδευση. Για να γίνουν υποθέσεις για το ποια τεχνολογία θα μπορούσε να προκαλέσει έναν ριζικό εκπαιδευτικό μετασχηματισμό, θα πρέπει να απαντηθούν πιο θεμελιώδεις ερωτήσεις. Κατά βάση, θα πρέπει να αναζητηθεί τι πρόβλημα υπάρχει και με τα βιβλία και με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τι πρόβλημα υπάρχει με τους τεχνολογικά εμπλουτισμένους και τους παραδοσιακούς τρόπους διδασκαλίας.

Η απάντηση βρίσκεται στο γεγονός ότι κάποιος (ο εκπαιδευτικός) ή κάτι (ο μαυροπίνακας, το βιβλίο, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής) παρεμβάλλονται μεταξύ της ανεπεξέργαστης πληροφορίας και γνώσης και του ατόμου που επιθυμεί ή πρέπει να γνωρίσει αυτή τη γνώση. Αυτός που μαθαίνει δεν έχει άμεση πρόσβαση στη γνώση, αλλά έμμεση. Τα δεδομένα έχουν ήδη δεχτεί επεξεργασία από τον εκπαιδευτικό, τον συγγραφέα του βιβλίου, τον προγραμματιστή που κατασκεύασε την εφαρμογή ή τις ιστοσελίδες. Έτσι όμως, οι μαθητές είναι αποκομμένοι ίσως από τον πιο σημαντικό τρόπο που οι άνθρωποι μαθαίνουν, δηλαδή από τις εμπειρίες πρώτου προσώπου. Παρότι αυτή η έννοια θα αναλυθεί στη συνέχεια, στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι εμπειρίες πρώτου προσώπου

αφορούν τις άμεσες εμπειρίες που αποκομίζει ένα άτομο από την καθημερινή του επαφή με τον κόσμο που το περιβάλλει. Τέτοιες εμπειρίες είναι άμεσες, προσωπικές και υποκειμενικές. Σε μεγάλο βαθμό, αυτού του είδους οι εμπειρίες σχετίζονται με αυτό που είναι γνωστό με τον όρο "εμπράγματα εμπειρίες" (hands on experiences). Αντίστοιχα, "εμπειρίες τρίτου προσώπου" είναι οι έμμεσες, επεξεργασμένες από άλλους, εμπειρίες. Ένα απλουστευμένο παράδειγμα, που δείχνει την αντιδιαστολή εμπειριών πρώτου και τρίτου προσώπου, είναι η σημαντική διαφορά μεταξύ του να βλέπει κάποιος μία κινηματογραφική ταινία και να του την αφηγείται κάποιος άλλος, έστω και πολύ παραστατικά. Μικρό ή μεγάλο μέρος της εμπειρίας που θα βίωνε, των συναισθημάτων που θα ένιωθε και των γνώσεων που θα μπορούσε να αποκτήσει κάποιος, έχει "χαθεί" στη δεύτερη περίπτωση.

Υπάρχει όμως μία τεχνολογία που θα μπορούσε να δώσει λύση στο παραπάνω πρόβλημα και, κατ' επέκταση, να μετασχηματίσει την εκπαίδευση. Πρόκειται για τα τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα ή, αλλιώς, Εικονική Πραγματικότητα (ΕΠ). Όπως φαίνεται από τον όρο, πρόκειται για ψηφιακά περιβάλλοντα που δημιουργούνται με τη χρήση τρισδιάστατων γραφικών (Freina & Ott, 2015) και αποσκοπούν στη δημιουργία ρεαλιστικών, πλούσιων και "πρώτου προσώπου" εμπειριών στους χρήστες. Μάλιστα, μία παραλλαγή της ΕΠ, η Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα (ΠΕΕΠ), παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Παρότι η ΕΠ δεν είναι μία πρόσφατη τεχνολογία, τα τελευταία χρόνια η εξέλιξή της είναι σημαντική και το ίδιο ισχύει για τον ρυθμό διάδοσής της. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι με την εμφάνιση των τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων, ένας ολόκληρος νέος κόσμος για τη μάθηση έχει κάνει την εμφάνισή του, προσφέροντας ακόμα περισσότερα καινοτόμα μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκπαίδευση (Taiwo, 2010). Έρευνες έχουν δείξει ότι οι εφαρμογές της ΕΠ και τρισδιάστατων προσομοιώσεων, γενικά, ενισχύουν τα επίπεδα των εγγενών κινήτρων και της δημιουργικότητας (Brown et al., 2008), λόγω του είδους των εμπειριών που παρέχουν (Fokides & Atsikrasi, 2018). Όπως θα φανεί σε επόμενα κεφάλαια, μελέτες καταδεικνύουν ότι μπορεί να έχει ιδιαίτερα θετικά μαθησιακά αποτελέσματα σε πολλά γνωστικά αντικείμενα. Έτσι, στα επόμενα κεφάλαια αναλύεται σε βάθος τόσο η ΕΠ όσο και η ΠΕΕΠ, εξετάζοντας διάφορες πτυχές τους, εστιάζοντας, φυσικά, στη μάθηση και την εκπαίδευση.



# Κεφάλαιο 1. Εικονική Πραγματικότητα, ορισμοί και ιστορικό

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμοί για την ΕΠ και γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξή της, έτσι ώστε ο αναγνώστης να έχει μία καλύτερη αντίληψη για τη διαχρονική εξέλιξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

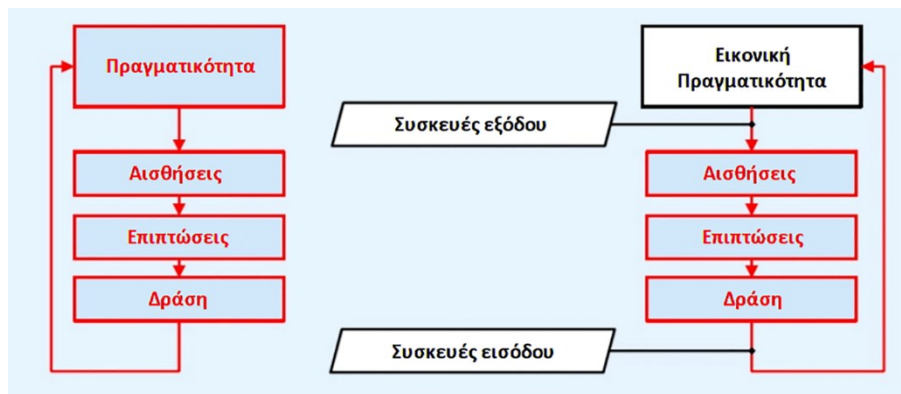
### **1.1. Ορισμοί για την Εικονική Πραγματικότητα**

Έχουν δοθεί αρκετοί ορισμοί για την ΕΠ και της έχουν αποδοθεί πολλά χαρακτηριστικά, ενώ έχει διερευνηθεί εκτενώς σε επίπεδο τεχνολογίας, δυνατοτήτων και εφαρμογών σε διάφορους επιστημονικούς τομείς. Ως όρος αποδίδεται στον Lanier, το 1987 (Lewis, 1994). Μέχρι τότε χρησιμοποιούταν διάφοροι όροι για αυτήν την τεχνολογία. Για παράδειγμα, ο Krueger (1992), τη δεκαετία του 1970, την περιέγραψε ως "τεχνητή πραγματικότητα", εννοώντας την τεχνολογία που επιτρέπει στους χρήστες να συμμετέχουν φυσικά σε μία προσομοίωση που δημιουργήθηκε από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο Gibson, το 1982, εισήγαγε τον όρο "Κυβερνοχώρος", δηλαδή ένα παράλληλο σύμπαν δημιουργημένο από ηλεκτρονικούς υπολογιστές (Doherty, 1994).

Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι η ΕΠ προσφέρει έναν τρόπο προσομοίωσης της πραγματικότητας. Δεν είναι ακριβώς τόσο "πραγματική" όπως η φυσική πραγματικότητα, αλλά λειτουργεί καλύτερα στον χώρο που είναι ακριβώς κάτω από αυτό που θα μπορούσε να ονομαστεί "ορίζοντας πραγματικότητας". Για παράδειγμα, εάν ένα εικονικό αμάξι χτυπήσει ένα χρήστη, δεν υπάρχει σωματικός τραυματισμός, αλλά, παρ' όλα αυτά, κάποιος μπορεί να αισθανθεί άγχος. Από την άλλη, όπως επισήμανε ο Lanier, η πραγματική δύναμη της ΕΠ είναι να πάει πέρα από αυτό που είναι πραγματικό, είναι κάτι περισσότερο από προσομοίωση, είναι δημιουργία, επιτρέποντας στον χρήστη να βγει από τα όρια της πραγματικότητας και να βιώσει καταστάσεις που διαφορετικά θα ήταν αδύνατες.

Κατά βάση, ο όρος "Εικονική Πραγματικότητα" είναι αντιφατικός. Το επίθετο "εικονικός/ή/ό" έχει και τη σημασία του "ψεύτικου", κάτι που δεν υπάρχει στην πραγματικότητα. Το ουσιαστικό "πραγματικότητα" αναφέρεται σε κάτι αληθινό, όχι φανταστικό, που έχει πραγματική υπόσταση. Στον όρο "Εικονική Πραγματικότητα" αυτές οι δύο έννοιες συναντιούνται και ενοποιούνται. Αυτό σημαίνει πως οτιδήποτε μπορεί να συμβεί στην πραγματικότητα μπορεί να προγραμματιστεί να συμβεί αλλά μόνο "εικονικά". Όμως, βασική επιδίωξη αυτής της τεχνολογίας είναι να αναπαραγάγει την πραγματικότητα τόσο καλά ώστε οι χρήστες να μην μπορούν να κάνουν διάκριση μεταξύ της "ψεύτικης πραγματικότητας" και της "πραγματικής πραγματικότητας" (Sutherland, 1968). Με άλλα λόγια προσπαθεί να κάνει το ψεύτικο να μοιάζει αληθινό.

Τα άτομα αντιλαμβάνονται την πραγματικότητα μέσω των αισθήσεών τους. Μάλιστα, υπάρχουν δύο βασικά στάδια επεξεργασίας: (α) η αίσθηση (sensation) που αφορά τη συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον και (β) η αντίληψη (perception) που αφορά την ερμηνεία (interpreting) των δεδομένων. Ένα απλό σχήμα σχετικά με την αντίληψη της πραγματικότητας, ξεκινά το φιλτράρισμα αυτής από τις αισθήσεις (senses), περνάει από τη συνείδηση (consciousness) και γίνεται δράση που επιστρέφει ξανά στην (πραγματική) πραγματικότητα (Takala, 2017) (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1.** Η αντίληψη πραγματικότητας και Εικονικής Πραγματικότητας

Από την άλλη, όπως αναφέρθηκε, η ΕΠ έχει ως σκοπό τη δημιουργία της ψευδαίσθησης της πραγματικότητας. Ουσιαστικά, εστιάζει στο να ξεγελάει την ανθρώπινη αντίληψη, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία, με τη δημιουργία τεχνητών αισθήσεων (όπως εικόνες, ήχους, δονήσεις και μυρωδιές παραγόμενες από ηλεκτρονικό υπολογιστή). Έτσι, στο προηγούμενο σχήμα όταν προσαρμοστεί για να περιλάβει την ΕΠ, πριν από το στάδιο των αισθήσεων παρεμβάλλεται η τεχνολογία με τις συσκευές εισόδου και, αντίστοιχα, μετά τη δράση και πριν την επιστροφή της δράσης στην ΕΠ, παρεμβάλλονται οι συσκευές εξόδου. Συνεπώς και στα δύο μοντέλα περιλαμβάνονται οι ίδιες διαδικασίες, με τη διαφορά σε αυτά να βρίσκεται, πρώτον, στο είδος της πραγματικότητας και, δεύτερον, στο ότι στην ΕΠ είναι απαραίτητες οι συσκευές εισόδου-εξόδου.

Συνήθως, οι ερευνητές ορίζουν την ΕΠ ο καθένας από τη δική του οπτική γωνία. Για παράδειγμα, κάποιος αναφέρει ότι η ΕΠ είναι ένα μέσο που επιτρέπει στους ανθρώπους να οπτικοποιήσουν, να διαχειριστούν και να αλληλεπιδράσουν τόσο με υπολογιστικά συστήματα όσο και με εξαιρετικά πολύπλοκα δεδομένα σε ένα εικονικό περιβάλλον (Aukstakalnis & Blatner, 1992). Οι Pimentel και Teixeira (1993) όρισαν την ΕΠ ως μία εμβυθιστική, διαδραστική εμπειρία που δημιουργείται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ένας άλλος ορισμός αναφέρει ότι η ΕΠ είναι ένα κλειστό σύστημα που αποτελείται από ένα εικονικό περιβάλλον, ένα φυσικό περιβάλλον, καθώς και μία διεπαφή λογισμικού και υλικού, η οποία επιτρέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου και ηλεκτρονικού υπολογιστή (Zaho, 2002). Κατά άλλους, η ΕΠ είναι μία τεχνολογία με την οποία ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδρά με έναν εικονικό, μη-πραγματικό κόσμο και να χειρίζεται άμεσα τα αντικείμενά του (Ihlenfeldt, 1997) Άλλοι ανέφεραν ότι η ΕΠ είναι ένα σύνολο υλικού (ηλεκτρονικός υπολογιστής και ειδικές συσκευές) και λογισμικού (προγράμματα γραφικών και κίνησης και ειδικά προγράμματα κατασκευής εικονικών κόσμων) με το οποίο τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να οπτικοποιούν και να αλληλεπιδρούν με εξαιρετικά περίπλοκα δεδομένα στις τρεις διαστάσεις (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011). Έτσι, στην ουσία, η ΕΠ μπορεί να οριστεί ως ένα υψηλής τεχνολογίας μέσο διασύνδεσης ανθρώπου-υπολογιστή που περιλαμβάνει προσομοίωση πραγματικού χρόνου και αλληλεπιδράσεις μέσα από πολλαπλά αισθητηριακά κανάλια.

Οι παραπάνω ορισμοί προσπαθούν να περιγράψουν, με όσο το δυνατόν καλύτερο τρόπο, τι είναι η ΕΠ. Αυτό που προκύπτει είναι ότι η ΕΠ, με κύριο εργαλείο της τον ηλεκτρονικό υπολογιστή (ή οποιαδήποτε άλλη ηλεκτρονική συσκευή), δημιουργεί στους χρήστες οπτικά, ακουστικά ή άλλου είδους αισθητήρια ερεθίσματα, ώστε να τους εμβυθίσει σε έναν εικονικό κόσμο. Όσον αφορά την έννοια της αλληλεπίδρασης (που αναφέρθηκε σε κάποιον από τους παραπάνω ορισμούς), αυτή προσδιορίζει τη δυνατότητα των χρηστών να επιλέγουν, να διαμορφώνουν και να κατασκευάζουν

τριδιάστατα αντικείμενα και τελικά τους δικούς τους εικονικούς κόσμους. Ο παράγοντας "χρήστης" φαίνεται ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην ΕΠ. Δηλαδή, αυτή η τεχνολογία συνυπολογίζει τις ενέργειές του στον κόσμο αυτής της ψευδαίσθησης και την ικανότητά του να επηρεάσει ό,τι υπάρχει μέσα σε αυτόν (Sherman & Judkins, 1992). Συμπερασματικά, οι ορισμοί που αναφέρθηκαν παραπάνω, θεωρούν την ΕΠ ως μία τεχνολογία που αποσκοπεί στη ρεαλιστική προσομοίωση ενός πραγματικού ή φανταστικού περιβάλλοντος.

Ωστόσο, η ρεαλιστική προσομοίωση φαίνεται να μην είναι αναγκαία συνθήκη. Η αντίληψη του άμεσου περιβάλλοντος εξαρτάται από τα δεδομένα που συλλέγονται από τα αισθητηριακά συστήματα (ώραση, ακοή, αφή, γεύση και όσφρηση). Παρόλα αυτά, ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι τα άτομα εστιάζουν σε ένα πολύ μικρό αριθμό βασικών σημείων στον χώρο και, στη συνέχεια, τα μάτια σαρώνουν μονοπάτια που τείνουν να ακολουθούν επαναλαμβανόμενα μοτίβα (Noton & Stark, 1971). Στην πραγματικότητα λοιπόν, οι άνθρωποι παρότι αντιλαμβάνονται ένα μικρό ποσοστό από αυτά που πρέπει να δουν, ο εγκέφαλος δημιουργεί ένα πλήρες μοντέλο του χώρου. Έχει μάλιστα υποστηριχθεί ότι το μοντέλο του χώρου τείνει να οδηγεί τις κινήσεις των ματιών και όχι το αντίστροφο (Chernyak & Stark, 2001). Σύμφωνα με τον Stark (1995), αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η ΕΠ λειτουργεί ακόμη και αν η απεικόνιση του εικονικού περιβάλλοντος είναι απλοϊκή ή ακόμα και κακή. Φαίνεται πως η ΕΠ προσφέρει αρκετά στοιχεία στον εγκέφαλο ώστε αυτός να υποθέσει ότι "αυτό είναι ένα δωμάτιο" και, στη συνέχεια, με βάση ένα εσωτερικό μοντέλο, να δημιουργήσει το μοντέλο του συγκεκριμένου δωματίου, χρησιμοποιώντας έναν αντιληπτικό μηχανισμό συμπλήρωσης. Έτσι, ίσως θα ήταν πιο εύστοχο να υποστηριχθεί πως ο στόχος της ΕΠ είναι να αντικαταστήσει την αντίληψη της πραγματικότητας με την αντίληψη που δημιουργείται από τον υπολογιστή.

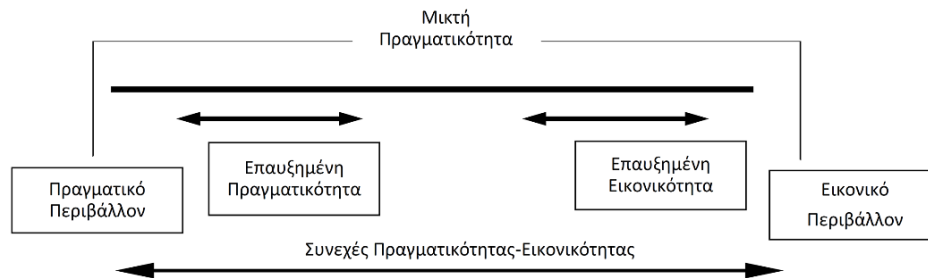
Εάν οι αισθητηριακές αντιλήψεις αντικαθίστανται αποτελεσματικά, τότε ο εγκέφαλος δεν έχει άλλη επιλογή από το να εξαγάγει το αντιληπτικό μοντέλο από τη ροή των αισθητηρίων δεδομένων που του δίνει η ΕΠ. Ως εκ τούτου, η συνείδηση του εικονικού μετατρέπεται σε συνείδηση του πραγματικού, παρά τη βεβαιότητα του ατόμου ότι αυτό που βλέπει δεν είναι πραγματικό. Οι παράγοντες που είναι κρίσιμοι για την παραπάνω αισθητηριακή υποκατάσταση είναι γνωστοί εδώ και αρκετά χρόνια, όπως το ευρύ πεδίο απεικόνισης, η παρακολούθηση των κινήσεων του κεφαλιού/χεριών/σώματος, ο χαμηλός χρόνος ανταπόκρισης του συστήματος (latency) και η υψηλή ανάλυση (Barfield & Hendrix, 1995· Ellis, 1996· Heeter, 1992· Held & Durlach, 1992· Loomis, 1992· Sheridan, 1992, 1996· Slater & Wilbur, 1997· Steuer, 1992).

Συνεπώς, συνυπολογίζοντας και τον ανθρώπινο παράγοντα, μπορεί να διευρυνθεί ο όρος "Εικονική Πραγματικότητα", υιοθετώντας τον ορισμό που δίνουν οι Macpherson και Keppell (1998) ότι η ΕΠ είναι μία κατάσταση που δημιουργείται στο μυαλό και που μπορεί, με μεταβαλλόμενο ποσοστό επιτυχίας, να απασχολεί την προσοχή ενός ανθρώπου με τρόπο παρόμοιο με αυτόν στο πραγματικό περιβάλλον. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται συμβάλλουν στη δημιουργία αυτής της κατάστασης. Με άλλα λόγια, η ΕΠ δεν είναι απλώς και μόνο μία νέα τεχνολογία. Είναι μία νοητική κυρίως κατάσταση, στην οποία το υποκείμενο-χρήστης βυθίζεται -μερικώς ή ολικώς- σε ένα τεχνητό περιβάλλον, το οποίο μπορεί να έχει μεγάλες ομοιότητες ή διαφορές από την πραγματικότητα.

Επιστρέφοντας στην τεχνολογική προσέγγιση του όρου, στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το "Συνεχές Πραγματικότητας-Εικονικότητας" των Milgram και Kishino (1994). Από αυτό γίνεται αντιληπτό το πού τοποθετείται η ΕΠ σε σχέση με το υπερσύνολο της Μικτής Πραγματικότητας. Η Μικτή



Πραγματικότητα κυμαίνεται από το εντελώς πραγματικό χωρίς ψηφιακά στοιχεία, μέχρι το εντελώς εικονικό που δεν περιλαμβάνει καθόλου πραγματικά στοιχεία. Επίσης, η Μικτή Πραγματικότητα περιλαμβάνει την Επαυξημένη Πραγματικότητα και την Επαυξημένη Εικονικότητα που επικαλύπτονται σε αρκετά σημεία. Και στις δύο περιπτώσεις ο πραγματικός κόσμος, εμπλουτίζεται με εικονικά αντικείμενα (δύο ή τριών διαστάσεων που παρέχουν πληροφορίες) και οι χρήστες συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν με αυτά (Milgram & Kishino, 1994).



**Σχήμα 2.** Το συνεχές πραγματικότητας-εικονικότητας (Milgram & Kishino, 1994)

## 1.2. Ιστορική αναδρομή

Για να γίνει πιο κατανοητή η ΕΠ, παρουσιάζεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή περιλαμβάνοντας ενδεικτικά στάδια της εξέλιξής της με αναφορές στους πρωτοπόρους και όσους συνέδραμαν στη διαμόρφωσή της μέχρι σήμερα.

### Πανοραμικές τοιχογραφίες

Οι πανοραμικές τοιχογραφίες (ή πανοραμικές ζωγραφιές) του 19<sup>ου</sup> αιώνα αποτελούν τον πρόδρομο της ΕΠ, σε μία εποχή που κανείς δεν είχε συλλάβει αυτόν τον όρο. Οι ζωγραφιές έδιναν στους θεατές μία επιβλητική, έντονη και πολύ ζωντανή εμπειρία, κάνοντάς τους να νιώθουν ότι πραγματικά βρίσκονται στον χώρο όπου συντελέστηκε το γεγονός ή η σκηνή που αναπαριστούν. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η μάχη του Borodino (1812) που φιλοτέχνησε ο Franz Roubaud και εκτίθεται στο Μουσείο Borodino Ραπογαμα. Πρόκειται πράγματι για έναν τεράστιο κυκλικό πίνακα, με περιφέρεια περίπου 116 μέτρα.



**Εικόνα 1.** Η μάχη του Borodino

### Στερεοσκόπιο

Ο Wheatstone, Άγγλος επιστήμονας και εφευρέτης, το 1838, δημοσίευσε τις ανακαλύψεις του σχετικά με την αντίληψη των τρισδιάστατων αντικειμένων. Παρατήρησε ότι η απόσταση επηρεάζει την αντίληψη του βάθους ενός αντικειμένου· ένα αντικείμενο που είναι πιο κοντά σε έναν παρατηρητή φαίνεται διαφορετικό από κάθε μάτι. Εφηύρε το στερεοσκόπιο (Εικόνα 2), μία συσκευή ικανή να παρουσιάσει στον παρατηρητή δύο ξεχωριστές εικόνες του ίδιου αντικειμένου σε κάθε μάτι,

ξεγελώντας τον εγκέφαλο, ο οποίος αντιλαμβάνεται ότι βλέπει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο (Wheatstone, 1838). Ουσιαστικά, ο Wheatstone έδειξε το πώς αντιλαμβανόμαστε τα τρισδιάστατα αντικείμενα (Virtual Reality Society, n. d.).



**Εικόνα 2.** Το στερεοσκόπιο

#### *Link trainer*

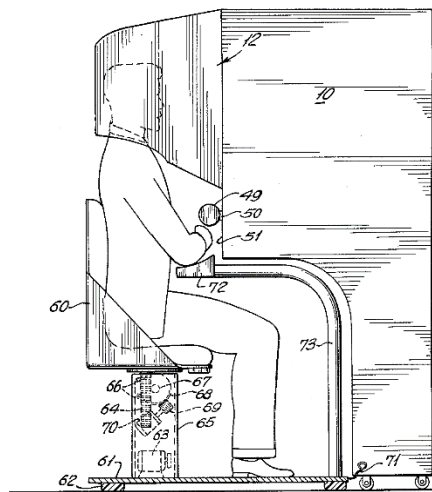
Περνώντας στον 20<sup>ο</sup> αιώνα, ο Link, το 1929, κατασκεύασε το "Link trainer" (Εικόνα 3) που προσομοίωνε, πολύ ρεαλιστικά, μία πτήση. Ελεγχόταν από κινητήρες που συνδέονταν με το πηδάλιο και το τιμόνι για να προσομοιωθεί το pitch (πρόνευση, πάνω-κάτω) και το roll (περιστροφή). Επίσης, είχε μία μικρή μηχανοκίνητη συσκευή που μιμούταν τις αναταράξεις. Αργότερα έγινε εμπορικά διαθέσιμο και, μάλιστα, κατά τη διάρκεια του Β' ΠΠ, πάνω από 10.000 Link Trainers χρησιμοποιήθηκαν από περισσότερους από 500.000 πιλότους για εκπαίδευση και βελτίωση των δεξιοτήτων τους.

#### *Sensorama*

Το Sensorama κατασκευάστηκε από τον Heilig το 1950. Ήταν μία συσκευή που μπορούσε να διεγείρει τις αισθήσεις (όραση, ακοή και όσφρηση), αλλά και να νιώσει κανείς τον άνεμο (Alqahtani et al., 2017). Διέθετε στερεοφωνικά ηχεία, μία τρισδιάστατη στερεοσκοπική οθόνη, ανεμιστήρες, γεννήτριες οσμών και μία καρέκλα που παρήγαγε δονήσεις. Το Sensorama είχε σκοπό να βυθίσει πλήρως ένα άτομο σε μία ταινία (Εικόνα 4). Ο Heilig δημιούργησε, συνολικά, έξι ταινίες μικρού μήκους για την εφεύρεσή του.



**Εικόνα 3.** Link trainer



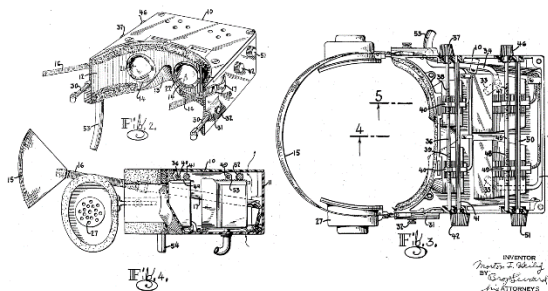
**Εικόνα 4.** Sensorama

#### *Telesphere Mask*

Η επόμενη εφεύρεση του Heilig ήταν το "Telesphere Mask", ένα από τα πρώτα HMDs (Εικόνα 5). Παρείχε στερεοσκοπική και ευρεία όραση με στερεοφωνικό ήχο, αν και δεν ήταν διαδραστικό και δεν μπορούσε παρακολουθήσει την κίνηση του χρήστη (Virtual Reality Society, n. d.).

#### *Headsight*

Το 1961, δύο μηχανικοί της Philco Corporation, οι Comeau και Bryan, κατασκεύασαν το Headsight, ένα πρόδρομο των σημερινών HMDs, με δυνατότητα παρακολούθησης της κίνησης του χρήστη (Alqahtani et al., 2017). Αυτό ενσωμάτωνε μία οθόνη για κάθε μάτι και ένα μαγνητικό σύστημα παρακολούθησης της κίνησης, το οποίο συνδεόταν με μία κάμερα κλειστού κυκλώματος (Εικόνα 6). Επέτρεπε την εμπιστευτική προβολή επικίνδυνων καταστάσεων και χρησιμοποιήθηκε από τον στρατό. Οι κινήσεις του κεφαλιού μετακινούσαν μία απομακρυσμένη κάμερα, επιτρέποντας στους χρήστες να κοιτάζουν φυσικά το περιβάλλον.



**Εικόνα 5.** Telesphere Mask



**Εικόνα 6.** Headsight

#### *Σπαθί του Δαμοκλή*

Οι Sutherland και Sproull, το 1968, δημιούργησαν την πρώτη οθόνη Εικονικής/Επαυξημένης Πραγματικότητας, το σπαθί του Δαμοκλή (Sword of Damocles), το οποίο συνδεόταν με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (Sutherland, 1968). Η συσκευή είχε μεγάλο μέγεθος και μεγάλο βάρος (Εικόνα 7). Η βασική ιδέα ήταν η αναπαραγωγή τρισδιάστατης εικόνας στο οπτικό πεδίο του χρήστη

που άλλαζε κάθε φορά που μεταβαλλόταν η θέση του. Για να το πετύχει αυτό, πρόβαλλε σε κάθε μάτι μία δισδιάστατη εικόνα, ώστε ο εγκέφαλος να συνδυάσει και τις δύο σε μία τρισδιάστατη. Όταν ο χρήστης κινούταν, μπορούσε να ανιχνευτεί η θέση και ο προσανατολισμός του κεφαλιού του και να μεταβληθεί η αντίστοιχη εικόνα.

Παρόλες αυτές τις συσκευές-εφευρέσεις, δεν υπήρχε ένας κοινός όρος που να περιγράφει με σαφή τρόπο αυτό το πεδίο της τεχνολογίας που εξελισσόταν. Το 1987, ο Lanier (Εικόνα 8) εισήγαγε τον όρο "Εικονική Πραγματικότητα" (Lewis, 1994). Επιπλέον, η εταιρία του ανέπτυξε μία γκάμα εργαλείων ΕΠ, συμπεριλαμβανομένου του Dataglove (μαζί με τον Zimmerman) και του HMD EyePhone, πρόδρομου των σύγχρονων HMDs.

Ακόμα, αναπτύχθηκαν συστήματα σε κλίμακα δωματίου, όπως προσομοιώσεις οχημάτων και το CAVE Automatic Virtual Environment (CAVE) (Εικόνες 9 και 10). Οι προσομοιώσεις οχημάτων εξελίχθηκαν τεχνολογικά πολύ από την εποχή του Link trainer και ένα παράδειγμα είναι η προσομοίωση της οδήγησης ενός αυτοκινήτου για τις ανάγκες των σχολών οδήγησης. Το πρώτο σύστημα CAVE δημιουργήθηκε το 1992 από τους Cruz-Neira et al. (1992). Πρόκειται για ένα δωμάτιο με οθόνες προβολής στους τοίχους, το δάπεδο και το ταβάνι, βιντεοπροβολείς, ηχεία, στερεοσκοπικά γυαλιά, χειριστήριο, όλα συγχρονισμένα μεταξύ τους. Επίσης, τα συστήματα CAVE παρέχουν φωτορεαλισμό, στερεοσκοπία και καθοδηγούμενη αλληλεπίδραση. Ένα μεγάλος αριθμός συμμετεχόντων μπορεί να παρακολουθήσει τον εικονικό κόσμο, όταν το CAVE έχει τη μορφή θεάτρου/κινηματογράφου με θόλο. Βέβαια, υπάρχουν μειονεκτήματα που σχετίζονται με το υψηλό κόστος υλοποίησης, τη συντήρηση και τις απαιτήσεις σε χώρο (Havig et al., 2011).



**Εικόνα 7.** Το σπαθί του Δαμοκλή



**Εικόνα 8.** Jaron Lanier



**Εικόνα 9.** Προσομοίωση οχήματος

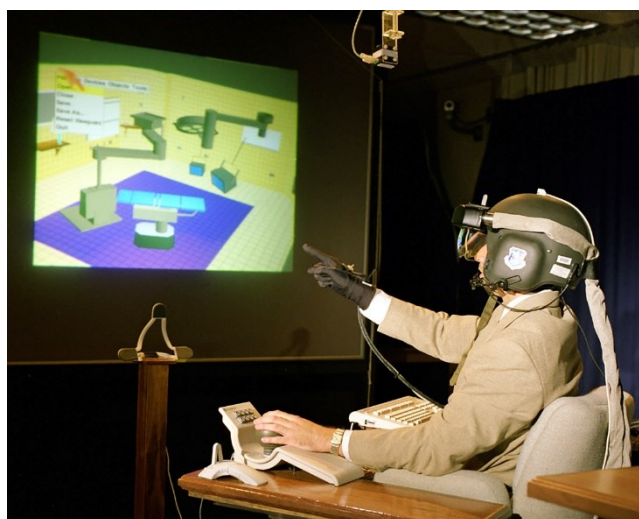


**Εικόνα 10.** CAVE

Στα τέλη της δεκαετίας του '80 και στις αρχές της δεκαετίας του '90 ο ενθουσιασμός για το μέλλον της ΕΠ ήταν μεγάλος και όλοι θεωρούσαν ότι τα ανάλογα συστήματα σύντομα θα ήταν μαζικά διαθέσιμα

με χαμηλό κόστος. Αυτός ο ενθουσιασμός φαίνεται καθαρά στα συνέδρια SIGGRAPH '89 (Conn et al., 1989) και '90 (Barlow et al., 1990). Όμως, στα μέσα της δεκαετίας του 1990, οι εταιρίες των εμπορικά διαθέσιμων συσκευών ΕΠ η μία μετά την άλλη είτε έκλειναν είτε στρέφονταν σε άλλα προϊόντα, με αποτέλεσμα λίγες να παραμείνουν ενεργές. Η αγορά των HMDs άρχισε να καταρρέει για διάφορους λόγους, κυρίως, γιατί δεν μπορούσε να δώσει στους χρήστες αυτά που υποσχόταν σε επίπεδο ψυχαγωγίας.

Πράγματι, το κόστος των συσκευών ήταν δυσανάλογα μεγάλο για την εμπειρία που παρείχαν. Για παράδειγμα, τα εισαγωγικά HMDs της εποχής ξεκινούσαν περίπου από τα 500\$ (όπως το Glasstron Lite PLM-A35 της Sony), αλλά είχαν πολύ χαμηλή ανάλυση οθόνης. Άλλες συσκευές έφταναν τα 5.000\$ (όπως το MRG 3C της Liquid Image), τα οποία είχαν καλύτερη ανάλυση. Μάλιστα, τα επαγγελματικά HMDs είχαν κόστος που έφτανε και τα 100.000\$, όπως το SimEye SR100A της Kaiser Electro-Optics Inc. (Εικόνα 11), που χρησιμοποιούταν από την αμερικανική αεροπορία. Έτσι, η ΕΠ που, κάποτε, ήταν το συνώνυμο για το μέλλον, άρχισε να ξεθωριάζει στη συνείδηση των ανθρώπων. Με απλά λόγια δεν υπήρχε συσκευή "value for money". Η χαριστική βολή στην ΕΠ δόθηκε το 1995 με την εμφάνιση του Διαδικτύου. Ξαφνικά, όλοι επιθυμούσαν να είναι "συνδεδεμένοι" σε αυτόν τον καινούριο "χώρο", τον οποίο δεν μπορούσε (ακόμα) να συναγωνιστεί η ΕΠ.



**Εικόνα 11.** SimEye SR100A

Ερχόμενοι προς το σήμερα, χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις, έγινε αναγέννηση της ΕΠ. Για παράδειγμα, το 2012, ένας νεαρός επιχειρηματίας, ο Palmer Luckey δημιούργησε ένα HMD, το Oculus Rift, το οποίο έγινε εμπορικά διαθέσιμο με κόστος περίπου 300\$ και με πολύ καλά τεχνικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 12). Αργότερα, το 2016 έγιναν εμπορικά διαθέσιμα, το HTC Vive της HTC και το Oculus Rift CV1 της Oculus (Εικόνες 13 και 14). Το 2019 κυκλοφόρησε το Oculus Quest (Εικόνα 15). Ένα χρόνο μετά ακολούθησε το Oculus Quest 2. Και οι δύο συσκευές γνώρισαν ευρεία αποδοχή από το καταναλωτικό κοινό (SuperData, 2020), ενώ βρίσκεται σε εξέλιξη πλειάδα άλλων HMDs. Έτσι, προβλέπεται πως θα γίνουν διαθέσιμες συσκευές με οθόνες που προσφέρουν υψηλότερη ανάλυση και διαθέτουν ισχυρότερους επεξεργαστές. Επίσης, θα ενσωματωθεί η Τεχνητή Νοημοσύνη και η διασύνδεση με το Διαδίκτυο θα γίνεται στις ταχύτητες που προσφέρει το 5G. Ίσως, στο μέλλον τα ολογράμματα να αντικαταστήσουν εξ ολοκλήρου αυτές τις συσκευές.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και αρκετά πολύ ακριβά HMDs που είναι εμπορικά διαθέσιμα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το Vision 8K X, της Pimax (Εικόνα 16) που χρησιμοποιείται από εταιρίες

αυτοκινήτων, χειρουργούς και αρχιτέκτονες. Αντίστοιχα είναι και το XTAL της Vrgineers και το Varjo XR-1. Για αυτού του είδους τις συσκευές θα γίνει αναλυτική αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο.



**Εικόνα 12.** Oculus Rift DK1



**Εικόνα 13.** HTC Vive



**Εικόνα 14.** Oculus Rift DK1



**Εικόνα 15.** Oculus Quest



**Εικόνα 16.** Vision 8K X



## Κεφάλαιο 2. Head-mounted displays

Είναι γεγονός ότι από τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα σημειώνονται αρκετά σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις αναφορικά με τις συσκευές και, γενικότερα, το υλικό που χρησιμοποιείται στην ΕΠ και την ΠΕΕΠ. Μια αξιοσημείωτη μερίδα αυτών των εξελίξεων αφορά τα HMDs. Περιλαμβάνουν μία ευρεία γκάμα συσκευών, ανάλογα με το αν σχετίζονται με την Εικονική, την Επαυξημένη ή τη Μικτή Πραγματικότητα. Έτσι, σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται αναλυτικά τα HMDs που αφορούν την Εικονική Πραγματικότητα, αναλύοντας τη λειτουργία, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τους τομείς εφαρμογής τους.

## 2.1. Εννοιολογικό πλαίσιο για τα Head Mounted Displays

Τα HMDs είναι συσκευές απεικόνισης που φοριούνται στο κεφάλι, διαθέτουν φακούς και, στις περισσότερες περιπτώσεις, μικρές οθόνες για την προβολή εικόνας (Gartner Glossary, n. d.). Τα HMDs διαφέρουν ως προς το εάν μπορούν να εμφανίζουν μόνο εικόνες που παράγονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή (computer generated images) ή συνδυάζουν εικόνες από τον φυσικό κόσμο και εικόνες που παράγονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή (Εικόνα 17). Η πρώτη περίπτωση αφορά την ΕΠ ενώ η δεύτερη αφορά την Επαυξημένη ή τη Μικτή Πραγματικότητα.

Τα HMDs έχουν βρει πεδίο εφαρμογής σε αρκετούς επιστημονικούς τομείς, όπως τα Μαθηματικά, η Φυσική, η Αρχιτεκτονική, η Ιατρική, αλλά και για διασκέδαση (Schneps et al., 2014· Shibata, 2002). Ενδεικτικά:

- Διασκέδαση. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι πρωτοπόρος στα παιχνίδια με τη χρήση HMDs είναι η εταιρία Sony που δημιούργησε το PlayStation VR υποστηριζόμενο από την κονσόλα παιχνιδιού PlayStation 4. Επίσης, οι περισσότερες εφαρμογές για τα HMDs είναι παιχνίδια.
- Μηχανική. Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν τα HMDs για να προβάλλουν στερεοσκοπικές εικόνες με σκοπό τη δημιουργία σχεδίων/κατόψεων (ενδεικτικά, Wheeler, 2016).
- Ιατρική. Η Ιατρική είναι ένας τομέας ο οποίος έχει, επίσης, επηρεαστεί θετικά από αυτήν την τεχνολογία. Ενδεικτικά, HMDs έχουν χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευση χειρουργών και αναισθησιολόγων (Liu, et al., 2010).



(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)



(στ)



(ζ)

**Εικόνα 17.** Διάφορα HMDs

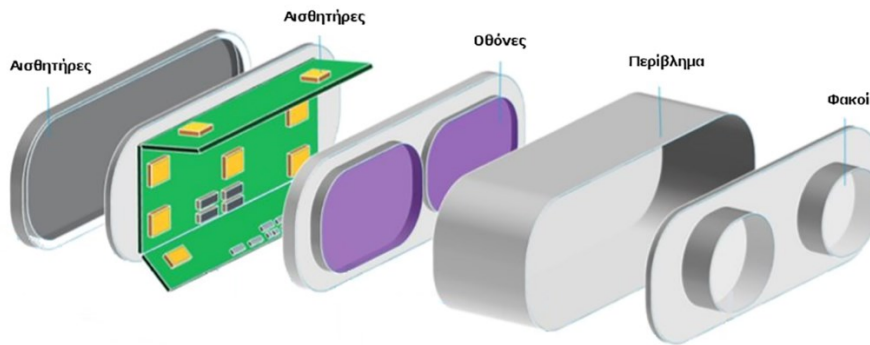


(α) Samsung Gear VR, (β) Google Cardboard, (γ) Oculus Development Kit 2, (δ) HTC Vive, (ε) LG 360VR, (στ) Playstation VR (PS VR) και (ζ) AR Hololens

- Στρατός. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα ερευνών που έχουν ασχοληθεί με την εκπαίδευση του στρατού, έχοντας κύριο στόχο την ανάπτυξη δεξιοτήτων που σχετίζονται με τεχνικά και διαδικαστικά ζητήματα (ενδεικτικά, Song & Song, 2019· Taylor & Barnett, 2013). Ο στρατός, η αστυνομία και η πυροσβεστική χρησιμοποιούν τα HMDs, ώστε να παρέχουν στους επαγγελματίες αυτούς πληροφορίες, όπως χάρτες ή δεδομένα θερμικής απεικόνισης. Μία από τις πρώτες εφαρμογές αφορούσαν τη χρήση των HMDs για τους αλεξιπτωτιστές (Thompson, 2005).
- Εκπαίδευση και προσομοίωση. Τα HMDs βρίσκουν εφαρμογή και σε θέματα εκπαίδευσης. Χρησιμοποιούνται ευρέως στα Μαθηματικά, τη Φυσική, την Αρχιτεκτονική και, γενικά, σε τομείς που αφορούν τη μελέτη των φυσικών φαινομένων (Freina & Ott, 2015). Προσομοιώνουν καταστάσεις οι οποίες είτε είναι ασύμφορο οικονομικά να γίνει αλλιώς είτε είναι ασφαλέστερο να τις μελετήσει κάποιος μέσω ενός εικονικού κόσμου (για παράδειγμα, εκπαίδευση ηλεκτρολόγων) είτε είναι αδύνατο να τις εξετάσει κάποιος με άλλον τρόπο (για παράδειγμα, οι πλανήτες).

## 2.2. Αρχές και στοιχεία λειτουργίας των Head Mounted Displays

Όλα τα HMDs, σε γενικές γραμμές, λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο, που δεν είναι άλλος από την εκπομπή εικόνας και ήχου προς στα αντίστοιχα αισθητήρια όργανα του ατόμου, με τη βοήθεια φακών, οθονών, ηχείων και αισθητήρων (Εικόνα 18) (Ezawa et al., 2016). Όσον αφορά τον ήχο, όλα τα HMDs χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία (ακουστικά) για να επιτρέψουν σε κάποιον να ακούσει τι συμβαίνει στον εικονικό κόσμο. Εντούτοις, κάτι τέτοιο δεν ισχύει για την εικόνα, μιας και υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις στο θέμα αυτό, που όμως έχουν επίδραση στην ποιότητα της παραγόμενης εικόνας. Η μέθοδος που τελικά θα επιλεγεί για να ενσωματωθεί σε ένα HMD εξαρτάται από τον κατασκευαστή του. Θα μπορούσε να ειπωθεί πως είναι ζήτημα εμπορικής πολιτικής και στρατηγικής, καθώς, για παράδειγμα, μία εταιρία μπορεί να επιλέξει στη συσκευή A να ενσωματώσει μία χαμηλής ποιότητας οθόνη, ώστε να προωθήσει στην αγορά ένα προϊόν πιο προσιτό για τον μέσο καταναλωτή, ενώ στη συσκευή B μπορεί να επιλέξει να ενσωματώσει μία υψηλής ποιότητας οθόνη, γιατί επιθυμεί να προωθήσει μία προηγμένη συσκευή, θεωρώντας ότι θα έχει κέρδη λόγω αυτού του ποιοτικού χαρακτηριστικού. Επίσης, οι φακοί που χρησιμοποιούνται στα HMDs δεν είναι σε όλα ίδιοι. Το ίδιο ισχύει για τους επεξεργαστές στα αυτόνομα συστήματα, όπως και στα χειριστήρια. Έτσι λοιπόν, κρίνεται αναγκαία η παρουσίαση κάποιων βασικών αρχών λειτουργίας και χαρακτηριστικών των HMDs, με σκοπό τη δημιουργία μίας πιο ολοκληρωμένης εικόνας για τον τρόπο με τον οποίον αυτά κατασκευάζονται και λειτουργούν.



**Εικόνα 18.** Τα βασικά μέρη ενός HMD

#### *Η θέση στο κεφάλι και κοντά στα μάτια*

Ένα HMD είναι μία συσκευή που τοποθετείται στο κεφάλι του χρήστη. Η επιλογή για αυτή τη θέση φαίνεται πως προήλθε από τις πρώτες συσκευές που κατασκευάστηκαν, όπως το Headsight (Alqahtani et al., 2017), το οποίο έδινε τη δυνατότητα στον χρήστη να κινεί το κεφάλι του και, ταυτόχρονα, να κινεί απομακρυσμένα μία κάμερα, ώστε να κοιτάζει φυσικά το περιβάλλον. Η θέση της συσκευής στο κεφάλι του χρήστη σημαίνει κοντινή απόσταση της οθόνης από τα μάτια του χρήστη. Αυτή η κοντινή απόσταση προβολής επιλέχθηκε από τους κατασκευαστές για πρακτικούς και ουσιαστικούς λόγους που αναλύονται παρακάτω.

#### *Το βάρος και η προσαρμογή (fit)*

Το βάρος των HMDs και το κατά πόσο μπορούν να προσαρμοστούν στο κεφάλι παίζουν σημαντικό ρόλο για την εμπειρία του κάθε ατόμου. Με δεδομένο ότι οι φακοί της οθόνης και τα υπολογιστικά εξαρτήματα βρίσκονται μπροστά από τα μάτια του χρήστη, εκεί συναντάται και το μεγαλύτερο βάρος. Έτσι, συνήθως, ασκείται πίεση σε σημεία όπως η μύτη και τα ζυγωματικά με αποτέλεσμα να υπάρχει κάποια σχετική ενόχληση. Μάλιστα, όταν κάποιος βγάζει τη συσκευή, μετά από ένα χρονικό διάστημα (για παράδειγμα μισή ώρα) φαίνονται κόκκινα σημάδια στο πρόσωπό του. Τα περισσότερα HMDs διαθέτουν ένα ειδικό αφρώδες υλικό γύρω από τα μάτια και τη μύτη του χρήστη, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο άνετη η χρήση τους. Επίσης, λόγω της άμεσης επαφής με το δέρμα του χρήστη παράγεται ιδρώτας και θα πρέπει το μαξιλαράκι αυτό να πλένεται τακτικά. Βέβαια, για αυτόν τον λόγο έχουν δημιουργηθεί ειδικές μάσκες (αντίστοιχες με τις απλές χειρουργικές) μίας χρήσης που έχουν άνοιγμα για τα μάτια, αλλά προστατεύουν και κρατούν στεγνό το υπόλοιπο πρόσωπο που έρχεται σε επαφή με τη συσκευή.

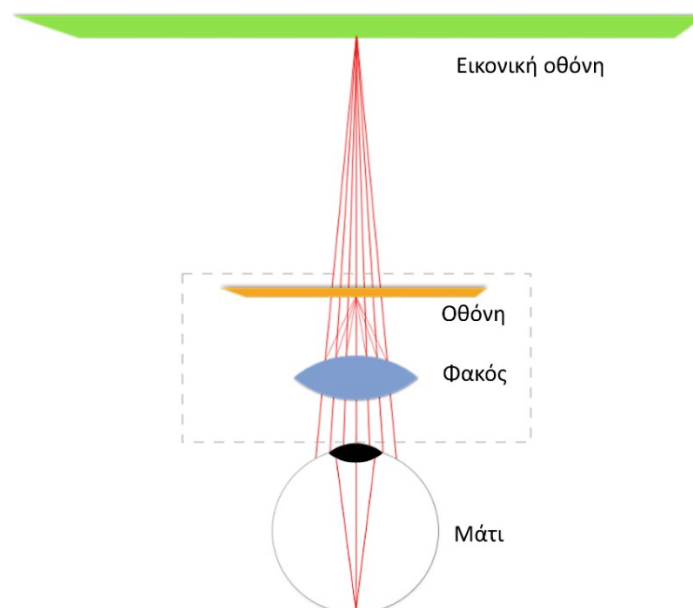
Η τοποθέτηση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων μέσα στα HMDs με τρόπο που να υπάρχει ισορροπία είναι κάτι πολύ σημαντικό, ειδικά μπορεί να μετατοπιστεί το κέντρο βάρους προς μία κατεύθυνση (αριστερά, δεξιά ή εμπρός). Ακόμη, όταν πρόκειται για τύπο HMD που απαιτεί τη χρήση κινητού τηλεφώνου (βλ. Κεφάλαιο "2.3. Παρουσίαση διαφόρων HMDs"), τότε θα πρέπει να συνυπολογιστεί και το βάρος της δεύτερης συσκευής. Ακόμη, η προσαρμογή των HMDs εξαρτάται και από το αν περιλαμβάνουν ρυθμιζόμενα λουριά σε αρκετά σημεία, ώστε κάθε χρήστης να τα προσαρμόζει ανάλογα, στο πρόσωπο και το κεφάλι του. Επιπλέον, όσοι χρήστες φορούν γυαλιά θα πρέπει να ελέγχουν αν υπάρχει αρκετός χώρος για αυτά στα HMDs, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να γίνει παραγγελία με ενσωματωμένους τέτοιους φακούς.

### Χρήση φακών

Η προβολή μέσα από έναν φακό απεικονίζει ένα παραμορφωμένο αντικείμενο. Παίρνοντας ως παράδειγμα το απλό γυαλί, όταν περάσει μέσα από αυτό μία δέσμη φωτός, τότε αυτή καμπυλώνει και αλλάζει κατεύθυνση. Οι φακοί καμπυλώνουν το φως με συγκεκριμένο τρόπο ανάλογα με το είδος τους. Οι ιδιότητες ενός φακού προκύπτουν με βάση τον Νόμο του Snell σχετικά με τη διάθλαση του φωτός (Encyclopaedia Britannica, 2020):

- Ο δείκτης διάθλασης περιγράφει το πόσο ένα υλικό μπορεί να καμπυλώσει το φως που εισέρχεται σε αυτό. Η καμπύλωση δηλώνει την επιβράδυνση του φωτός· καθώς αυτό εισέρχεται στο υλικό και όσο περισσότερο επιβραδύνει τόσο περισσότερο καμπυλώνει. Για παράδειγμα, στον αέρα το φως καμπυλώνει πολύ λίγο, ενώ στο νερό και στο γυαλί αρκετά.
- Η γωνία του υλικού σε σχέση με τη γωνία του φωτός. Το φως καμπυλώνει ανάλογα την κατεύθυνση του φωτός και το σχήμα του φακού, τον χρόνο που απαιτείται για να εξέλθει το φως από τον φακό (πάχος φακού) και το μήκος κύματος του φωτός.
- Η (χρωματική) εκτροπή (aberration) διαχωρίζει τα χρώματα του φωτός καθώς αυτό καμπυλώνει μέσα από έναν φακό.

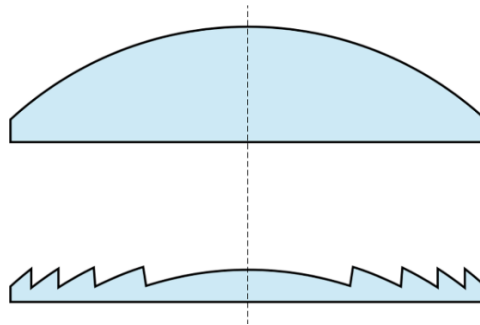
Σε όλα τα HMDs για την προβολή της εικόνας θα πρέπει να υπάρχουν δύο φακοί (ένας για κάθε μάτι) και μία ή δύο μικρές οθόνες προβολής μπροστά στα μάτια του χρήστη (Takala, 2017). Οι φακοί, στην ουσία, μεγεθύνουν την εικόνα των μικρών οθονών και έτσι, δημιουργείται η αίσθηση μίας μεγάλης (εικονικής) οθόνης (virtual screen) (Σχήμα 3).



**Σχήμα 3.** Δημιουργία εικονικής οθόνης στα HMDs

Να σημειωθεί ότι το μέγεθος της εικονικής οθόνης παίζει σημαντικό ρόλο σε μία εικονική εμπειρία, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μεγαλύτερη η προβολή, άρα η εμπειρία γίνεται πιο "πλούσια". Βέβαια, για να γίνει πολύ μεγάλη, απαιτούνται μεγαλύτεροι φακοί και μεγαλύτερες οθόνες προβολής, με αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους της συσκευής. Όχι μόνο αυτό, αλλά τα ανθρώπινα μάτια δεν μπορούν να εστιάσουν καλά σε μικρή απόσταση και το οπτικό πεδίο μειώνεται. Το αποτέλεσμα είναι σαν να προσπαθεί κάποιος να δει γύρω του φορώντας παρωπίδες. Οι φακοί, ή καλύτερα, μία σειρά από φακούς μπορούν να δώσουν τη λύση σε αυτό το ζήτημα, δημιουργώντας διατάξεις που λειτουργούν με τρόπο παρόμοιο με αυτό των φωτογραφικών μηχανών.

Ωστόσο, οι πολλαπλοί φακοί πέρα από το κόστος, προσθέτουν, όπως ήδη αναφέρθηκε, βάρος με αποτέλεσμα να μην είναι πρακτική η χρήση τους στην περίπτωση των HMDs. Έτσι, στα περισσότερα HMDs χρησιμοποιούνται φακοί τύπου Fresnel. Οι φακοί αυτοί έχουν μία σειρά ομόκεντρων κύκλων που καμπυλώνουν τις ακτίνες φωτός με διαφορετικό τρόπο ανάλογα το σημείο του φακού που χτυπούν. Πέρα από αυτό, έχει αφαιρεθεί όσο το δυνατόν περισσότερο υλικό από τον φακό, διατηρώντας ωστόσο την καμπυλότητα της επιφάνειάς του (Davis & Kühnlenz, 2017) (Σχήμα 4).



**Σχήμα 4.** Κατασκευή φακού Fresnel

Η ιδέα ανήκει στον Γάλλο φυσικό Augustin-Jean Fresnel, τον 18<sup>ο</sup> αιώνα. Ήταν ο πρώτος που κατασκεύασε και τοποθέτησε ένα τέτοιο φακό σε έναν φάρο ώστε να αναβαθμίσει τη λειτουργία του. Τέτοιοι φακοί χρησιμοποιούνται συχνά ως μεγεθυντικοί φακοί και για τη δημιουργία εικόνας (Edmund Optics, n. d.). Μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορα υλικά. Οι πρώτοι αυτού του είδους κατασκευάζονταν από γυαλί, όπου το ακόνισμα και η λείανσή τους γινόταν με το χέρι. Αργότερα, χρησιμοποιήθηκαν καλούπια στα οποία γινόταν η έγχυση του γυαλιού. Σήμερα, κατασκευάζονται από υψηλής ποιότητας πλαστικό, ακρυλικό, πολυανθρακικό θερμοπλαστικό πολυμερές (polycarbonate) και βινύλιο. Το ακρυλικό είναι το πιο κοινό υλικό, ενώ το πολυανθρακικό πολυμερές χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου απαιτείται αντοχή στη φθορά, σε αντίξοες συνθήκες και στις υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, οι φακοί αυτοί παρότι έχουν παρόμοια λειτουργία με τους συμβατικούς, έχουν μία σειρά από πλεονεκτήματα, όπως λεπτή και ελαφριά κατασκευή, ικανοποιητική συγκέντρωση του φωτός και διατίθενται σε διάφορα μεγέθη.

Επιπλέον, στα HMDs με τους φακούς Fresnel επιτυγχάνεται ένα ευρύ οπτικό πεδίο χωρίς χρωματικές εκτροπές. Εντούτοις εξαιτίας τους παρουσιάζεται ένα πρόβλημα που ονομάζεται καμπυλωτή παραμόρφωση (barrel distortion) (Εικόνα 19). Το ζήτημα αυτό μπορεί να διορθωθεί από το λογισμικό, το οποίο δημιουργεί μία αντιστρέβλωση (inverse distortion), η οποία είναι το αντίστροφο της παραμόρφωσης που δημιουργείται εξαιτίας του φακού. Με τον τρόπο αυτό, η τελική εικόνα/προβολή είναι η επιθυμητή (χωρίς παραμορφώσεις) (Tom's Hardware, 2018). Πολλές εταιρίες σχεδιάζουν ακόμη καλύτερους φακούς, ώστε να δώσουν καλύτερη λύση στο τελευταίο πρόβλημα. Επιδιώκουν καλύτερη εστίαση, καλύτερη μεγέθυνση, μείωση βάρους και πάχους, ώστε οι σχεδιαστές των HMDs να μπορούν να τοποθετήσουν την οθόνη των HMDs ακόμη πιο κοντά στα μάτια του χρήστη, μειώνοντας το μέγεθος των συσκευών.



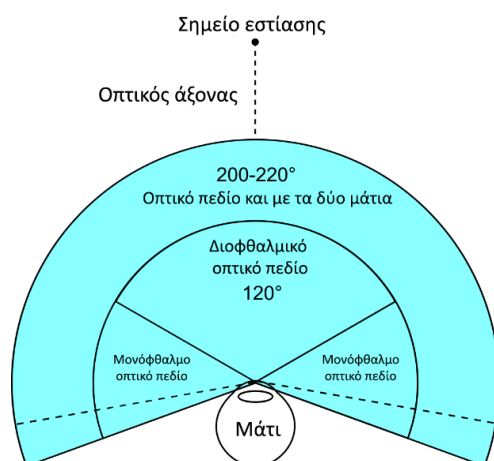
**Εικόνα 19.** Barrel distortion

#### *Εικονοστοιχεία και ανάλυση οθόνης*

Το εικονοστοιχείο (pixel) είναι το μικρότερο ελεγχόμενο στοιχείο μίας εικόνας που απεικονίζεται στην οθόνη (Foley & Van Dam, 1982). Κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να απεικονίσει χρώματα και διαφορετικά επίπεδα φωτεινότητας. Η πυκνότητα των εικονοστοιχείων, που εκφράζεται με τον αριθμό των εικονοστοιχείων ανά ίντσα (pixels per inch), καθορίζει την ποιότητα της εικόνας σε μία ηλεκτρονική συσκευή (για παράδειγμα, οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή, τηλεόραση, κινητό τηλέφωνο, HMD). Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα των εικονοστοιχείων, τόσο καλύτερη η ποιότητα της εικόνας. Ένας άλλος τρόπος προσδιορισμού της ποιότητας της εικόνας είναι το γινόμενο των οριζόντιων και κάθετων εικονοστοιχείων σε μία οθόνη, γνωστό και ως ανάλυση οθόνης. Και σε αυτή την περίπτωση, όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση, τόσο καλύτερη η προβαλλόμενη εικόνα. Τα τελευταία χρόνια, η ανάλυση που παρέχουν τα HMDs είναι ικανοποιητική. Για παράδειγμα, μία οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή μπορεί να φτάσει τα 4K (3840 x 2160), ενώ η ανάλυση στα HMDs κυμαίνεται από 2K έως 8K συνολικά (και για τα δύο μάτια). Όμως, η χρήση φακών στα HMDs δημιουργεί το λεγόμενο screen-door effect. Στην ουσία, μεταξύ των εικονοστοιχείων υπάρχει ένας κενός χώρος που τα διαχωρίζει, που, λόγω των φακών, γίνεται αντιληπτός από τους χρήστες, ειδικά όταν η πυκνότητα των εικονοστοιχείων δεν είναι μεγάλη.

#### *Οπτικό πεδίο (field of view)*

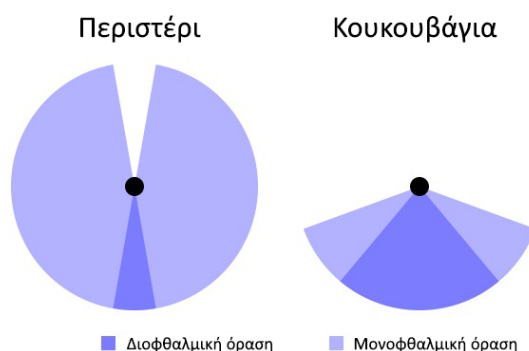
Το οπτικό πεδίο (visual field) είναι η περιοχή (ο χώρος) που μπορεί να γίνει αντιληπτή, όταν τα μάτια κοιτούν σταθερά σε ένα σημείο και μετριέται σε μοίρες (Strasburger et al., 2011· Strasburger & Röppe, 2002). Κάθε ανθρώπινο μάτι έχει οπτικό πεδίο 80 με 90 μοίρες στον οριζόντιο άξονα, με τα δύο μάτια μαζί περίπου 120 μοίρες, ενώ αν περιληφθεί και η περιφερειακή όραση, περίπου 210 μοίρες (Σχήμα 5). Το οπτικό πεδίο και των δύο ματιών αλληλεπικαλύπτεται σε μεγάλο βαθμό στο κεντρικό οπτικό πεδίο (δηλαδή στο διόφθαλμο οπτικό πεδίο) (Aprile et al., 2014). Όσο πιο μεγάλο το διόφθαλμο οπτικό πεδίο, τόσο καλύτερη η εστίαση σε ένα αντικείμενο και υπάρχει καλύτερη αίσθηση του χώρου και του βάθους (στερεοσκοπία).



**Σχήμα 5.** Το οπτικό πεδίο του ανθρώπου

Ανάλογη ή/και καλύτερη στερεοσκοπική όραση από τους ανθρώπους έχουν ζώα που θεωρούνται θηρευτές, όπως οι τίγρεις και οι κουκουβάγιες, των οποίων τα μάτια είναι και αυτά στραμμένα προς την ίδια κατεύθυνση (εμπρός). Αυτό το χαρακτηριστικό (η καλή στερεοσκοπική όραση) επικράτησε σε αυτά τα ζώα και μεταφέρθηκε στις επόμενες γενιές, καθώς χάρη σε αυτό μπορούσαν να είναι πιο επιτυχημένοι θηρευτές, με αποτέλεσμα να επιβιώνουν και να αναπαράγονται. Αντίθετα, τα ζώα που θεωρούνται θηράματα, όπως τα κουνέλια και τα πτηνά, έχουν οπτικό πεδίο που πλησιάζει τις 360 μοίρες (σε κάποιες περιπτώσεις) και τα μάτια τους είναι τοποθετημένα σε αντίθετη κατεύθυνση (στραμμένα προς αριστερά και δεξιά). Το οπτικό τους πεδίο είναι πολύ ευρύ για τον λόγο ότι τα ζώα αυτά θα πρέπει να ξεφεύγουν γρήγορα από τους θηρευτές. Αυτό το χαρακτηριστικό πέρασε στις επόμενες γενιές ακριβώς, γιατί ήταν λειτουργικό. Κάποια παραδείγματα για το διόφθαλμο και το μονόφθαλμο οπτικό πεδίο του περιστεριού (θήραμα) και της κουκουβάγιας (θηρευτής) παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχήμα 6.

Κάτι αντίστοιχο με το οπτικό πεδίο είναι το πεδίο θέασης (field of view) των ηλεκτρονικών συστημάτων. Ως όρος, αφορά την έκταση του χώρου που είναι ορατός από τους χρήστες, σε πραγματικό χρόνο, μέσω των συσκευών που προβάλλουν εικόνα. Το πεδίο θέασης μετριέται και αυτό σε μοίρες. Είναι σημαντικό χαρακτηριστικό στα HMDs για την εμπειρία που προσφέρουν και είναι συνήθως άνω των 80 μοιρών. Προφανώς, είναι επιθυμητό ένα πεδίο θέασης που να πλησιάζει αυτό του οπτικού πεδίου των ανθρώπων.



**Σχήμα 6.** Το οπτικό πεδίο του περιστεριού και της κουκουβάγιας

*Ρυθμός ανανέωσης, ταχύτητα ανταπόκρισης και καρτέ ανά δευτερόλεπτο*

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εικόνα στην οθόνη σχηματίζεται από εικονοστοιχεία. Ωστόσο, η εικόνα δημιουργείται με συνεχείς σαρώσεις της οθόνης. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται με τον όρο "ρυθμός ανανέωσης" (refresh rate). Συνήθως, ο ρυθμός ανανέωσης είναι της τάξης των 60 έως 72Hz (δηλαδή, η ανανέωση της εικόνας γίνεται 60-72 φορές το δευτερόλεπτο). Στα σύγχρονα HMDs ο ρυθμός ανανέωσης είναι της τάξης των 90Hz ή και παραπάνω. Ο ρυθμός ανανέωσης εξαρτάται, από τη μία, από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που έχουν ως ρόλο την επεξεργασία εικόνας (κάρτα γραφικών ή επεξεργαστής). Από την άλλη, εξαρτάται και από την ίδια την οθόνη. Αυτό αφορά τόσο το αν η ίδια έχει τη δυνατότητα να ανανεώνει την εικόνα με μεγάλη συχνότητα όσο και το εάν έχει τη δυνατότητα να ανταποκρίνεται με μεγάλη ταχύτητα στα δεδομένα που έρχονται σε αυτή από τον επεξεργαστή. Ο χρόνος αυτός είναι γνωστός με τον όρο "ταχύτητα ανταπόκρισης" (response time) και εκφράζεται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Στα βίντεο και, γενικά, όπου υπάρχει κινούμενη εικόνα, η (ψευδ)αίσθηση της κίνησης προκαλείται από την προβολή διαδοχικών στατικών εικόνων με ένα συγκεκριμένο ρυθμό. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος, μέσω του φαινομένου του μετεϊκάσματος, αντιλαμβάνεται τις εικόνες αυτές ως κίνηση. Ο ρυθμός με τον οποίο προβάλλονται οι εικόνες περιγράφεται με τον όρο "καρέ ανά δευτερόλεπτο" (frames per second). Συνήθως, στα 25 καρέ ανά δευτερόλεπτο, οι άνθρωποι δεν αντιλαμβάνονται διακοπές και ανομοιογένειες στην κίνηση (που, προφανώς, κάτι τέτοιο γίνεται αντιληπτό κάτω από αυτή την τιμή). Ωστόσο, ορισμένοι άνθρωποι είναι σε θέση να αντιληφθούν τέτοια προβλήματα ακόμα και σε μεγαλύτερες τιμές και για τον λόγο αυτόν το αμερικανικό πρότυπο τηλεοπτικού σήματος NTSC χρησιμοποιεί 29,75 καρέ ανά δευτερόλεπτο. Ένα υπολογιστικό σύστημα, περιλαμβανομένων και των HMDs, θα πρέπει να είναι σε θέση να επεξεργάζεται τις κινούμενες εικόνες με τέτοια ταχύτητα ώστε τα καρέ ανά δευτερόλεπτο να διατηρούνται πάντα επάνω από 25 έως 30. Το πρόβλημα προκύπτει από ιδιαίτερα απαιτητικές εφαρμογές (όπως είναι τα ψηφιακά παιχνίδια), που λόγω του μεγάλου υπολογιστικού φορτίου που προκαλούν, οδηγούν σε σημαντικές διακυμάνσεις στον αριθμό των καρέ ανά δευτερόλεπτο και "βυθίσεις" κάτω από την οριακή τιμή.

#### *Οπτική βαθμονόμηση*

Η οπτική βαθμονόμηση (optical calibration) είναι η λειτουργία κατά την οποία οι φακοί των HMDs προσαρμόζονται στα μάτια των χρηστών. Στα περισσότερα HMDs δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να ρυθμίσουν τους φακούς με βάση την απόσταση μεταξύ των δύο κορών (interpupillary distance) των ματιών τους. Σκοπός είναι να παρέχεται η επιθυμητή ποιότητα εικόνας κατά την προβολή, εφόσον οι φακοί προσαρμόζονται στα μέτρα του καθενός. Αυτή η απόσταση μετρείται σε χιλιοστά από το κέντρο των κορών των ματιών και κατά μέσο όρο κυμαίνεται από 51 ως 77 χιλιοστά στους ενήλικες (στα παιδιά είναι κάπως μικρότερη).

#### *Είδος οθόνης*

Τα περισσότερα HMDs χρησιμοποιούν οθόνες υγρών κρυστάλλων (liquid crystal displays). Κύριο μειονέκτημα αυτών των οθονών είναι ότι τα χρώματα δεν είναι τόσο ζωηρά και το μαύρο χρώμα δεν είναι ακριβώς μαύρο, αλλά πολύ σκούρο γκρι. Για αυτόν τον λόγο, σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται οθόνες με οργανικές φωτοδιόδους (organic light-emitting diodes). Αυτές έχουν ένα στρώμα που αποτελείται από οργανικά πλαστικά μόρια που εκπέμπουν φως κατά την εφαρμογή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιου είδους οθόνες έχουν καλύτερη απεικόνιση χρωμάτων, πιο γρήγορη εναλλαγή τους και πραγματικό μαύρο χρώμα. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπουν πιο πλούσιες οπτικές εμπειρίες. Βέβαια, υπάρχουν HMDs, όπως το Vision 8K, που χρησιμοποιεί customized low

persistence liquid displays, που έχουν υψηλότερη πυκνότητα εικονοστοιχείων, καθώς και γρηγορότερη ανταπόκριση και υψηλότερο ρυθμό ανανέωσης (Engadget, 2017).

### *Παρακολούθηση κίνησης και θέσης*

Η παρακολούθηση της κίνησης/θέσης στην ΕΠ είναι σημαντική, γιατί ο χρήστης μπορεί να γυρίσει το κεφάλι του και αντίστοιχα να αλλάξουν οι σκηνές που βλέπει μέσα στον εικονικό κόσμο. Ακόμη, μπορεί να περπατήσει στον εικονικό χώρο, να πιάσει εικονικά αντικείμενα και να αλληλεπιδράσει με αυτά. Χάρη στην τεχνολογία παρέχονται συνεχώς πληροφορίες σχετικά με τη θέση και τον προσανατολισμό του χρήστη, κάτι που βοηθάει στη βελτιστοποίηση της εμπειρίας του. Στις ηλεκτρονικές συσκευές υπάρχουν τρία βασικά είδη τεχνολογίας παρακολούθησης της κίνησης και της θέσης ενός σώματος, η ενεργή, η παθητική και η υβριδική (Takala, 2017):

- Η ενεργή αποτελείται από συσκευές οι οποίες εκπέμπουν κάποιο σήμα. Τέτοια συστήματα παρακολούθησης είναι, για παράδειγμα, η μηχανική, η μαγνητική και η παρακολούθηση με υπέρηχους. Συνήθως, απαιτούν ασύρματη σύνδεση στο δίκτυο, Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (Global Positioning System) ή δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.
- Για την παθητική παρακολούθηση χρησιμοποιούνται συσκευές οι οποίες λαμβάνουν κάποιο σήμα από αισθητήρες, όπως το γυροσκόπιο, το επιταχυνσιόμετρο και η πυξίδα.
- Τέλος, η υβριδική παρακολούθηση αποτελείται από συσκευές οι οποίες είναι ενεργές και παθητικές ταυτόχρονα (όπως, στα κινητά τηλέφωνα που συνδυάζουν υπολογιστική όραση και αδρανειακή παρακολούθηση).

Πιο αναλυτικά, κάποια από τα είδη ενεργής και παθητικής παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται σε συσκευές είναι τα εξής (Takala, 2017):

- Μηχανική παρακολούθηση (mechanical tracking), ενεργή. Περιλαμβάνει ειδικούς βραχίονες, έχει μεγάλη ακρίβεια και απτική ανατροφοδότηση (haptic feedback), αλλά έχει μεγάλο κόστος και οι συσκευές είναι σχετικά δύσχρηστες.
- Μαγνητική παρακολούθηση (magnetic tracking), ενεργή. Είναι αρκετά ακριβής, ωστόσο απαιτεί σύνδεση με καλώδια, έχει μεγάλο κόστος και περιορισμό ως προς την κίνηση των ατόμων στον χώρο.
- Αδρανειακή παρακολούθηση (inertial tracking), παθητική. Με αυτό το είδος της παρακολούθησης γίνεται μέτρηση του γωνιακού ρυθμού προσανατολισμού ενός σώματος με τη βοήθεια αισθητήρων όπως το επιταχυνσιόμετρο (accelerometer), το γυροσκόπιο (gyroscope) και το μαγνητόμετρο (magnetometer). Το επιταχυνσιόμετρο, που χρησιμοποιείται συχνά στα αδρανειακά συστήματα πλοήγησης αεροπλάνων, μετρά τις δυνάμεις επιτάχυνσης (είτε είναι στατικές, όπως η επιτάχυνση της βαρύτητας είτε είναι δυναμικές, που προκαλούνται από αλλαγές στην ταχύτητα ή στη διεύθυνση της κίνησης) (Christiansen & Shalamon, 2017). Το γυροσκόπιο, που και αυτό χρησιμοποιείται συχνά στα αδρανειακά συστήματα πλοήγησης αεροπλάνων και πυραύλων, είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να διατηρεί σταθερό τον προσανατολισμό της μέσω της περιστροφής των μερών της και της αρχής της διατήρησης της στροφορμής. Τα γυροσκόπια ταλαντεύονται σε μία σχετικά υψηλή συχνότητα (είναι από τους πιο ενεργοβόρους αισθητήρες κίνησης) (Christiansen & Shalamon, 2017) και επηρεάζονται, σχετικά εύκολα, από έναν δυνατό ήχο ή από μία δόνηση. Το μαγνητόμετρο (η απλή πυξίδα) είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της κατεύθυνσης ενός μαγνητικού πεδίου. Ακόμη, το μαγνητόμετρο στις ηλεκτρονικές συσκευές μετράει το μαγνητικό πεδίο της Γης κατά μήκος των τριών κάθετων αξόνων και δίνει δεδομένα για την πορεία, για παράδειγμα ενός αεροπλάνου όταν βρίσκεται στη



λειτουργία του αυτόματου πιλότου (Acar & Shkel, 2008). Επίσης, υποστηρίζει την περιστροφική παρακολούθηση των HMDs και άλλων συσκευών εισόδου. Πλεονεκτήματα των αισθητήρων είναι ότι δεν χρειάζονται κάποιοι πομπό, έχουν μικρό κόστος και μέγεθος μιας και ανήκουν στα μικρο-ηλεκτρομηχανικά συστήματα (microelectromechanical systems) (Clarke, 2016), που έχουν μέγεθος από 20 μικρόμετρα έως και ένα χιλιοστό (Gabriel et al., 1988).

- Οπτική παρακολούθηση (optical tracking), παθητική. Λειτουργεί μέσω της επεξεργασίας της εικόνας και της υπολογιστικής όρασης.

Γενικότερα, υπάρχουν διάφορα είδη παρακολούθησης/καταγραφής της κίνησης/θέσης στα HMDs που χρησιμοποιούν κάποιες από τις παραπάνω μεθόδους, μόνες ή σε συνδυασμό:

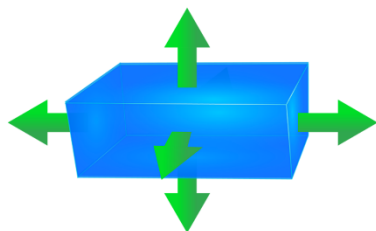
- Παρακολούθηση από έξω προς τα μέσα (outside-in tracking): χρησιμοποιούνται εξωτερικοί αισθητήρες ή/και κάμερες για τον ακριβή εντοπισμό της θέσης του HMD εντός ενός οριοθετημένου χώρου που, συνήθως, είναι σε κλίμακα δωματίου. Για μεγαλύτερη ακρίβεια, οι χρήστες πρέπει να εγκαταστήσουν περισσότερους από δύο αισθητήρες.
- Παρακολούθηση από μέσα προς τα έξω (inside-out tracking): Ένα HMD χρησιμοποιεί μία ή περισσότερες κάμερες για να ανιχνεύσει τη θέση του, με ή χωρίς τη βοήθεια δεικτών (markers). Αυτός ο τύπος παρακολούθησης είναι γενικά λιγότερο ισχυρός και ακριβής από την παρακολούθηση από έξω προς τα μέσα.
- Παρακολούθηση χεριών. Ένα άλλο είδος παρακολούθησης της κίνησης είναι αυτής των χεριών των χρηστών. Τα περισσότερα HMDs επιτρέπουν την παρακολούθηση χεριών είτε με μέσω των χειριστηρίων είτε με τη βοήθεια αισθητήρων (για παράδειγμα, Leap Motion). Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με ακρίβεια και πιο "ελεύθερα", δηλαδή με, σχετικά, φυσικό τρόπο με το περιεχόμενο της εφαρμογής.
- Παρακολούθηση ματιών. Ένα ακόμη είδος παρακολούθησης είναι αυτό της κίνησης των ματιών του χρήστη που πρόκειται για μία λειτουργία των HMDs που παρακολουθεί το βλέμμα (gaze) του. Λίγα HMDs έχουν αυτό το χαρακτηριστικό, καθώς η τεχνολογία είναι ακόμα περίπλοκη.
- Παρακολούθηση σώματος (full body tracking). Αυτό το είδος παρακολούθησης, συνήθως, αποτελείται από ένα πολύ εξελιγμένο σύστημα με πολλούς ανιχνευτές και δεν απευθύνεται στον μέσο χρήστη, εξαιτίας του υψηλού κόστους του. Συνήθως, χρησιμοποιείται για την παραγωγή κινηματογραφικών ταινιών.

### *Βαθμοί ελευθερίας*

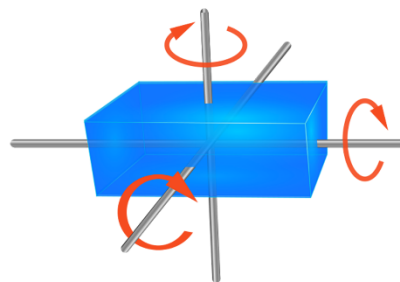
Οι βαθμοί ελευθερίας (degrees of freedom, DoF) εκφράζουν τον αριθμό των τρόπων που ένα άκαμπτο αντικείμενο μπορεί να "κινηθεί" μέσα στον τρισδιάστατο χώρο, επιτρέποντας την ανθρώπινη/φυσική κίνηση να μετατραπεί σε κίνηση εντός του εικονικού περιβάλλοντος (Pennestri et al., 2005). Τα HMDs και οι συσκευές εισόδου (για παράδειγμα, χειριστήρια) είναι, γενικά, 6 ή 3 βαθμών ελευθερίας (6DoF και 3DoF). Οι έξι συνολικά βαθμοί ελευθερίας που περιγράφουν κάθε δυνατή κίνηση ενός αντικειμένου είναι οι εξής (Σχήμα 7):

- Θέση: τρεις για μετατοπιστική κίνηση κατά μήκος αυτών των αξόνων, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως κίνηση προς τα εμπρός ή προς τα πίσω, αριστερά ή δεξιά και πάνω ή κάτω.
- Κατεύθυνση: τρεις για περιστροφική κίνηση γύρω από τους άξονες x, y και z, επίσης γνωστοί ως "pitch" (πρόνευση, πάνω-κάτω), "yaw" (εκτροπή, δεξιά-αριστερά) και "roll" (διατοιχισμός/περιστροφή).

Θέση: Μπροσ-πίσω, πάνω-κάτω, δεξιά, αριστερά



Κατεύθυνση, περιστροφή: Yaw, pitch, roll



**Σχήμα 7.** Θέση και κατεύθυνση στα HMDs

Τα 3DoF HMDs επιτρέπουν την παρακολούθηση της περιστροφικής κίνησης του χρήστη, αλλά όχι της μετατόπισής του. Δηλαδή, στον χρήστη που φοράει ένα HMD, μπορεί να προσδιοριστεί μόνο το αν κοιτάει αριστερά ή δεξιά, περιστρέφει το κεφάλι πάνω ή κάτω και το αν κάνει αριστερή ή δεξιά στροφή. Βέβαια, να σημειωθεί ότι με τη χρήση του ποντικιού ή του χειριστηρίου υπάρχει η δυνατότητα για έξι βαθμούς ελευθερίας που όμως δεν πρόκειται για πραγματικούς, αλλά για προσομοιώσή τους. Τα 6DoF HMDs επιτρέπουν την παρακολούθηση και της μετατοπιστικής κίνησης και της περιστροφικής κίνησης. Έτσι, μπορεί να προσδιοριστεί το αν ένας χρήστης έχει περιστρέψει το κεφάλι του και το εάν έχει μετακινηθεί.

Οι βαθμοί ελευθερίας είναι σημαντικοί για τις εικονικές εμπειρίες, καθώς δίνουν στον χρήστη την ελευθερία να εξερευνήσει μέρη, να επεξεργαστεί λεπτομέρειες και να βιώσει εμπειρίες της πραγματικής ζωής. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα 3DoF HMDs είναι συνήθως φθηνότερα από τα 6DoF HMDs. Με τα 3DoF HMDs, υπάρχει δυνατότητα για παρακολούθηση βίντεο ή εικόνων 360°, αλλά και προβολή του εσωτερικού ενός σπιτιού πριν από την αγορά του. Από την άλλη, με τα 6DoF HMDs, πέρα από τα παραπάνω, υπάρχει, για παράδειγμα, η δυνατότητα για αποσυναρμολόγηση των μηχανικών εξαρτημάτων ενός οχήματος, για προσομοίωση της παρασκευής ενός φαγητού και για διασκέδαση με παιχνίδια δράσης, όπου ο χρήστης πρέπει να αποφεύγει αντικείμενα ή να "επιβιώσει".

#### *Επεξεργαστής ή Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (Central Processing Unit)*

Ο επεξεργαστής είναι ένα κεντρικό εξάρτημα που περιλαμβάνεται σχεδόν σε όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές. Ο ρόλος του είναι η επεξεργασία δεδομένων, ο έλεγχος και η εκτέλεση βασικών λειτουργιών του συστήματος. Οι επεξεργαστές στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι πολύ ισχυρότεροι από αυτούς που υπάρχουν σε πιο απλές και μικρές συσκευές. Η εξέλιξη όσον αφορά τους επεξεργαστές των αυτόνομων HMDs (βλ. Κεφάλαιο "2.3. Παρουσίαση διαφόρων HMDs") είναι σημαντικές τα τελευταία χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο Snapdragon XR1 που μπορεί να υποστηρίξει υψηλή ποιότητα εικόνας χωρίς μεγάλη κατανάλωση ενέργειας (Qualcomm, n. d.). Ακόμη, αυτός ο επεξεργαστής, πέρα από την ΕΠ και την Επαυξημένη Πραγματικότητα, μπορεί να υποστηρίξει και την Εκτεταμένη Πραγματικότητα (eXtended Reality), κατά την οποία υπάρχουν αλληλεπιδράσεις με φυσικά αντικείμενα του πραγματικού περιβάλλοντος με τους χρήστες και τις κινήσεις αυτών. Ο διάδοχός του, Snapdragon XR2, υποστηρίζει δίκτυα 5G, παρακολούθηση της κίνησης του χρήστη από επτά κάμερες, 3K ανάλυση οθόνης σε κάθε μάτι, τεχνητή νοημοσύνη και υψηλής ποιότητας τρισδιάστατο ήχο (Road to VR, 2019).

### *Τρόποι θέασης της εικονικής εμπειρίας*

Ένας χρήστης, φορώντας ένα HMD, μπορεί να επιλέξει τρεις διαφορετικές θέσεις (στιλ) για να βιώσει μία εικονική εμπειρία (Blurbusters, 2019):

- Καθιστή θέση (sitting down). Ο χρήστης καθισμένος σε μία καρέκλα, ή ένα άλλο σταθερό σημείο μπορεί να απολαύσει εμπειρίες όπως ταινίες, ταξίδια με βίντεο 360°, οδήγηση και πτήσεις, ενώ βρίσκεται. Αυτή η δυνατότητα υπάρχει σε όλα τα HMDs.
- Όρθια (στατική) θέση (standing up). Αυτή η θέση κάνει τους χρήστες να εμβυθίζονται στην εικονική εμπειρία περισσότερο από την προηγούμενη θέση. Ακόμη, με αυτήν μπορούν να συμμετάσχουν σε ένα εικονικό παιχνίδι, να αθληθούν και να αγωνιστούν με άλλους παίκτες. Και αυτή η δυνατότητα υπάρχει σε όλα τα HMDs.
- Κλίμακα δωματίου (room-scale). Αυτή η λειτουργία επιτρέπει στους χρήστες την πλήρη εμβύθιση, καθώς μπορούν να κινηθούν ελεύθερα στον φυσικό χώρο, άρα και στο εικονικό περιβάλλον, προς όλες τις κατευθύνσεις, χωρίς τους περιορισμούς των προηγούμενων θέσεων. Βέβαια, στην περίπτωση αυτή παρέχεται ένα είδος ασφάλειας. Για την αποφυγή ατυχημάτων, όταν ο χρήστης πλησιάσει στον πραγματικό κόσμο ένα αντικείμενο (όπως ένα έπιπλο ή έναν τοίχο), τότε εμφανίζεται ένα "πλέγμα" στον εικονικό κόσμο. Πρόκειται για έναν εικονικό τοίχο για την οριοθέτηση του χώρου της εφαρμογής. Η κλίμακα δωματίου υπάρχει στα 6DoF HMDs, ενώ η ύπαρξη ή όχι καλωδίων προσφέρει διαφορετική εμπειρία χρήστη.

### *Λανθάνων χρόνος (latency)*

Ο λανθάνων χρόνος αφορά την ταχύτητα επεξεργασίας και τον χρόνο ανταπόκρισης του συστήματος σε μία αλλαγή που παρατηρείται σε αυτό (Stackpath, 2019). Στο Διαδίκτυο, αναφέρεται και ως lag, την καθυστέρηση που υπάρχει μεταξύ της αποστολής ενός "πακέτου" πληροφοριών και της λήψης του. Ο όρος lag χρησιμοποιείται και στα ψηφιακά παιχνίδια για να αποδώσει την καθυστέρηση που παρατηρείται μεταξύ μιας ενέργειας του χρήστη και της ανταπόκρισης του συστήματος σε αυτή, λόγω του μεγάλου υπολογιστικού φορτίου. Σε μία εικονική εμπειρία, ειδικά στα HMDs, είναι αυτονόητο ότι ο λανθάνων χρόνος πρέπει να είναι ο μικρότερος δυνατός. Για παράδειγμα, μεταξύ 20 και 25 χιλιοστών του δευτερολέπτου θεωρείται αρκετά καλός. Όσο πιο χαμηλός είναι, τόσο πιο φυσικές οι κινήσεις του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον, έχοντας ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ικανοποίηση, χρηστικότητα και καλύτερη η εμπειρία. Να σημειωθεί ότι ο χαμηλός λανθάνων χρόνος εξαρτάται από την ταχύτητα του εκάστοτε επεξεργαστή.

### *Ψύξη (Cooling)*

Οι θερμοκρασίες που παράγονται κατά τη λειτουργία των υπολογιστικών εξαρτημάτων στα HMDs είναι αρκετά υψηλές. Για αυτόν τον λόγο οι κατασκευαστές, συνήθως, έχουν προνοήσει ώστε να υπάρχει αρκετός εξαερισμός, ενώ κάποιοι έχουν δημιουργήσει ειδικά συστήματα ψύξης.

### *Ήχος*

Ο ήχος στις ηλεκτρονικές συσκευές παράγεται είτε από τους χρήστες είτε από τις συσκευές. Όπως ένα καλό σύστημα ηχείων στο σινεμά ή στην τηλεόραση παίζει μεγάλο ρόλο για την εμπειρία των θεατών, έτσι και στα HMDs ο ήχος παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο για μία αξιόλογη εμβυθιστική εμπειρία των χρηστών (Headphonezone, 2020). Τα HMDs διαθέτουν ενσωματωμένα ηχεία, ακουστικά και μικρόφωνο. Το μικρόφωνο στα HMDs δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να επικοινωνούν με άλλα άτομα σε ένα εικονικό παιχνίδι ή να χρησιμοποιούν τον φωνητικό έλεγχο.

Ο τρόπος με τον οποίον τα άτομα αντιλαμβάνονται τον ήχο στην πραγματική ζωή είναι αμφιωτικός (binaural audio), δηλαδή γίνεται αντιληπτός και από τα δύο αυτιά τους (AR VR Journey, 2017). Κάτι παρόμοιο προσπαθούν να πετύχουν όσοι ασχολούνται με τη δημιουργία λογισμικού για την παραγωγή ήχων στις ηλεκτρονικές συσκευές. Στόχος είναι η προσομοίωση του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται τους ήχους. Ειδικότερα, ο ήχος που παράγεται από μία ηλεκτρονική συσκευή εξαρτάται από έννοιες όπως χωρικοποίηση και ο εντοπισμός (Takala, 2017). Η χωρικοποίηση (spatialization) είναι η επεξεργασία των ηχητικών σημάτων ώστε να μοιάζουν ότι προέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου (για παράδειγμα, από αριστερά, δεξιά, πίσω). Από την άλλη, ο εντοπισμός (localization) είναι η ικανότητα των ανθρώπων να αναγνωρίζουν την πηγή προέλευσης ενός ήχου, ο οποίος δεν είναι το ίδιο ισχυρός σε όλα τα άτομα. Ως αποτέλεσμα, δημιουργείται τρισδιάστατος ήχος, ο οποίος δίνει πληροφορίες ήχου στους άξονες x, y και z. Βέβαια, με δεδομένο ότι στα HMDs χρησιμοποιούνται απλά στερεοφωνικά ακουστικά, γίνεται προσομοίωση του τρισδιάστατου ήχου. Σε κάθε περίπτωση, αυτό το είδος του ήχου αυξάνει τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης του χρήστη με το σύστημα (Upload VR, 2017).

### *Χειριστήρια*

Η λειτουργία των συσκευών εισόδου είναι η (συνεχής) μετάδοση πληροφοριών προς την εκάστοτε εικονική εφαρμογή. Πρόκειται, συνήθως, για χειροπιαστά αντικείμενα (όπως χειριστήρια) που "φέρνουν" πληροφορίες από έξω (τις κινήσεις του χρήστη) προς τα μέσα (στο σύστημα) (Takala, 2017). Βέβαια, υπάρχουν συσκευές που καταγράφουν πληροφορίες και δεν προϋποθέτουν χειροπιαστά αντικείμενα (ήδη έγινε αναφορά σε τέτοιες συσκευές/εξαρτήματα, όπως τα αδρανειακά συστήματα). Στο σημείο αυτό όμως, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε συσκευές που χειρίζεται ο χρήστης και, συγκεκριμένα, στα χειριστήρια.

Τα χειριστήρια μπορεί να είναι (Takala, 2017):

- Σταθερά όπως αυτά για προσομοιώσεις οχημάτων.
- Χωρίς παρακολούθηση κίνησης (non-tracked handheld controllers), με τα οποία ο χρήστης μπορεί να εστιάσει σε ένα αντικείμενο και να το επιλέξει (point-and-click).
- Με παρακολούθηση κίνησης (tracked handheld controllers), τα οποία ο χρήστης κρατάει στα χέρια του και μπορεί να έχει μεγάλη ελευθερία κινήσεων.
- Συσκευές που φοριούνται στα χέρια (hand-worn devices). Συνήθως, πρόκειται για ειδικά γάντια με τα οποία ο χρήστης μπορεί να απολαύσει απτική ανατροφοδότηση και πλούσια αλληλεπίδραση σε επίπεδο χειρονομιών. Παλαιότερα, τα γάντια ήταν ενσύρματα ενώ, σήμερα, τα περισσότερα είναι ασύρματα (Virtual Reality Times, 2020). Επέκταση αυτών των συσκευών είναι οι ολόσωμες στολές που, μεταξύ άλλων, παρέχουν απτική ανατροφοδότηση σε πολλά μέρη του σώματος.
- Εισαγόμενα δεδομένα γυμνού χεριού (bare hand input). Υπάρχουν δύο τρόποι δημιουργίας αυτού του είδους των δεδομένων: (α) μέσω μίας ειδικής συσκευής που προστίθεται επάνω στο HMD, όπως το Leap Motion, το οποίο καταγράφει τις κινήσεις των χεριών και (β) μέσω των καμερών του HMD σε συνδυασμό με την υπολογιστική όραση. Για αυτήν την τεχνολογία γίνεται αναλυτική αναφορά παρακάτω.

Τα πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα χειριστήρια διαθέτουν μικρά κουμπιά για διάφορες λειτουργίες (όπως το κεντρικό μενού και την επιστροφή), λαβή (grip) και σκανδάλες (triggers) για επιλογή στοιχείων, για την επιλογή ή τη ρίψη αντικειμένων, joystick και πληκτρολόγιο αφής (touchpad ή

trackpad) (Εικόνα 20). Το σύνολο αυτών, με μικρές διαφορές ανάλογα τον κατασκευαστή υποστηρίζουν 6 βαθμούς ελευθερίας. Συνήθως, είναι δύο σε αριθμό (ένα για κάθε χέρι), δίνοντας στους χρήστες μεγάλη ελευθερία κινήσεων και ευχάριστη εμπειρία. Από την άλλη, υπάρχουν και χειριστήρια που υποστηρίζουν μόνο 3 βαθμούς ελευθερίας. Σε αυτή την περίπτωση, συνήθως υπάρχει ένα μόνο χειριστήριο, το οποίο λειτουργεί ως δείκτης. Οι χρήστες μπορούν να εστιάσουν σε ένα αντικείμενο και να το επιλέξουν (point-and-click), ώστε για παράδειγμα να το ενεργοποιήσουν, να το μετακινήσουν ή να το σταματήσουν. Αυτό το είδος του χειριστηρίου χρησιμοποιείται για απλές εφαρμογές και για συμβατική χρήση, όπως η παρακολούθηση ενός βίντεο 360° και για μη περίπλοκα παιχνίδια και εφαρμογές. Όπως είναι φυσικό αυτό το χειριστήριο δεν παρέχει μεγάλη ελευθερία κινήσεων και περιορίζει αρκετά τους χρήστες.

Σε ένα HMD τα χειριστήρια μπορεί να απουσιάζουν και οι χρήστες να πρέπει να εστιάσουν με την ίδια τη συσκευή σε ένα σημείο της οθόνης (για παράδειγμα στο κέντρο), ώστε να προχωρήσουν στην εφαρμογή (για παράδειγμα για να αλλάξουν δωμάτιο ή περιοχή). Κάτι τέτοιο χρησιμοποιείται συχνά στα 3DoF HMDs.



**Εικόνα 20.** Χειριστήρια 6DoF

Ακόμη, στα 6DoF HMDs, πέρα από τα χειριστήρια, μπορεί να υπάρξει εναλλακτικός τρόπος για τη διαμεσολάβηση των χρηστών με το εικονικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, κάποια δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με το εικονικό περιβάλλον μόνο με τα χέρια τους και χωρίς κανένα χειριστήριο (bare hand input). Σε αυτή την περίπτωση, το HMD λαμβάνει δεδομένα είτε από μία εξωτερική συσκευή προσαρμοσμένη επάνω του (για παράδειγμα, Leap Motion) ή από τις ενσωματωμένες κάμερές του και σε συνδυασμό με την υπολογιστική όραση παρακολουθεί τα χέρια σε πραγματικό χρόνο (Vrscout, 2019). Έτσι, δημιουργείται ένα τρισδιάστατο μοντέλο των χεριών του χρήστη, προβλέποντας τη θέση και τις αρθρώσεις αυτών. Οι χρήστες μπορούν να επιλέγουν περιεχόμενο, να πληκτρολογούν κείμενο, να κάνουν "κύλιση οθόνης" και, σχεδόν, ό,τι θα έκαναν με τα πραγματικά τους χέρια.

Βέβαια, αυτή η λειτουργία ακόμη τελειοποιείται, καθώς υπάρχουν κάποια ζητήματα όπως ότι σε εφαρμογές που έχουν γρήγορο ρυθμό (σε παιχνίδια) χάνεται η παρακολούθηση της κίνησης, ενώ αρκετές εφαρμογές δεν την υποστηρίζουν. Επίσης, μπορεί να υπάρξει περίεργη αίσθηση στους χρήστες όταν "πιάνουν" ένα εικονικό αντικείμενο χωρίς να έχουν ωστόσο καμία αίσθηση στα χέρια τους, οπότε η έλλειψη της αίσθησης του αγγίγματος είναι μία πρόκληση.

### *Simulator sickness*

Το simulator sickness (ή virtual reality sickness ή cybersickness) είναι ένα είδος ασθένειας της κίνησης (motion sickness ή transportation sickness) που ορισμένοι χρήστες των HMDs μπορεί να νιώσουν σε

έντονο ή λιγότερο έντονο βαθμό. Για πρώτη φορά παρατηρήθηκε σε πιλότους κατά τη διάρκεια της εξάσκησης τους σε προσομοιωτές πτήσης. Εκδηλώνεται με συμπτώματα ναυτίας, πονοκεφάλου και λιγύγου, που μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονα.

Υπάρχουν δύο θεωρίες για τον τρόπο που δημιουργείται. Η πρώτη υποστηρίζει ότι αυτό συμβαίνει επειδή οι κινούμενες εικόνες δεν συμβαδίζουν με την (πραγματική) κίνηση ή ακινησία του σώματος (Kasahara et al., 2014), καθώς τα μάτια μεταφέρουν την πληροφορία στον εγκέφαλο ότι το σώμα κινείται, αλλά το εσωτερικό του αυτιού (και συγκεκριμένα ο λαβύρινθος) που ελέγχει την ισορροπία μεταφέρει την πληροφορία στον εγκέφαλο ότι το σώμα είναι ακίνητο. Η δεύτερη θεωρία υποστηρίζει πως η μη-εξοικείωση είναι ο καθοριστικός παράγοντας. Επισημαίνει ότι οι καταστάσεις που παράγουν simulator sickness είναι αυτές στις οποίες τα άτομα είναι λιγότερο εξοικειωμένα. Για παράδειγμα, η ναυτία σε ένα καράβι είναι, για πολλούς, ένα παροδικό πρόβλημα που λύνεται από μόνο του όταν ταξιδέψουν αρκετές φορές με αυτό το μέσο. Έτσι, η εμπειρία μίας "διαφορετικής" κίνησης, όπως αυτή σε ένα εικονικό περιβάλλον, θεωρείται ότι οδηγεί σε αδυναμία διατήρησης του ορθοστατικού ελέγχου και αυτή η έλλειψη ελέγχου προκαλεί simulator sickness, μέχρις ότου ο χρήστης να προσαρμοστεί. Πειράματα έχουν δείξει πως η έναρξη της ορθοστατικής αστάθειας προηγείται των άλλων συμπτωμάτων (Stoffregen et al., 2000).

Προς το παρόν καμία από τις δύο θεωρίες δεν φαίνεται να μπορεί να εξηγήσει επαρκώς το φαινόμενο. Αυτό που είναι βέβαιο είναι ότι το simulator sickness, πέρα από το ότι εξαρτάται από το άτομο (δεν εκδηλώνουν όλοι simulator sickness ούτε με την ίδια ένταση) μπορεί να οφείλεται σε αρκετούς παράγοντες, όπως, χρόνος χρήσης του HMD, ο χαμηλός ρυθμός ανανέωσης, ο αυξημένος χρόνος ανταπόκρισης και οι μη ρυθμιζόμενοι φακοί. Σε κάθε περίπτωση, μπορεί να επηρεάσει ιδιαίτερα αρνητικά την εμπειρία που έχει κάποιος χρησιμοποιώντας HMDs (ενδεικτικά, Bradley & Newbutt, 2018· Jensen & Konradsen, 2018· Snelson & Hsu, 2019). Ένας τρόπος να περιοριστούν οι πιθανότητες ένα άτομο να εμφανίσει simulator sickness είναι μέσω της μείωσης της ποιότητας της εικόνας στην περιφέρεια του πεδίου θέασης, προσομοιώνοντας την περιφερειακή όραση των ανθρώπων που είναι πιο "θολή" από την κεντρική (foveated rendering). Παράλληλα, αυτή η τεχνική επιτυγχάνει τη μείωση του υπολογιστικού φορτίου.

### 2.3. Παρουσίαση διαφόρων HMDs

Τα HMDs μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το εάν είναι:

- Συνδεδεμένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (tethered HMDs). Σε αυτήν την κατηγορία, τα HMDs λειτουργούν ως μία περιφερειακή συσκευή που συνδέεται με καλώδιο σε έναν ισχυρό ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος αναλαμβάνει την επεξεργασία των γραφικών. Ο Παραδείγματα συσκευών που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία είναι το Oculus Rift και το HTC Vive.
- Συνδεδεμένα σε κονσόλα (Console VR). Σε αυτήν την κατηγορία, τα HMDs λειτουργούν ως μία περιφερειακή συσκευή που συνδέεται με καλώδιο σε μία κονσόλα παιχνιδιών. Παράδειγμα τέτοιων συσκευών είναι το Sony VR που συνδέεται με το PlayStation.
- Βασισμένα σε κινητά τηλέφωνα. Σε αυτήν την κατηγορία, τα HMDs δεν περιλαμβάνουν κανένα ηλεκτρονικό εξάρτημα. Αποτελούνται από δύο φακούς και ένα χώρο στο οποίο μπορεί να εισαχθεί ένα κινητό τηλέφωνο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Google Cardboard και το Samsung Gear VR. Η οθόνη του τηλεφώνου χρησιμοποιείται για την εμφάνιση την προβολή της

εικόνας, η οποία μπορεί είναι αρκετά χαμηλής ποιότητας εάν ο επεξεργαστής του κινητού τηλεφώνου δεν είναι αρκετά ισχυρός. Ως εκ τούτου, η ποιότητα της εμπειρίας είναι χαμηλή συγκριτικά με τις άλλες κατηγορίες.

- Αυτόνομα, μη-συνδεδεμένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (untethered HMDs). Σε αυτήν την κατηγορία, τα HMDs δεν λειτουργούν ως περιφερειακά κάποιας άλλης ηλεκτρονικής συσκευής, αλλά λειτουργούν αυτόνομα. Αυτά τα HMDs αποτελούνται από δύο φακούς και έχουν έναν "μικρό" ηλεκτρονικό υπολογιστή που μοιάζει σε δυνατότητες με ένα πολύ εξελιγμένο κινητό τηλέφωνο. Ανάλογα τις δυνατότητές τους, διαφέρει και το κόστος τους και η ποιότητα της εμπειρίας που προσφέρουν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα Meta Quest 2 και 3.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά ορισμένων 6DoF HMDs και στον Πίνακα 2 τα τεχνικά χαρακτηριστικά ορισμένων 3DoF HMDs.

**Πίνακας 1.** Σύγκριση προδιαγραφών των 6DoF HMDs

Συσκευή	Oculus quest 2	Oculus quest	Oculus Rift CV1	HTC Vive	StarVR One	PIMAX 8K X
Είδος	untethered	untethered	tethered	tethered	tethered	tethered
Κυκλοφορία	2020	2019	2016	2016	2018	2018
Είδος οθόνης	LCD	OLED	OLED	OLED	AMOLED	CLPL
Οπτικό πεδίο	-	90°	110°	110°	210°	200°
Ανάλυση οθόνης (συνολική)	1832X1920 κάθε μάτι	2880X1600	2160X1200	2160X1200	2928X1830	7680X2160
Πυκνότητα Pixel (Pixel Density)	-	538ppi	450ppi	461ppi	426ppi	801ppi
Ρυθμός ανανέωσης	72-90 Hz	72Hz	90Hz	90Hz	90Hz	120Hz
Λανθάνων χρόνος	-	13.9 ms	Εξαρτάται από επεξεργαστή	Εξαρτάται από επεξεργαστή	Εξαρτάται από επεξεργαστή	Εξαρτάται από επεξεργαστή
Επεξεργαστής	Snapdragon XR2	Snapdragon 835	H/Y	H/Y	H/Y	H/Y
Ρυθμίσεις φακού	IPD 64mm	IPD 64mm	IPD 58-72mm	IPD 60.8-74.6mm	IPD 60.8-74.6mm	IPD 55-75 mm
Φακοί	Virtuclear	Fresnel	Fresnel	Fresnel	Fresnel	Fresnel
Αισθητήρες	Επ/μετρο	Επ/μετρο	Επ/μετρο	Επ/μετρο	Επ/μετρο	Επ/μετρο
	Γ/σκόπιο	Γ/σκόπιο	Γ/σκόπιο	Γ/σκόπιο	Γ/σκόπιο	Γ/σκόπιο
Κάμερες Tracking	M/μετρο	M/μετρο	M/μετρο	M/μετρο	M/μετρο	M/μετρο
	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι
Tracking	Inside out	Inside out	Outside-in	Inside out	Outside-in	Outside-in
Βάρος (εκτός καλωδίου)	403gr	470gr	470gr	563gr	450gr	450gr
Χώρος	128-265Gb	64-128Gb	-	-	-	-
Κόστος	299€	399€	200€	399€	3200 €	1.300€

Σημειώσεις: Γ/σκόπιο = Γυροσκόπιο, Επ/μετρο = Επιταχυνσιόμετρο, Μ/μετρο = Μαγνητόμετρο

**Πίνακας 2.** Σύγκριση προδιαγραφών των 3DoF HMDs

Συσκευή	Oculus Go	Goblin	Pimax 4K	Gear VR	Google Cardboard
Είδος	untethered	untethered	tethered	untethered	untethered
Κυκλοφορία	2018	2016	2017	2015	2014
Είδος οθόνης	LCD	LCD	LCD CLPL	Κινητής συσκευής	Κινητής συσκευής
Οπτικό πεδίο	100°	92°	110°	-	-

<b>Ανάλυση οθόνης (συνολική)</b>	2560X1440	2560X1440	3840X2160	Έως και 2960X1440	Έως και 2960X1440
<b>Πυκνότητα Pixel (Pixel Density)</b>	538ppi	-	403ppi	-	-
<b>Ρυθμός ανανέωσης</b>	60-72Hz	70Hz	60Hz	Έως και 60Hz	Έως και 60Hz
<b>Επεξεργαστής</b>	Snapdragon 821	Snapdragon 820	Ηλεκτρονικός υπολογιστής	Κινητής συσκευής	Κινητής συσκευής
<b>Ρυθμίσεις φακού Lens Φακοί</b>	Όχι Fresnel	-	Ναι -	Όχι -	Όχι -
<b>Αισθητήρες</b>	Επ/μετρο Γ/σκόπιο	-	Επ/μετρο Γ/σκόπιο Μ/μετρο	Εξαρτάται από την κινητή συσκευή	Εξαρτάται από την κινητή συσκευή
<b>Ενσωματωμένη κάμερα</b>	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
<b>Tracking</b>	Κίνηση κεφαλιού	Κίνηση κεφαλιού	Κίνηση κεφαλιού	Κίνηση κεφαλιού	Κίνηση κεφαλιού
<b>Βάρος (εκτός καλωδίου)</b>	468gr	440gr	499gr	345gr	96gr
<b>Μπαταρία</b>	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι
<b>Χώρος</b>	32-64Gb	16 Gb	10 Gb	SD Card	SD Card
<b>Κόστος</b>	283€	243€	409€	130€	5€





## Κεφάλαιο 3. Βασικά χαρακτηριστικά της Εικονικής Πραγματικότητας

Στη βιβλιογραφία έχουν εντοπιστεί διάφορα χαρακτηριστικά που θεωρούνται σημαντικά για την ΕΠ. Παρόλα αυτά, υπάρχουν διστάμενες απόψεις για τρία πολύ σημαντικά, αυτά της εμπύθισης, της παρουσίας και της αλληλεπίδρασης τόσο για το πώς ορίζονται όσο και για το πώς διαμορφώνουν την εμπειρία των χρηστών στην ΕΠ. Παραδείγματος χάρη, αρκετή συζήτηση γίνεται για τον βαθμό που η εμπύθιση επηρεάζει την αίσθηση της παρουσίας. Ακόμη, η εμπύθιση, ενώ είναι σχετικά εύκολο να περιγραφεί, ωστόσο, είναι δύσκολο να οριστεί. Όταν τα παιδιά παρακολουθούν "κολλημένα" μία εκπομπή στην τηλεόραση, μπορεί κάποιος να πει ότι είναι εμπυθισμένα. Μάλιστα, αν δεν απαντάνε στις ερωτήσεις που τους γίνονται (ή αδιαφορούν να απαντήσουν), είναι ένας τρόπος να μετρηθεί ο βαθμός της εμπύθισής τους. Παρόλα αυτά, το παραπάνω παράδειγμα προφανώς και δεν αποτελεί συγκροτημένο ορισμό της εμπύθισης. Από την άλλη, μπορεί να αποτελέσει ένδειξη του πόσο περίπλοκο είναι το φαινόμενο, αφού παρόμοια εμπειρία δημιουργείται διαβάζοντας ένα βιβλίο ή παρακολουθώντας μία ταινία. Επιπλέον, όσον αφορά την αίσθηση της παρουσίας, υπάρχουν ερευνητές που υποστήριξαν ότι αυτή εξαρτάται αποκλειστικά από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται (ενδεικτικά, North & North, 2016). Άλλοι υποστήριξαν την άποψη ότι η παρουσία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προσωπικότητα του ατόμου (ενδεικτικά, Bindman et al., 2018· Nunez, 2004).

Ακόμη, οι χρήστες που εισέρχονται σε ένα εικονικό περιβάλλον, για να αποκτήσουν την αίσθηση ότι βρίσκονται κάπου αλλού (που όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια, συνιστά την εμπύθιση) και ότι ο εικονικός κόσμος είναι αληθινός (που είναι στοιχείο της παρουσίας), χρειάζεται, πρώτα από όλα, οι ίδιοι να δώσουν αξία σε αυτό που κάνουν/βιώνουν. Έτσι, για να έχουν μία θετική εμπειρία σε ένα εικονικό περιβάλλον, θα πρέπει να αναπτύξουν την ενσυνειδητότητά (mindfulness) τους. Η ενσυνειδητότητα είναι η επίγνωση του παρόντος κατά την οποία τα άτομα είναι "ανοιχτά" στο να βιώσουν τα συναισθήματα και τις αισθήσεις του παρόντος χωρίς κριτική (Brown et al., 2007· Davis & Hayes, 2012). Σε ένα εικονικό περιβάλλον, οι χρήστες χρειάζεται να είναι ικανοί να παρατηρούν το περιβάλλον και τα στοιχεία του, χωρίς να μπαίνουν στον "αυτόματο πιλότο" και απλά να ενεργούν επειδή το "ζητάει" η εφαρμογή. Δηλαδή, οι ίδιοι, εξ αρχής, θα πρέπει να είναι πεπεισμένοι ότι πρέπει να αφεθούν στην εμπειρία και, σε καμία περίπτωση, να μην τη δουν ως "αγχαρεία", πόσο μάλλον στην περίπτωση που περιλαμβάνει εκπαιδευτικό περιεχόμενο. Συνήθως, η ενσυνειδητότητα εξετάζεται σε έρευνες για θέματα όπως η μείωση του άγχους μέσω της ΕΠ, όπου μάλιστα βρέθηκε ότι έχουν αντίστροφη σχέση, δηλαδή, όταν αυξάνεται η ενσυνειδητότητα, τότε μειώνεται το άγχος (Crescentini et al., 2016).

Έτσι, στο κεφάλαιο αυτό θα επιχειρηθεί να προσδιοριστούν σημαντικοί όροι/έννοιες για την ΕΠ που επηρεάζουν και, στην ουσία, καθορίζουν την εμπειρία του χρήστη, ξεκινώντας, αρχικά, από μία σύντομη αναφορά στα 3Is της ΕΠ.

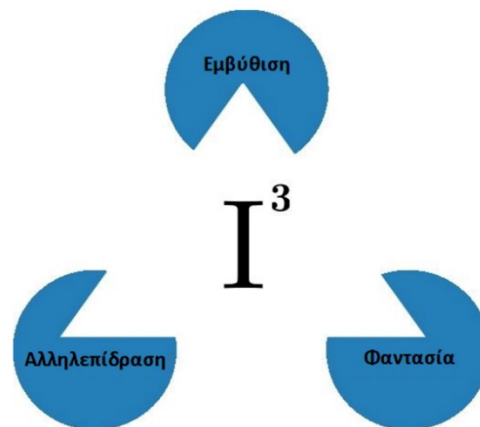
### **3.1. Τα τρία Is της Εικονικής Πραγματικότητας**

Οι Burdea και Coiffet (2003) εισήγαγαν τον όρο "3Is" (interaction, immersion, imagination-3Is, αλληλεπίδραση, εμπύθιση, φαντασία), ο οποίος, στην ουσία, επισημαίνει τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται, ώστε να διασφαλιστεί πως οι χρήστες νιώθουν ότι εμπλέκονται σε ένα εικονικό περιβάλλον. Οι συγγραφείς περιέγραψαν αυτά τα τρία χαρακτηριστικά ως το τρίγωνο της ΕΠ, επειδή στο αντίστοιχο σχήμα (Σχήμα 8) οι τρεις κορυφές του τριγώνου αποτελούνται από αυτούς τους παράγοντες.

Συγκεκριμένα, υποστήριξαν ότι:

- Η αλληλεπίδραση αφορά την επικοινωνία και τη σύνδεση μεταξύ του χρήστη και του συστήματος της ΕΠ.
- Η εμπύθιση σχετίζεται με την αίσθηση του χρήστη ότι βρίσκεται μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον.
- Η φαντασία αφορά την ικανότητα του χρήστη να αντιλαμβάνεται ανύπαρκτα πράγματα και να πιστεύει ότι το εικονικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται είναι υπαρκτό.

Ακόμη, σύμφωνα με τους ίδιους τα επίπεδα αλληλεπίδρασης και εμπύθισης μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τη φαντασία του χρήστη, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από άλλα χαρακτηριστικά (για παράδειγμα, τον τύπο εξοπλισμού, τον βαθμό ρεαλισμού και τα κίνητρα) (Burdea & Coiffet, 2003).



**Σχήμα 8.** Τα 3Is της Εικονικής Πραγματικότητας (Burdea & Coiffet, 2003)

### 3.2. Η εμπύθιση

Σύμφωνα με τους Μικροπουλος και Bellou (2006) ένα σύστημα εμπύθισης περιλαμβάνει τρισδιάστατες χωρικές αναπαραστάσεις, πολυαισθητηριακά κανάλια αλληλεπίδρασης και διαισθητική αλληλεπίδραση με φυσικούς χειρισμούς σε πραγματικό χρόνο. Επεκτείνοντας αυτό που ανέφεραν οι Μικροπουλος και Bellou, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η εμπύθιση είναι η ικανότητα του συστήματος ΕΠ να δίνει στους χρήστες ερεθίσματα (οπτικά, ηχητικά και απτικά) και την αίσθηση ότι βρίσκονται κάπου αλλού (MacLeod & McLeod, 1996). Υπό αυτήν την έννοια, η εμπύθιση είναι κάτι τεχνικό, καθώς εξαρτάται από το πόσο εξελιγμένες είναι οι συσκευές ΕΠ που χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν στους χρήστες αυτή την αίσθηση. Συνεπώς, η χρήση ενός λιγότερο εξελιγμένου HMD προσφέρει λιγότερη εμπύθιση σε σχέση με τη χρήση ενός περισσότερο εξελιγμένου, εξαιτίας της χαμηλότερης ανάλυσης και πεδίου θέασης. Επομένως, σε μία κατάσταση πλήρους εμπύθισης οι χρήστες είτε λαμβάνουν τις ίδιες ακριβώς αισθητηριακές πληροφορίες όπως και στον πραγματικό κόσμο είτε η αντίληψη της πραγματικότητας αντικαθίσταται με την αντίληψη που δημιουργείται από τον υπολογιστή· σε κάθε περίπτωση, ο εγκέφαλος δεν μπορεί να συλλάβει τη διαφορά μεταξύ εικονικού και πραγματικού περιβάλλοντος.

Ακόμη, η εμπύθιση, με όρους ψυχολογίας, αναφέρεται στην κατάσταση κατά την οποία τα άτομα έχουν πλήρη συμμετοχή σε κάτι, ενώ παράλληλα δρουν (Muhanna, 2015). Με άλλα λόγια, κατά την

εμβύθιση οι χρήστες προσελκύονται και εμπλέκονται σε μία εικονική δραστηριότητα, όπου το μυαλό τους διαχωρίζεται από τον φυσικό χώρο στον οποίο βρίσκονται. Επιπλέον, η εμβύθιση είναι η αίσθηση που έχουν τα άτομα ότι περιβάλλονται από μία εντελώς διαφορετική πραγματικότητα που απαιτεί την προσήλωση και το ενδιαφέρον τους (Murray, 1997).

Κατά τους Νάτση και Ζαχαρή (2008) ως σύστημα εμβύθισης περιγράφεται ένα σύστημα ΕΠ στο οποίο το εικονικό περιβάλλον προβάλλεται σε ειδικές συσκευές (για παράδειγμα HMDs) και δεν περιλαμβάνει τη συμβατική οθόνη, η οποία δεν βοηθάει στο να αποκοπούν οι χρήστες από τον πραγματικό κόσμο. Ειδικότερα, για να επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός βαθμός εμβύθισης χρησιμοποιούνται HMDs, στερεοσκοπικά γυαλιά, γάντια ή/και ολόσωμες στολές. Πάντως, δεν είναι αναγκαίος ο συνδυασμός όλων των συσκευών· συνήθως, τα στερεοσκοπικά γυαλιά ή τα HMDs, από μόνα τους, μπορούν να προσφέρουν ικανοποιητική απομόνωση από τα ερεθίσματα του πραγματικού κόσμου.

Το επίπεδο της εμβύθισης των χρηστών σε ένα σύστημα ΕΠ, από τεχνικής πλευράς, εξαρτάται από ορισμένα βασικά στοιχεία, όπως ο βαθμός αποκοπής των χρηστών από το φυσικό περιβάλλον, οι βαθμοί ελευθερίας της κίνησης που παρέχονται στους χρήστες, ο τρόπος προβολής, ο βαθμός αλληλεπίδρασης με τον εικονικό κόσμο. Επιπλέον, για την ενίσχυση του επιπέδου της εμβύθισης, παίζουν ρόλο στοιχεία όπως η απόδοση του λογισμικού του συστήματος ΕΠ, η απτική και απτή ανάδραση/ανατροφοδότηση και ο ήχος. Αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τις απόψεις των Bowman και McMahan (2007), που ανέφεραν ότι ο βαθμός εμβύθισης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με την όραση όπως το πεδίο θέασης, το μέγεθος οθόνης και η ανάλυσή της, η στερεοσκοπία και ο ρυθμός ανανέωσης της εικόνας (οι όροι αυτοί αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για να θεωρηθεί ένας εικονικός κόσμος εμβυθιστικός, θα πρέπει να μπορεί να αναστείλει τη δυσπιστία των συμμετεχόντων για το κατά πόσο είναι "πραγματικός" κάποιο χρονικό διάστημα, χωρίς όμως να απαιτείται να είναι τόσο πραγματικός όσο και ο φυσικός (Pimentel & Teixeira, 1993).

Άλλοι συγγραφείς (ενδεικτικά, Zhou & Deng, 2009), προσέγγισαν την ΕΠ ανάλογα τον βαθμό εμβύθισης και τον βαθμό ροής (flow) που προφέρουν στους χρήστες. Αναφορικά με τον βαθμό της εμβύθισης, όταν είναι πολύ χαμηλός, τότε οι συγγραφείς τον αναφέρουν ως εικονικό κόσμο. Όταν οι χρήστες εμβυθίζονται εν μέρει στον εικονικό κόσμο, τότε θεωρείται μέτρια ΕΠ. Τέλος, όταν εμβυθίζονται πλήρως τότε οι συγγραφείς θεωρούν ότι επιτυγχάνεται η ΕΠ. Η ροή είναι μία ψυχική κατάσταση, όπου οι χρήστες συμμετέχουν πλήρως, εστιάζουν και απολαμβάνουν μία δραστηριότητα είτε εργασία είτε παιχνίδι, στην οποία οι απαιτήσεις (challenges) της δραστηριότητας και οι δεξιότητες που απαιτούνται βρίσκονται σε ισορροπία (Csikszentmihályi, 1990, 2017). Μάλιστα, οι χρήστες σε μία τέτοια κατάσταση χάνουν την αίσθηση του χρόνου όσο επικεντρώνονται στην εργασία τους, ενώ, ταυτόχρονα, αισθάνονται ευχαρίστηση.

Μερικά από τα βασικά είδη εμβύθισης είναι τα εξής:

- Απτική εμβύθιση (tactical immersion). Είναι η εμπειρία των χρηστών σε ένα εικονικό περιβάλλον κατά την εκτέλεση απτικών λειτουργιών που περιλαμβάνουν δεξιότητες (Adams, 2004). Για παράδειγμα, οι χρήστες μπορούν να νιώσουν απτική εμβύθιση όταν με τα χειριστήρια εκτελούν μία δραστηριότητα που απαιτεί δεξιότητες. Μάλιστα, όσο πιο καλά μάθουν να χρησιμοποιούν τα

χειριστήρια, τόσο περισσότερο εξελίσσουν την αντίστοιχη δεξιότητα και έχουν καλύτερα αποτελέσματα.

- Τεχνική εμβύθιση (technical immersion). Αφορά στοιχεία που κατευθύνουν την προσοχή των χρηστών, έτσι ώστε να θεωρούν τους εαυτούς τους μέρος του εικονικού περιβάλλοντος (Elmezeny et al., 2018). Ακόμη, για την τεχνική εμβύθιση μίλησαν οι Sheikh et al. (2016). Σύμφωνα με αυτούς, η καθοδήγηση της προσοχής των χρηστών σε ένα εικονικό περιβάλλον επιτυγχάνεται μέσα από τον συνδυασμό ηχητικών και οπτικών πληροφοριών (στοιχεία τεχνικής εμβύθισης), ενώ η χρήση μόνο οπτικών πληροφοριών δεν φέρνει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ένα στοιχείο που θεώρησαν ότι είναι σημαντικό είναι η αναγνώριση των χρηστών από τους χαρακτήρες του εικονικού κόσμου. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσα από βλέμματα, χειρονομίες και λέξεις που οι χαρακτήρες κατευθύνουν προς την κάμερα. Επίσης, οι Sheikh et al. (2016) υποστήριξαν ότι οι συμμετέχοντες είναι απαραίτητο να κατευθύνονται, ώστε να κοιτάζουν γύρω τους ή να κινηθούν για να ακολουθήσουν την ιστορία και να εμβυθιστούν σε αυτήν.
- Αφηγηματική εμβύθιση (narrative immersion). Συμβαίνει όταν οι χρήστες "περικλείονται" από μία ιστορία που εκτυλίσσεται σε ένα εικονικό περιβάλλον. Ειδικότερα, η αφηγηματική εμβύθιση προσομοιάζει με αυτό που βιώνει κάποιος κατά την ανάγνωση ενός βιβλίου ή την παρακολούθηση μίας ταινίας (Adams, 2004). Οι Elmezeny et al. (2018) υποστήριξαν ότι η αφηγηματική εμβύθιση επηρεάζεται από το σκηνικό, καθώς και από την αλληλεπίδραση της ιστορίας και των χαρακτήρων με τους χρήστες, έτσι ώστε αυτοί να αποτελέσουν μέρος της ιστορίας. Επίσης, θεώρησαν ότι σχετίζεται με την τεχνική εμβύθιση, ότι το ένα είδος υποστηρίζει το άλλο και ότι αλληλοενισχύονται. Ο Ryan (2015) διαχωρίζει την αφηγηματική εμβύθιση σε τέσσερις επιμέρους κατηγορίες: (α) χωρική, (β) χρονική, (γ) χωροχρονική και (δ) συναισθηματική. Η χωρική εμβύθιση αφορά το περιβάλλον, δηλαδή το σκηνικό και τον τόπο και τον χρόνο της ιστορίας, με άλλα λόγια τον τρόπο που δημιουργείται ο (εικονικός) κόσμος. Η χρονική εμβύθιση σχετίζεται με τη δομή της πλοκής και τη δημιουργία αγωνίας, δράσης και προσδοκιών που έχουν κλασσική διάρθρωση (δηλαδή αρχή, μέση και τέλος). Η χωροχρονική εμβύθιση επηρεάζεται από την αφηγηματική προοπτική και την ενσωμάτωση του κοινού μέσα στην ιστορία, ενώ, τέλος, η συναισθηματική εμβύθιση αφορά τα συναισθήματα που δημιουργούνται από μία ιστορία στους συμμετέχοντες.
- Πνευματική εμβύθιση (mental immersion). Είναι η κατάσταση κατά την οποία οι χρήστες εμπλέκονται με ένα εικονικό περιβάλλον, χωρίς να δυσπιστούν για αυτό γιατί το βιώνουν ως πιστευτό/ρεαλιστικό (Sherman & Craig, 2003). Για παράδειγμα, όταν ένα άτομο διαβάζει ένα μυθιστόρημα, αισθάνεται ότι μεταφέρεται και ότι ανήκει σε έναν φανταστικό κόσμο, εμπλέκεται συναισθηματικά με τους χαρακτήρες του· ξεχνάει τον πραγματικό κόσμο και το περιβάλλον του. Κάτι αντίστοιχο προκύπτει και μέσα από την παρακολούθηση μίας ταινίας ή την ακρόαση μουσικής ή και την ονειροπόληση.
- Φανταστική εμβύθιση (imaginative immersion). Αφορά την απορρόφηση των χρηστών χάρη στην πλοκή/ιστορία του εικονικού περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τη συναισθηματική εμπλοκή με τους χαρακτήρες, την ανάπτυξη της φαντασίας τους ή, απλώς, την απόλαυση του εικονικού περιβάλλοντος (Ermi & Mayra, 2005).
- Αισθητηριακή εμβύθιση (sensory immersion). Αφορά τη συγκέντρωση/προσήλωση των χρηστών σε ένα εικονικό περιβάλλον που προκαλείται μέσω των ήχων και των εικόνων που αυτό προσφέρει (Ermi & Mayra, 2005).
- Κινησθητική εμβύθιση (sensory motor immersion). Συμβαίνει όταν οι χρήστες εισέρχονται σε ένα εικονικό περιβάλλον και τους δημιουργείται πνευματική διέγερση. Υπάρχει αρμονία χώρου και

χρόνου, καθώς οι χρήστες συγχωνεύονται (γίνονται ένα) με το μέσο, το οποίο επηρεάζει την εντύπωση (γνώμη) που έχουν για αυτό και τη συνείδησή τους (Bjork & Holopainen, 2004).

- Συναισθηματική εμβύθιση (emotional immersion). Συμβαίνει όταν οι χρήστες συγχέουν το εικονικό περιβάλλον με την πραγματική ζωή (Bjork & Holopainen, 2004). Ακόμη, σύμφωνα με τον Cohen (2001), η συναισθηματική εμβύθιση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αυτογνωσίας των χρηστών που, παράλληλα, αντικαθίσταται από την αυξημένη συναισθηματική και γνωστική εμπλοκή με τους χαρακτήρες του εικονικού περιβάλλοντος.
- Γνωστική εμβύθιση (cognitive immersion). Αυτού του είδους η εμβύθιση αφορά την αφηρημένη σκέψη των χρηστών. Επιτυγχάνεται μέσω της επίλυσης σύνθετων προβλημάτων (Bjork & Holopainen, 2004).
- Στρατηγική εμβύθιση (strategic immersion). Είναι περισσότερο εγκεφαλική και σχετίζεται με την πνευματική πρόκληση (Adams, 2004). Για παράδειγμα, οι παίκτες στο σκάκι βιώνουν στρατηγική εμβύθιση, όταν επιλέγουν μία λύση ανάμεσα σε ένα ευρύ φάσμα επιλογών. Επίσης, σύμφωνα με τους Ermi και Mayra (2005), αυτή ονομάζεται και εμβύθιση που βασίζεται στην πρόκληση (challenge-based immersion), δηλαδή εκείνη που δημιουργείται όταν οι εφαρμογές απαιτούν από τους χρήστες στρατηγική σκέψη ή επίλυση λογικών προβλημάτων.
- Χωρική εμβύθιση (spatial immersion). Συμβαίνει όταν οι χρήστες νιώθουν ότι ο εικονικός κόσμος μοιάζει με αληθινός και είναι πειστικός, καθώς και ότι οι ίδιοι είναι "εκεί" (Bjork & Holopainen, 2004).
- Φυσική εμβύθιση (physical immersion). Με αυτήν τα άτομα νιώθουν ότι συμμετέχουν με φυσικό τρόπο σε μία εμπειρία. Εκείνοι που επιτυγχάνουν μία φυσική εμβύθιση ονομάζονται συμμετέχοντες (Sherman & Craig, 2003). Για παράδειγμα, σε έναν προσομοιωτή πτήσης, ο χρήστης εισέρχεται σε ένα προσομοιωμένο πιλοτήριο για να μπορεί να αλληλεπιδρά με διαφορετικά αντικείμενα, ώστε να πετάξει ένα εικονικό αεροπλάνο και, μελλοντικά, ένα πραγματικό.
- Παθητική εμβύθιση (passive immersion) και ενεργή εμβύθιση (active immersion). Οι Nakatsu και Tosam (2005) πρότειναν αυτούς τους τύπους εμβύθισης, οι οποίοι διακρίνονται από την έλλειψη ή την ύπαρξη αλληλεπίδρασης. Η ενεργή εμβύθιση περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση των χρηστών με αντικείμενα (δημιουργία μίας σκηνής), ενώ η παθητική εμβύθιση παρουσιάζει μόνο πληροφορίες (παρακολούθηση μίας ταινίας). Σύμφωνα με τους Nakatsu και Tosam (2005) μία εικονική εμπειρία θα πρέπει να περιέχει ενεργή εμβύθιση.

### 3.3. Η παρουσία

Η παρουσία δημιουργείται όταν οι χρήστες εμπλέκονται σε τέτοιο βαθμό ώστε να αισθάνονται τον εαυτό τους μέσα σε έναν εικονικό κόσμο (Schubert et al., 2001· Slater, 1999· Witmer & Singer, 1998). Ακόμη, μπορεί να ειπωθεί ότι παρουσία είναι η αίσθηση ότι βρίσκεται κάποιος μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον ως μία ξεχωριστή οντότητα (Mikropoulos & Natsis, 2011), καθώς, επίσης, και η υποκειμενική αίσθηση ότι "υπάρχει" (being) σε αυτό (Bulu, 2012). Οι παραπάνω ορισμοί υπονοούν ότι η παρουσία είναι συνώνυμη, κατά κάποιον τρόπο, με την ψευδαίσθηση της ύπαρξης σε έναν (εικονικό) τόπο (being there) (που αναφέρεται και ως ψευδαίσθηση του τόπου, place illusion, PL). Όμως, οι Slater και Sanchez-Vives (2014) πρόσθεσαν και το χαρακτηριστικό της αληθοφάνειας (plausibility), δηλαδή τη βίωση των γεγονότων σαν αυτά να είναι αληθινά. Έτσι, για να επιτευχθεί το

πρώτο στοιχείο (PL) απαιτείται η παρακολούθηση της κίνησης του κεφαλιού (head tracking) ή/και του σώματος. Ιδανικότερο θα ήταν να υπάρχει και παρακολούθηση της κίνησης των ματιών (eye tracking). Αυτά, επιτρέπουν τη φυσικότερη συμμετοχή του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας τη φυσική κίνηση του σώματός του (για παράδειγμα, σκύψιμο, παρακολούθηση του περιβάλλοντα χώρου, ακρόαση γυρίζοντας το κεφάλι προς την πηγή). Από την άλλη, για να συμβεί το δεύτερο στοιχείο (plausibility), πρέπει να ληφθούν υπόψιν τρεις παράγοντες: (α) ο βαθμός που τα γεγονότα στο περιβάλλον απευθύνονται ειδικά στον συμμετέχοντα, (β) ο βαθμός που υπάρχουν γεγονότα ανταποκρινόμενα στις ενέργειες του ατόμου (για παράδειγμα, ο συμμετέχων χαμογελά σε έναν εικονικό άνθρωπο που με τη σειρά του, του χαμογελά και εκείνος) και (γ) η συνολική ανταπόκριση του περιβάλλοντος στις προσδοκίες του χρήστη (Slater & Sanchez-Vives 2014).

Ακόμη, σύμφωνα με τους Lombard και Ditton (1997), η παρουσία είναι μία ψυχολογική κατάσταση, κατά την οποία τα εικονικά αντικείμενα θεωρούνται από τους χρήστες πραγματικά, καθώς, επίσης, τους δημιουργεί την ψευδαίσθηση ότι το διαμεσολαβημένο περιβάλλον δεν είναι διαμεσολαβημένο. Μία διαμεσολαβημένη εμπειρία στην ΕΠ είναι εκείνη που για να τη βιώσουν οι χρήστες θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν "διαμεσολαβητικές συσκευές", όπως ηλεκτρονικός υπολογιστής, HMD, χειριστήρια και συσκευές εισόδου (πληκτρολόγιο/ποντίκι) (Kaye & Giannachi, 2011). Εφόσον αυτές οι συσκευές διαμεσολαβούν μεταξύ των χρηστών και της εμπειρίας, εκείνοι, λογικά, θα πρέπει να τις "αντιλαμβάνονται" κάθε στιγμή και να τους θυμίζουν "που" βρίσκονται και "τι" κάνουν. Εντούτοις, η αίσθηση της παρουσίας σε μία μη-διαμεσολαβημένη εμπειρία ΕΠ κάνει τους χρήστες να έχουν την "ψευδαίσθηση" ότι μεταξύ των ίδιων και της εμπειρίας αυτής δεν παρεμβάλλεται τίποτε, ότι βιώνουν κάτι πραγματικό. Αυτός είναι και ο βασικός στόχος της ΕΠ, δηλαδή η δημιουργία μη διαμεσολαβημένων εμπειριών (Schafer, 2016).

Παράλληλα, η παρουσία αφορά τα χαρακτηριστικά της εμπειρίας της ΕΠ που βιώνουν οι χρήστες (Bindman et al., 2018). Δηλαδή, αν η πλοκή/ιστορία (της εφαρμογής) είναι συναρπαστική, τότε οι χρήστες θα απορροφηθούν πλήρως από αυτήν. Αν ο εικονικός κόσμος προσφέρει κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, καθώς και αλληλεπιδράσεις με άλλους χρήστες που μοιάζουν φυσικές, τότε ο εικονικός κόσμος θα φαίνεται πιο πραγματικός. Αν η αλληλεπίδραση με τον εικονικό κόσμο είναι εύκολη και φυσική, τότε αυτός δημιουργεί εξαιρετική παρουσία. Δηλαδή, η παρουσία υποδεικνύει τον βαθμό στον οποίο ο χρήστης νιώθει εμπλοκή με την εμπειρία της ΕΠ και πόσο την αισθάνεται ως μία πραγματική εμπειρία. Στην ουσία, η παρουσία είναι ένα υποκειμενικό συναίσθημα και για αυτό εξαρτάται από την κατάσταση του νου, την εμπειρία του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον και άλλους ψυχολογικούς παράγοντες.

Η παρουσία αποτελείται από σειρά διαστάσεων/υποκατηγοριών που διαφέρουν ανάλογα με τον σκοπό του πλαισίου στο οποίο εφαρμόζονται. Κάθε διάστασή της θεωρείται ότι εμπεριέχει την ίδια θεμελιώδη αρχή, δηλαδή ότι οι χρήστες αισθάνονται "παρόντες" (μέσα) σε ένα εικονικό περιβάλλον, αντιλαμβανόμενοι το εικονικό περιεχόμενο ως πραγματικό (Schubert et al., 2001). Οι διαφορετικές διαστάσεις, ωστόσο, ενισχύουν την περαιτέρω διάκριση του πλαισίου ή της κατάστασης στην οποία εμφανίζεται η παρουσία. Αυτά τα πλαίσια ή καταστάσεις, τα οποία χρησιμοποιούνται συχνά εναλλακτικά, είναι τα εξής (Zhao, 2003):

- Αυτοπαρουσία (self-presence). Σύμφωνα με τον Lee (2004), οι χρήστες νιώθουν αυτοπαρουσία σε έναν εικονικό κόσμο, δηλαδή βιώνουν τον εικονικό εαυτό τους σαν πραγματικό. Ακόμη,

σύμφωνα με τον Heeter (1992), ονομάζεται και προσωπική παρουσία (personal presence), δηλαδή ότι οι χρήστες νιώθουν μέρος του περιβάλλοντος.

- Χωρική παρουσία (spatial presence). Είναι η αίσθηση της ύπαρξης σε ένα περιβάλλον (Schubert et al., 2001). Σχετίζεται με την αληθοφάνεια της παρουσίας εντός του διαμεσολαβημένου χώρου, δηλαδή είναι καθαρά βιωματική. Ο Steuer (1992) υποστήριξε ότι σε οποιαδήποτε διαμεσολαβημένη επικοινωνία υπάρχει επικάλυψη με τη φυσική παρουσία, δηλαδή του πραγματικού κόσμου. Ακόμη, σύμφωνα, με τον Heeter (1992) αυτό το είδος της παρουσίας ονομάζεται και περιβαλλοντική παρουσία (environmental presence). Επιπλέον, κάποιιοι διαχώρισαν περαιτέρω τη χωρική παρουσία σε αυτο-θέση (self-location) και σε πιθανές ενέργειες (possible actions) (Wirth et al., 2007). Το πρώτο είδος αφορά την αίσθηση ότι οι χρήστες βρίσκονται σε ένα μη-διαμεσολαβημένο περιβάλλον και το δεύτερο σχετίζεται με τις αντιληπτές δυνατότητες δράσης σε αυτό. Επιπρόσθετα, οι Kim και Biocca (1997) θεώρησαν ότι η παρουσία αποτελείται από δύο έννοιες, την άφιξη (το αίσθημα ότι οι χρήστες βρίσκονται σε ένα εικονικό περιβάλλον) και την αναχώρηση (το αίσθημα ότι διαχωρίζονται από το φυσικό περιβάλλον), οι οποίες φαίνεται πως σχετίζονται με την έννοια της χωρικής παρουσίας.
- Φυσική παρουσία (natural presence). Αφορά τον βαθμό στον οποίο το εικονικό περιβάλλον βρίσκεται σε συμφωνία με την πραγματικότητα (Witmer & Singer, 1998). Ακόμη, κατά τον Lee (2004), η φυσική παρουσία είναι μία ψυχολογική κατάσταση κατά την οποία τα εικονικά αντικείμενα βιώνονται από τους χρήστες ως πραγματικά αντικείμενα με αισθητηριακούς ή μη αισθητικούς τρόπους.
- Η τηλε-παρουσία (tele-presence). Ξεχωρίζει λόγω του πρωτότυπου πλαισίου της, δηλαδή τις διάφορες τηλε-λειτουργίες/εργασίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν (Sheridan, 1992). Ο Steuer (1992) θεώρησε την τηλε-παρουσία ως διακριτή έννοια από την παρουσία, προτείνοντας ότι η πρώτη αναφέρεται στην εμπειρία ενός δευτερεύοντος περιβάλλοντος (όπως το εικονικό) μέσω ενός μέσου επικοινωνίας. Λαμβάνοντας υπόψη και τις δύο αυτές διακρίσεις, η τηλε-παρουσία, όπως σχετίζεται με το πλαίσιο της τηλε-λειτουργίας, υποδηλώνει ότι οι αντιλήψεις σχετίζονται με την εμπειρία ενός εικονικού περιβάλλοντος, στο οποίο η εργασία (δηλαδή η αλληλεπίδραση) μπορεί να προκύψει με τη χρήση ενός μέσου επικοινωνίας.
- Η συν-παρουσία (co-presence). Είναι παρόμοια έννοια με την τηλε-παρουσία, έχοντας ωστόσο διαφορετική διάσταση. Οι Nowak και Biocca (2003) σημείωσαν τη διάκριση μεταξύ των εννοιών αυτών σε σχέση με τη σύνδεση με άλλα άτομα. Ενώ η τηλε-παρουσία μπορεί να συμβεί χωρίς τη συμμετοχή άλλου ατόμου, η συν-παρουσία εξαρτάται από την παρουσία άλλου ατόμου που να είναι και αυτό συνδεδεμένο στο ίδιο μέσο. Αυτή η ανθρώπινη σύνδεση είναι που διακρίνει τη συν-παρουσία από την τηλε-παρουσία, δηλαδή εστιάζει στη σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ δύο ατόμων (Zhao, 2003). Μάλιστα, όταν υπάρχει υψηλός βαθμός εμπύθισης, αυτό βοηθάει τους χρήστες να αισθανθούν τη συν-παρουσία με άλλους και να διευκολυνθεί η αμοιβαία κατανόηση μεταξύ τους, όταν, για παράδειγμα, διεξάγουν μία συνεργατική έρευνα (Heldal et al., 2007).
- Η κοινωνική παρουσία (social presence). Μία ακόμη διάσταση της παρουσίας, έχει σχέση με τη συν-παρουσία, αλλά απαιτεί τη σύνδεση μίας ομάδας ανθρώπων (Nowak & Biocca, 2003). Παράλληλα, οι Gunawardena και Zittle (1997) θεώρησαν ότι η κοινωνική παρουσία αφορά το πώς γίνεται αντιληπτή η πραγματικότητα σε μία διαμεσολαβημένη επικοινωνία και ότι εξαρτάται από δύο παράγοντες, την οικειότητα και την αμεσότητα (Gunawardena & Zittle, 1997). Σύμφωνα με τον Lee (2004), η κοινωνική παρουσία σε έναν εικονικό κόσμο είναι η αλληλεπίδραση των ανθρώπων με (τεχνητούς) κοινωνικούς χαρακτήρες που μοιάζουν πολύ αληθινοί ή με τις αναπαραστάσεις άλλων ατόμων που έχουν συνδεθεί στο ίδιο εικονικό περιβάλλον.



### 3.4. Η αλληλεπίδραση

Η αλληλεπίδραση φαίνεται να είναι έννοια κάπως πιο απλή και λιγότερο δύσκολη στο να καθοριστεί σε σχέση με την εμπύθιση και την παρουσία. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω (βλ. Κεφάλαιο "3.1. Τα τρία Is της Εικονικής Πραγματικότητας"), σύμφωνα με τους Burdea και Coiffet (2003), η αλληλεπίδραση αφορά την επικοινωνία και τη σύνδεση μεταξύ του χρήστη και του συστήματος της ΕΠ. Βέβαια, υπάρχουν πολλά είδη/διαστάσεις και τεχνολογίες που συμβάλλουν και ενισχύουν την επικοινωνία ανθρώπου-συστήματος. Και όχι μόνο τις ενισχύουν, αλλά ένας από τους βασικούς στόχους της ΕΠ είναι οι, όσο το δυνατόν, πιο φυσικές αλληλεπιδράσεις των χρηστών με ένα εικονικό περιβάλλον και τα εικονικά αντικείμενα που αυτό περιλαμβάνει (Rebelo et al., 2012). Έτσι, οι διαστάσεις της αλληλεπίδρασης μεταξύ χρήστη και συστήματος ΕΠ είναι οι εξής:

- Πλοήγηση (navigation). Αν υπάρχει δυνατότητα πλοήγησης ή όχι.
- Διεπαφή χρήστη (user interface). Αφορά τον τρόπο με τον οποίο υλοποιούνται οι διάφορες αλληλεπιδράσεις. Υπάρχει η σύνθετη διεπαφή χρήστη (composite user interface) που περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση με δύο ή περισσότερες αισθήσεις. Όταν αφορά την όραση λέγεται γραφική διεπαφή χρήστη (graphical user interface), ενώ όταν περιλαμβάνει και ήχο ονομάζεται πολυμεσική διεπαφή χρήστη (multimedia user interface). Η διεπαφή σε ένα σύστημα ΕΠ ανήκει στη δεύτερη περίπτωση. Βέβαια, επιδίωξη στην ΕΠ είναι να εμπλακούν και άλλες αισθήσεις στη διεπαφή για τη δημιουργία μίας ολοκληρωμένης αλληλεπίδρασης, δηλαδή σαν να βρίσκονται οι χρήστες στο πραγματικό περιβάλλον.
- Τροπικότητα (modality). Η τροπικότητα, κατά την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, αφορά τη χρήση αισθητηριακών καναλιών εισόδου/εξόδου μεταξύ ανθρώπου-υπολογιστή (Karray et al., 2008). Κατά κάποιο τρόπο, σχετίζεται λοιπόν με τη διεπαφή. Αν υπάρχει μόνο ένα κανάλι ονομάζεται μονοτροπικότητα και αν υπάρχουν παραπάνω από ένα ονομάζεται πολυτροπικότητα (Karray et al., 2008). Επίσης, υπάρχουν δύο μορφές τροπικότητας (Palanque, 2001). Η πρώτη είναι η τροπικότητα υπολογιστή-ανθρώπου, όπου οι συσκευές εξόδου του συστήματος ΕΠ για να δώσουν πληροφορίες στους χρήστες διεγείρουν τις αισθήσεις τους (όραση και ακοή και πιο σπάνια αφή, γεύση, όσφρηση, θερμότητα, αίσθηση πόνου και ισορροπίας). Η δεύτερη είναι η τροπικότητα ανθρώπου-υπολογιστή (Bainbridge, 2004), όπου τα συστήματα ΕΠ είναι εξοπλισμένα με συσκευές εισόδου, ώστε να λαμβάνουν πληροφορίες από τους χρήστες. Τέτοιες συσκευές είναι συχνά το πληκτρολόγιο, το ποντίκι, η οθόνη αφής, ενώ πιο σπάνια η υπολογιστική όραση (κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης) και η αναγνώριση ομιλίας και κίνησης.
- Ανθρώπινος παράγοντας (human agency) που θα μπορούσε να σχετίζεται με την πλοήγηση, αλλά θα μπορούσε, επίσης, να είναι ένα κριτήριο του πόσο ένας χρήστης είναι σε θέση να αλληλεπιδράσει με ή/και να χειριστεί ένα συγκεκριμένο περιβάλλον.

Ακόμη, τα είδη της αλληλεπίδρασης που μπορούν να έχουν οι χρήστες με ένα εικονικό περιβάλλον είναι τα εξής:

- Φυσική αλληλεπίδραση (physical interaction). Πρόκειται για μία αλληλεπίδραση, πέρα από την απλή χρήση πληκτρολογίου/ποντικού, όπου χρησιμοποιούνται, συνήθως, χειριστήρια ή μόνο τα χέρια των χρηστών ή ειδικά γάντια (Jha, 2018). Με αυτήν οι χρήστες μπορούν να βιώσουν μία δραστηριότητα όπως θα την εκτελούσαν και στον πραγματικό κόσμο (για παράδειγμα να παίξουν τένις), δηλαδή πολύ ρεαλιστικά.
- Μαγική αλληλεπίδραση (magical interaction). Πρόκειται για μία αλληλεπίδραση που δεν θα μπορούσε να συμβεί στην πραγματικότητα (Bowman et al., 2012). Οι χρήστες, με αυτήν την

αλληλεπίδραση μπορούν να αποκτήσουν υπερδυνάμεις ή να αλληλεπιδράσουν με φανταστικούς χαρακτήρες σε ένα μη πραγματικό περιβάλλον (δεν υπάρχουν περιορισμοί σε αυτό το είδος της εμπειρίας).

- **Ενεργή αλληλεπίδραση (active interaction).** Αφορά την αλληλεπίδραση που προκαλείται από τους χρήστες προς το σύστημα ΕΠ, όπως το να "κλικάρουν" με το ποντίκι ή να επιλέξουν κάποιο περιεχόμενο με τα χειριστήρια (Ferguson et al., 2020). Ακόμη, είναι ελεύθεροι να διαλέξουν τι θα δουν από το εικονικό περιβάλλον χωρίς να είναι απαραίτητη μία συγκεκριμένη σειρά προβολής.
- **Παθητική αλληλεπίδραση (passive interaction).** Πρόκειται για την αλληλεπίδραση που δεν συντελείται από τους χρήστες μέσω συσκευών εισόδου, αλλά από το ίδιο το σύστημα μέσω της ανίχνευσης της θέσης τους ή μίας ξενάγησης. Αν μάλιστα, το σύστημα μπορεί να παρακολουθήσει και την κίνηση των ματιών (eye tracking), τότε επιτυγχάνεται μία πιο βελτιωμένη αλληλεπίδραση (Schönbrunner, 2000).
- **Διαισθητική αλληλεπίδραση (intuitive interaction).** Οι διαισθητικές διεπαφές είναι λιγότερο εύκολες στην υλοποίησή τους, αλλά πιο εύχρηστες. Η διαισθητική αλληλεπίδραση ανακαλεί την εμπειρία του παρελθόντος, είναι γρήγορη, ακριβής και συχνά οι χρήστες δεν σκέφτονται προτού να πράξουν (δρουν ασυνείδητα) (Blackler et al., 2019). Οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδράσουν με διεπαφές και συστήματα διαισθητικά, όταν είναι σε θέση να εφαρμόσουν προηγούμενες γνώσεις τους σε ένα νέο πλαίσιο χρήσης (Naumann et al., 2007).
- **Ενσώματη αλληλεπίδραση (embodied interaction).** Αυτού του είδους η αλληλεπίδραση παρέχει τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσει το (φυσικό) σώμα κάποιου με την τεχνολογία με τρόπο φυσικό, για παράδειγμα με χειρονομίες (Hartson & Pyla, 2012). Ακόμη, σχετίζεται με τον τρόπο που οι χρήστες αντιλαμβάνονται/κατανοούν τον κόσμο, τον εαυτό τους και την αλληλεπίδραση που προέρχεται από τους ίδιους σε έναν φυσικό και κοινωνικό κόσμο με ενσώματους παράγοντες (Dourish, 2004).
- **Απτική αλληλεπίδραση (tangible interaction).** Σχετίζεται με την ενσώματη αλληλεπίδραση (embodied interaction) και, κατά κάποιον τρόπο, αλληλοσυμπληρώνονται. Η απτική αλληλεπίδραση αφορά την αλληλεπίδραση ανάμεσα στους χρήστες και τα αντικείμενα (Ishii & Ullmer, 1997), στα οποία έχει περιληφθεί κάποιας μορφής απτική ανάδραση.

### 3.5. Σχέση εμπύθισης και παρουσίας

Η βιβλιογραφία φαίνεται να ασχολείται περισσότερο με τη σχέση εμπύθισης και παρουσίας, ενώ, συνήθως, η αλληλεπίδραση αποτελεί μέρος τους. Ωστόσο, κάποιος μπορεί να υποστηρίξει ότι οι έννοιες εμπύθιση και παρουσία δεν είναι τόσο διαχωρισμένες και υπάρχει μία γκρίζα περιοχή μεταξύ τους. Η φύση της παρουσίας είναι ιδιαίτερα υποκειμενική, γεγονός που την καθιστά πιο δύσκολο να οριστεί σε σχέση με την έννοια της εμπύθισης. Παρόλα αυτά, η παρουσία φαίνεται να σχετίζεται άμεσα με την εμπύθιση, καθώς αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι οι εμπυθιστικές δυνατότητες της ΕΠ, επηρεάζουν την υποκειμενική αίσθηση της παρουσίας (Balakrishnan & Sundar, 2011). Επιπλέον, όπως φάνηκε από όσο αναφέρθηκαν προηγουμένως, η εμπύθιση είναι ένα τεχνολογικό χαρακτηριστικό των συστημάτων ΕΠ που συνεισφέρει (μαζί με άλλα) στη δημιουργία της αίσθησης της παρουσίας (Νάτσης & Ζαχαράς, 2008).

Η εμπύθιση είναι σημαντική για τη δημιουργία της παρουσίας, καθώς εάν ένας εικονικός κόσμος είναι άρτιος από τεχνική άποψη, αλλά τον βιώνει κάποιος μέσω ενός HMD χαμηλών δυνατοτήτων (για

παράδειγμα, ενός που δεν δίνει τη δυνατότητα για κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, δεν έχει φυσική ανάδραση και έχει χαμηλή ανάλυση), τότε ο χρήστης δε θα μπορέσει να αισθανθεί ότι πραγματικά βρίσκεται εκεί και έτσι η αίσθηση της παρουσίας καταστρέφεται. Βέβαια, αυτό δεν ισχύει πάντοτε. Ακόμα και με ένα HMD χαμηλών δυνατοτήτων, αν η πλοκή είναι συναρπαστική, με εξαιρετικούς χαρακτήρες και εμπλέκει τον χρήστη, ο οποίος παραμένει για αρκετή ώρα εκεί ώστε να συνηθίσει τα γραφικά, θα μπορούσε να αισθανθεί παρουσία έτσι και αλλιώς, επειδή θα νιώθει σαν να ζει σε αυτόν τον κόσμο. Άρα, μπορεί σε έναν χρήστη να του δημιουργηθεί η αίσθηση της παρουσίας, ακόμη και χωρίς να υπάρχει υψηλός βαθμός εμπύθισης.

Επίσης, οι Witmer και Singer (1998) όρισαν την παρουσία ως την υποκειμενική εμπειρία του να βρίσκεται κάποιος σε ένα μέρος ή περιβάλλον, ακόμη και αν αυτός βρίσκεται φυσικά σε ένα άλλο. Η παρουσία αναφέρεται στην εμπειρία του εικονικού περιβάλλοντος και όχι στη φυσική τοποθεσία. Οι απαραίτητες προϋποθέσεις για να τη βιώσει κάποιος είναι η συμμετοχή και η εμπύθιση. Σύμφωνα με τους ίδιους, η συμμετοχή είναι η ψυχολογική κατάσταση που βιώνεται από το άτομο ως συνέπεια ενός συνόλου ερεθισμάτων που δέχεται, της εστίασης της ενέργειας και της προσοχής του σε σημαντικές δραστηριότητες και γεγονότα. Έτσι, η συμμετοχή σχετίζεται με άλλες έννοιες, παρόμοιες με την εμπλοκή όπως "η κατάσταση ροής" (flow). Αντίστοιχα, η εμπύθιση είναι μία ψυχολογική κατάσταση του ατόμου που χαρακτηρίζεται από την αντίληψη ότι περιβάλλεται, περιλαμβάνεται και αλληλεπιδρά με ένα περιβάλλον που του παρέχει μία συνεχή ροή ερεθισμάτων.

Εντούτοις, ο Slater (1999), ως "απάντηση" στους Witmer και Singer, υποστήριξε ότι η εμπύθιση αναφέρεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά του μέσου και ότι αυτά τα χαρακτηριστικά επιδρούν στις διάφορες αισθήσεις του χρήστη. Δηλαδή, ο Slater δεν έδωσε στην εμπύθιση την ψυχολογική διάσταση που της προσδίδουν οι Witmer και Singer, αλλά την όρισε καθαρά από τεχνολογική σκοπιά. Από την άλλη, ο Slater (2002) συμφωνεί με τους Witmer και Singer ως προς την ερμηνεία της έννοιας της παρουσίας, ότι δηλαδή οι χρήστες αισθάνονται ότι αποτελούν μέρος του εικονικού περιβάλλοντος.

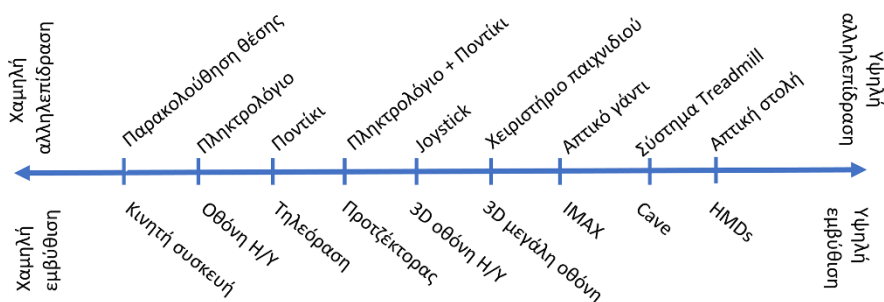
Η παρουσία και η εμπύθιση φαίνεται να συναντώνται όταν η προσοχή του χρήστη εστιάζεται τόσο ή απορροφάται τόσο ώστε να συμμετέχει στο ψηφιακό περιβάλλον και να εμπλέκεται με το περιεχόμενο (Orpean, 2014). Κάτι τέτοιο επιτρέπει τη δημιουργία ενός πλαισίου μέτρησης της επιρροής που έχει η μία έννοια στην άλλη. Για παρόμοιους λόγους, και όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι Witmer και Singer (1988) υποστήριξαν ότι και η εμπύθιση και η συμμετοχή αποτελούν τις προϋποθέσεις για να βιώσει ένα άτομο την παρουσία σε ένα εικονικό περιβάλλον.

Κάποιοι συνδύασαν την εμπύθιση, την παρουσία και τη διαμεσολάβηση, αναφέροντας ότι η παρουσία ορίζεται ως η ψυχολογική κατάσταση κατά την οποία ένας χρήστης νιώθει χαμένος ή εμπυθισμένος σε ένα διαμεσολαβημένο περιβάλλον, ότι αισθάνεται σωματικά "παρών" σε αυτό (Schubert et al., 2001). Παράλληλα, σύμφωνα με τον Μικρόπουλο (2016), η αίσθηση της παρουσίας είναι η (ψευδ)αίσθηση της μη διαμεσολάβησης που δημιουργείται από τις τρισδιάστατες αναπαραστάσεις, τη διαισθητική αλληλεπίδραση και την εμπύθιση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, όπου οι ερευνητές θεωρούν την παρουσία υποκειμενική αίσθηση, παράλληλα θεωρούν την εμπύθιση ως αντικειμενικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας, που αφορά τον βαθμό που ένα τεχνολογικό μέσο μπορεί να παρέχει στον χρήστη την (ψευδ)αίσθηση ότι βρίσκεται σε ένα πραγματικό περιβάλλον (Slater & Wilbur, 1997). Καταληκτικά, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι ο

πυρήνας της ΕΠ είναι η παρουσία και κινείται μέσα στα όρια που θέτει η εμπύθιση (Slater, 2009), καθώς και ότι η ΕΠ μπορεί να θεωρηθεί μία εμπειρία αρκετά ρεαλιστική μόνο όταν οι χρήστες νιώθουν συγχρόνως εμπύθιση και παρουσία (Eichenberg, 2011).

Από την άλλη, η σχέση αλληλεπίδρασης και εμπύθισης μπορεί να φανεί μέσα από το παρακάτω συνεχές (Σχήμα 9), όπου φαίνεται ότι η χαμηλή αλληλεπίδραση και εμπύθιση υπάρχουν όταν οι χρήστες χρησιμοποιούν απλές συσκευές, ενώ η υψηλή κατά τη χρήση εξελιγμένων (Oprean, 2014).



**Σχήμα 9.** Το συνεχές αλληλεπίδρασης και εμπύθισης (Oprean, 2014)

Συνοψίζοντας, ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τα είδη εμπύθισης, παρουσίας και αλληλεπίδρασης.

**Πίνακας 3.** Τα είδη εμπύθισης, παρουσίας και αλληλεπίδρασης

Είδη εμπύθισης	Είδη παρουσίας	Είδη αλληλεπίδρασης
Απτική εμπύθιση (Tactical immersion)	Αυτοπαρουσία (Self-presence)	Φυσική αλληλεπίδραση (Physical interaction)
Τεχνική εμπύθιση (Technical immersion)	Χωρική παρουσία (Spatial presence)	Μαγική αλληλεπίδραση (Magic interaction)
Αφηγηματική εμπύθιση (Narrative immersion)	Φυσική παρουσία (Natural presence)	Ενεργή αλληλεπίδραση (Active immersion)
Πνευματική εμπύθιση (Mental immersion)	Τηλε-παρουσία (Telepresence)	Παθητική αλληλεπίδραση (Passive interaction)
Φανταστική εμπύθιση (Imaginative immersion)	Συν-παρουσία (Co-presence)	Διαισθητική αλληλεπίδραση (Intuitive interaction)
Αισθητηριακή εμπύθιση (Sensory immersion)	Κοινωνική παρουσία (Social presence)	Ενσώματα αλληλεπίδραση (Embodied interaction)
Κιναισθητική εμπύθιση (Sensory motor immersion)		Απτική αλληλεπίδραση (Tangible interaction)
Συναισθηματική εμπύθιση (Emotional immersion)		
Γνωστική εμπύθιση (Cognitive immersion)		

Στρατηγική εμβύθιση  
(Strategic immersion)  
Χωρική εμβύθιση (Spatial  
immersion)  
Φυσική εμβύθιση  
(Physical immersion)  
Ενεργή εμβύθιση (Active  
immersion) και Παθητική  
εμβύθιση (Passive  
immersion)

---

### 3.6. Γενικά σχόλια

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η εμβύθιση, η παρουσία και η αλληλεπίδραση που θεωρούνται τα κύρια χαρακτηριστικά της ΕΠ και συζητήθηκαν οι μεταξύ τους σχέσεις. Εντοπίστηκαν οι υποκατηγορίες αυτών των χαρακτηριστικών. Γενικότερα, φάνηκε ότι η εμβύθιση είναι ένα περισσότερο τεχνικό στοιχείο ενώ, από την άλλη, η παρουσία θεωρήθηκε ως ένα υποκειμενικό χαρακτηριστικό που σχετίζεται με το πόσο ένας χρήστης αισθάνεται ότι βρίσκεται μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον. Τέλος, η αλληλεπίδραση σχετίζεται με την επικοινωνία και τη σύνδεση μεταξύ χρηστών και εικονικού περιβάλλοντος.

Έτσι, κατά σύμβαση, μπορούν να δοθούν οι εξής ορισμοί για αυτούς τους τρεις αυτούς όρους:

- Η εμβύθιση αφορά το πόσο πλήρεις/πλούσιες είναι οι αισθητηριακές πληροφορίες που παρέχονται στον χρήστη από το εικονικό περιβάλλον. Όσο πιο πολύ προσομοιάζουν αυτές του πραγματικού κόσμου, τόσο πιο αυξημένη η εμβύθιση. Δηλαδή, η εμβύθιση είναι περισσότερο ένα αντικειμενικό φαινόμενο και θα πρέπει να διερευνάται με τεχνικά εργαλεία (τεχνικά ερωτηματολόγια) και συσκευές ΕΠ (διαφορετικές για να φανούν τα διάφορα επίπεδα εμβύθισης).
- Η παρουσία αφορά το πόσο ένας χρήστης αισθάνεται ότι βρίσκεται μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον και έχει την ψευδαίσθηση της μη διαμεσολάβησης, δηλαδή είναι περισσότερο ένα υποκειμενικό φαινόμενο και θα πρέπει να διερευνάται με ψυχομετρικά εργαλεία (ψυχομετρικά ερωτηματολόγια).
- Η αλληλεπίδραση είναι η, όσο το δυνατόν, πιο φυσική επικοινωνία και σύνδεση μεταξύ χρηστών και εικονικού περιβάλλοντος.



## Κεφάλαιο 4. Ταξινόμια συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας

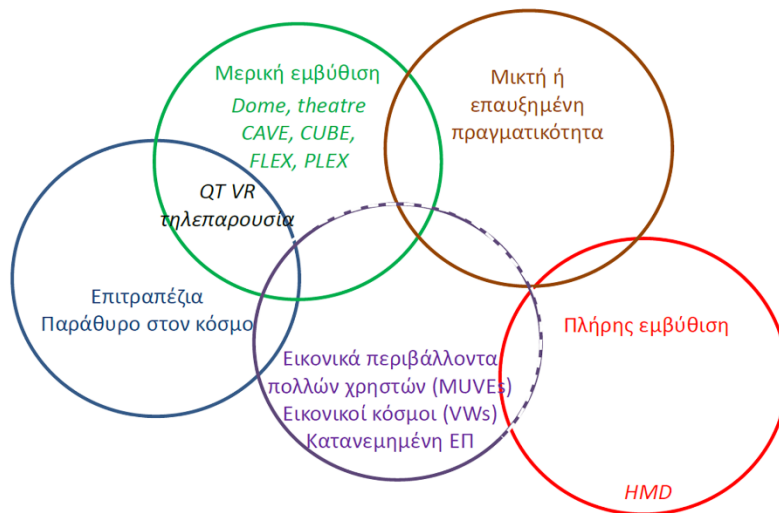
Όπως φάνηκε από τα προηγούμενα κεφάλαια, η ΕΠ έχει πάρει ποικίλες μορφές, ακολουθώντας, παράλληλα, τις εξελίξεις της τεχνολογίας. Βέβαια, παρά τις διαφοροποιήσεις που έχουν συμβεί, έχει διατηρηθεί αναλλοίωτος ο κύριος σκοπός της, που δεν είναι άλλος από το να δημιουργεί στους χρήστες πλούσιες εμπειρίες. Τα συστήματα της ΕΠ ποικίλουν ανάλογα με το λογισμικό, αλλά και το υλικό που χρησιμοποιούν οι χρήστες (Levin, 2011). Όταν γίνεται λόγος για λογισμικό, εννοείται το προγραμματιστικό κομμάτι (η προγραμματιστική πλατφόρμα) με την οποία έχει δημιουργηθεί και υποστηρίζεται το εκάστοτε σύστημα. Για παράδειγμα, ένα εικονικό περιβάλλον μπορεί να είναι κατασκευασμένο με την πλατφόρμα Unity. Το υλικό είναι το μέσο με το οποίο οι χρήστες αλληλεπιδρούν με το λογισμικό. Συνήθως, αυτό αποτελείται από συσκευές εξόδου, όπως η οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, τα HMDs, ακόμη και ένα ολόκληρο δωμάτιο, αλλά και από συσκευές εισόδου, όπως το πληκτρολόγιο/ποντίκι και τα χειριστήρια. Έτσι, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται κάποιες από τις υφιστάμενες ταξινομίες των συστημάτων ΕΠ και προτείνεται μία νέα ταξινόμησή τους. Επίσης, γίνεται αναφορά στα διάφορα είδη ΕΠ.

#### **4.1. Υφιστάμενες ταξινομίες συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας**

Ο Μικρόπουλος (2016) πρότεινε μία ταξινόμια με βάση, κυρίως, τη διεπαφή όρασης, περιλαμβάνοντας όλες τις περιπτώσεις που μπορεί ένας χρήστης να αντιληφθεί με τα μάτια του ένα εικονικό περιβάλλον.

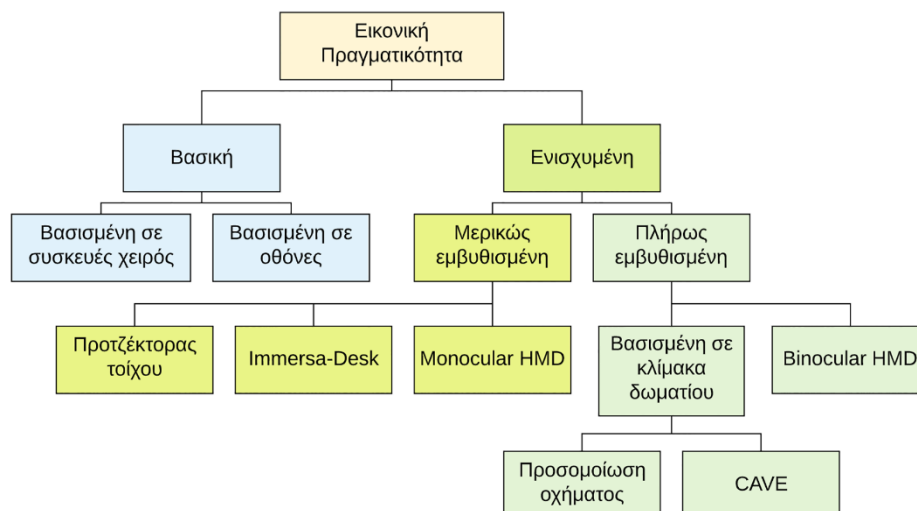
Έτσι, πρότεινε τις εξής κατηγορίες της ΕΠ (Σχήμα 10):

- Επιτραπέζια ΕΠ. Η οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή (και τα περιφερικά του) αποτελεί το μέσο αυτού του συστήματος, έχει απλά τρισδιάστατα γραφικά, υψηλή ανάλυση και περιορισμένη αλληλεπίδραση.
- QuickTime VR-Τηλεπαρουσία. Πρόκειται για ένα εργαλείο που υποστηρίζει πολλά είδη γραφικών, ταινιών και ήχων, παρέχοντας εικόνες υψηλής ανάλυσης (πανοραμικές, 360°) με περιορισμένη αλληλεπίδραση (βηματική και υπερμεσική) και στερεοσκοπία.
- Μερική εμβύθιση (CAVE, CUBE, FLEX, PLEX). Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα συστήματα ΕΠ που παρέχουν φωτορεαλισμό, στερεοσκοπία, καθοδηγούμενη αλληλεπίδραση και επιτρέπουν μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων.
- Μικτή-Επαυξημένη Πραγματικότητα. Πρόκειται για τεχνολογίες που ενθέτουν εικονικά αντικείμενα/πληροφορίες στον φυσικό χώρο. Μάλιστα, στη Μικτή Πραγματικότητα αυτά συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν με τον φυσικό χώρο σε πραγματικό χρόνο.
- Εικονικά Περιβάλλοντα Πολλών Χρηστών/Εικονικοί κόσμοι/Κατανεμημένη ΕΠ. Σε αυτά τα περιβάλλοντα υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ πολλών χρηστών, συγχρονικότητα και αίσθηση της παρουσίας.
- Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα. Υπάρχει υψηλός βαθμός αλληλεπίδρασης και μέση έως μεγάλη ανάλυση οθόνης.



**Σχήμα 10.** Ταξινόμια των συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας (Μικρόπουλος, 2016)

Η Muhanna (2015) έθεσε δύο κριτήρια για τη δημιουργία της ταξινόμιας της. Το πρώτο ήταν ο τύπος της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την κατασκευή κάθε συστήματος, δηλαδή η ανάγκη για ειδικές συσκευές εισόδου-εξόδου, ώστε να βιώσει κάποιος την ΕΠ. Τα συστήματα που δεν χρησιμοποιούν τέτοιες ειδικές συσκευές ονομάστηκαν "βασικά", ενώ εκείνα που απαιτούν τέτοιες, ονομάστηκαν "ενισχυμένα". Το δεύτερο κριτήριο στο οποίο βασίστηκε ήταν το επίπεδο της πνευματικής εμπύθισης του χρήστη σε ένα εικονικό περιβάλλον. Η εμπύθιση, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο "3.2. Η εμπύθιση") ναι μεν είναι ένα ψυχολογικό φαινόμενο, αλλά προκαλείται από τη χρήση ειδικών συσκευών. Ακόμη, η Muhanna χρησιμοποίησε τον όρο πνευματική εμπύθιση-mental immersion, δηλαδή κάτι καθαρά υποκειμενικό. Έτσι, θεώρησε ότι τα συστήματα ΕΠ ποικίλουν με βάση τον βαθμό της πνευματικής εμπύθισης που παρέχουν στους χρήστες (Σχήμα 11).



**Σχήμα 11.** Μία άλλη ταξινόμια των συστημάτων ΕΠ (Muhanna, 2015)



Η Βασική ΕΠ περιλαμβάνει την ΕΠ που είναι βασισμένη σε οθόνες (ηλεκτρονικός υπολογιστής) και σε εκείνη που βασίζεται σε συσκευές χειρός. Και οι δύο παρέχουν πολύ χαμηλή πνευματική εμπύθιση. Από την άλλη, η Ενισχυμένη ΕΠ επιμερίζεται στη μερικώς εμπυθιστική ΕΠ και στην ΠΕΕΠ.

Η μερικώς εμπυθιστική ΕΠ περιλαμβάνει:

- Προτζέκτορες τοίχου. Σε αυτό το σύστημα δεν χρησιμοποιούνται στερεοσκοπικά γυαλιά και η διάδραση με τα εικονικά αντικείμενα γίνεται μέσω ειδικών γαντιών. Να σημειωθεί ότι δεν προβάλλει αντικείμενα στις τρεις διαστάσεις.
- Immersa-Desk. Ο χρήστης φοράει ειδικά γυαλιά για να δει το περιεχόμενο (τριδιάστατο αντικείμενο) στην οθόνη προβολής.
- Monocular HMD. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να βλέπει, συνδυαστικά, εικονικά και πραγματικά αντικείμενα μέσω διάφανων οθονών. Εναλλακτικά, μπορεί να τα βλέπει με το ένα μάτι και με το άλλο να βλέπει τον πραγματικό κόσμο. Άπτεται της Επαυξημένης πραγματικότητας.

Η ΠΕΕΠ περιλαμβάνει:

- Binocular HMD. Πρόκειται για τα HMDs που παρέχουν προβολή και από τα δύο μάτια του χρήστη που μπορεί να δίνουν είτε έξι βαθμούς είτε τρεις βαθμούς ελευθερίας (για περισσότερες λεπτομέρειες στο θέμα αυτό, βλ. Κεφάλαιο "2.2. Αρχές και στοιχεία λειτουργίας των Head Mounted Displays").
- ΕΠ βασισμένη σε κλίμακα δωματίου. Αυτή διακλαδίζεται περαιτέρω σε προσομοιώσεις οχημάτων και σε συστήματα CAVE.

#### **4.2. Προτεινόμενη ταξινόμια συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας**

Σχετικά με την πρώτη ταξινόμια των συστημάτων ΕΠ (Μικρόπουλος, 2016), η κατηγορία "Μικτή-Επαυξημένη Πραγματικότητα" περιλαμβάνει δύο διαφορετικές τεχνολογίες, οι οποίες κατατάσσονται μαζί, γιατί έχουν, σχεδόν, παρόμοιες λειτουργίες (εφόσον και οι δύο ενθέτουν εικονικά αντικείμενα/πληροφορίες στον φυσικό χώρο). Βέβαια, η Μικτή και η Επαυξημένη Πραγματικότητα έχουν στοιχεία της ΕΠ, χωρίς όμως να είναι αμιγώς ΕΠ (Milgram & Kishino, 1994). Πιθανότατα συμπεριλήφθηκαν στην ταξινόμια επειδή το κριτήριο κατάταξης ήταν η διεπαφή όρασης.

Σχετικά με τη δεύτερη ταξινόμια των συστημάτων ΕΠ (Muhanna, 2015), παρατηρείται ότι στην κατηγορία της βασικής ΕΠ περιλαμβάνεται η ΕΠ βασισμένη σε συσκευές χειρός, που αφορά την προβολή εικονικού περιεχομένου στην οθόνη μίας φορητής συσκευής. Πρόκειται για μία παλαιότερη μορφή ΕΠ που έχει αντικατασταθεί, χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις, από την Επαυξημένη Πραγματικότητα. Ακόμη, φαίνεται ότι στην κατηγορία της μερικώς εμπυθιστικής ΕΠ περιλαμβάνεται το monocular HMD, το οποίο σχετίζεται περισσότερο με την Επαυξημένη Πραγματικότητα, μία τεχνολογία, που όπως αναφέρθηκε, είναι διαφορετική από την ΕΠ. Συνεπώς, ίσως θα έπρεπε να περιληφθεί σε άλλη ταξινόμια. Επιπλέον, στην ταξινόμια αυτή, η ΕΠ βασισμένη σε κλίμακα δωματίου (προσομοίωση οχήματος και CAVE) εντάσσεται στην ΠΕΕΠ. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά δεν αποκόπτουν πλήρως τον χρήστη από το φυσικό περιβάλλον. Ίσως λοιπόν, να έπρεπε να ενταχθούν σε άλλη κατηγορία, για παράδειγμα, στη μερικώς εμπυθιστική ΕΠ, κάτι που άλλωστε συμβαίνει στην πρώτη ταξινόμια.

Σε κάθε περίπτωση, όπως φάνηκε από τις παραπάνω ταξινομίες της ΕΠ, ένας χρήστης μπορεί να βιώσει μία εικονική εμπειρία μέσα από ποικίλες μορφές και τρόπους παρουσίασης. Συγκεκριμένα, η ταξινομία του Μικρόπουλου έγινε με βάση τη διεπαφή όρασης, δηλαδή αυτό που βλέπει ο χρήστης, ενώ η ταξινομία της Muhanha με βάση το υλικό και την πνευματική εμπύθιση, δηλαδή πόσο αισθάνεται ο χρήστης ότι ανήκει στον εικονικό κόσμο, τη συναισθηματική εμπλοκή με τους χαρακτήρες και την αποκοπή από το περιβάλλον του. Ίσως, τελικά, το σημαντικό κριτήριο να είναι η εμπύθιση, καθώς εμπεριέχει όλα τα παραπάνω στοιχεία.

Έχοντας λοιπόν ως αφετηρία τις παραπάνω ταξινομίες, μπορούν να επαναπροσδιοριστούν τα συστήματα της ΕΠ, δημιουργώντας μία νέα ταξινομία, η οποία τα κατατάσσει ως προς την εμπύθιση των χρηστών. Πρέπει να τονιστεί πως θεωρήθηκε προτιμότερο να γίνει εστίαση στο τεχνικό κομμάτι της εμπύθισης, γιατί είναι δύσκολο να προσδιοριστεί και να ποσοτικοποιηθεί η υποκειμενική διάστασή της, όπως στην ταξινομία της Muhanha. Επίσης, η προτεινόμενη ταξινομία περιλαμβάνει συστήματα που σχετίζονται μόνο με την ΕΠ. Δηλαδή, διαφοροποιείται από τις δύο προηγούμενες, που ενέταξαν συστήματα που εμπεριέχουν εν μέρει την ΕΠ, όπως η Επαυξημένη και η Μικτή Πραγματικότητα, τα οποία ίσως θα έπρεπε να αφαιρεθούν εντελώς.

Εφόσον, η εμπύθιση (από τεχνικής πλευράς) ορίζεται ως κριτήριο της προτεινόμενης ταξινομίας των συστημάτων ΕΠ, θα πρέπει να αναφερθούν από ποια στοιχεία εξαρτάται ο βαθμός της. Έτσι, με βάση όσα αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο "3.2. Η εμπύθιση", αυτή θεωρήθηκε ότι είναι συνάρτηση: (α) του βαθμού αποκοπής του χρήστη από το φυσικό περιβάλλον (καθόλου, μερική, πλήρης), (β) των βαθμών ελευθερίας κίνησης που παρέχονται στον χρήστη (τρεις ή έξι), (γ) του τρόπου προβολής (χαμηλή-υψηλή ποιότητα) και (δ) του βαθμού αλληλεπίδρασης με τον εικονικό κόσμο. Να σημειωθεί ότι ο παράγοντας της αλληλεπίδρασης προστέθηκε λόγω της στενής σχέσης που αυτή έχει με την εμπύθιση (βλ. Κεφάλαιο "3.5. Σχέση εμπύθισης και παρουσίας").

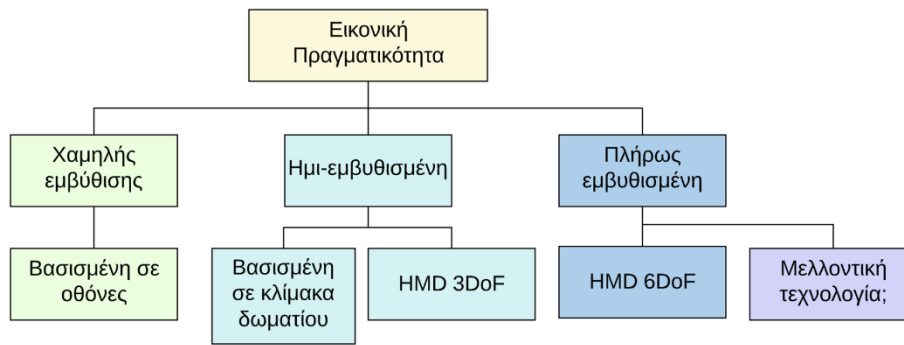
Συγκεκριμένα:

- Αποκοπή του χρήστη από το φυσικό περιβάλλον. Έχει να κάνει με το κατά πόσο οι χρήστες νιώθουν ότι έχουν αποκοπεί και έχουν "ξεχάσει" το φυσικό περιβάλλον. Συνήθως, δεν υπάρχει αποκοπή από αυτό όταν χρησιμοποιείται η οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και το πληκτρολόγιο/ποντίκι. Αυτό γιατί, ταυτόχρονα με την εικονική εμπειρία, οι χρήστες αντιλαμβάνονται τον φυσικό χώρο στον οποίο βρίσκονται, με αποτέλεσμα να δέχονται ερεθίσματα και από εκεί. Μερική αποκοπή συμβαίνει όταν οι χρήστες, λόγω του εξοπλισμού που χρησιμοποιούν, να μην έχουν αποκοπεί σε κάποιο βαθμό από το φυσικό περιβάλλον, αλλά, παρόλα αυτά, διατηρούν την αντίληψη ότι αυτό υπάρχει. Τέλος, η πλήρης εμπύθιση αποκόπτει τους χρήστες σε τέτοιο βαθμό από το φυσικό περιβάλλον, ώστε ο πραγματικός χώρος και χρόνος να μην τους απασχολεί/επηρεάζει. Με άλλα λόγια, οι χρήστες στην πλήρη εμπύθιση δέχονται αισθητηριακά ερεθίσματα μόνο από το εικονικό περιβάλλον. Παρόλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα αυτό αφορά, κυρίως, την όραση και την ακοή, μερικώς την αφή και ελάχιστα ως καθόλου την όσφρηση και τη γεύση.
- Βαθμοί ελευθερίας. Οι βαθμοί ελευθερίας αναφέρονται στον αριθμό των τρόπων που ένα αντικείμενο ή άτομο μπορεί να κινηθεί μέσα στον τρισδιάστατο χώρο (Pennestri et al., 2005). Όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο "2.2. Αρχές και στοιχεία λειτουργίας των Head Mounted Displays", οι βαθμοί ελευθερίας μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες (6DoF και 3DoF). Στους 6 βαθμούς ελευθερίας οι τρεις βαθμοί αφορούν περιστροφική κίνηση γύρω από

τους άξονες x, y και z και τρεις για μετατοπιστική κίνηση κατά μήκος αυτών των αξόνων με κίνηση προς τα εμπρός ή προς τα πίσω, αριστερά ή δεξιά, και πάνω ή κάτω. Στους 3 βαθμούς ελευθερίας υπάρχουν βαθμοί ελευθερίας μόνο για περιστροφική κίνηση. Με τη χρήση του ποντικιού υπάρχει η δυνατότητα για έξι βαθμούς ελευθερίας που όμως δεν πρόκειται για πραγματικούς, αλλά για προσομοίωσή τους.

- Τρόπος προβολής (χαμηλή-υψηλή ποιότητα). Εδώ, μπορούν να περιληφθούν πολλοί παράγοντες όπως η ανάλυση εικόνας, το είδος προβολής, ο ρυθμός ανανέωσης εικόνας (refresh rate), τα καρτέ ανά δευτερόλεπτο και το εύρος του οπτικού πεδίου. Η ανάλυση της εικόνας σε μία προσομοίωση παίζει σημαντικό ρόλο στην εμπύθιση των χρηστών. Συνήθως, τα τελευταία χρόνια παρέχεται πολύ καλή ανάλυση. Για παράδειγμα, η οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή μπορεί να φτάνει τα 4K (3840 x 2160). Η ανάλυση σε ένα HMD κυμαίνεται από 2K έως 8K συνολικά (και για τα δύο μάτια). Η προβολή μπορεί να είναι δισδιάστατη ή τρισδιάστατη (στερεοσκοπική προβολή). Η στερεοσκοπία ή στερεοσκοπική όραση είναι η ανάμιξη δύο εικόνων σε μία, με αποτέλεσμα την αντίληψη του βάθους (McIntire et al., 2014). Στην οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, συνήθως, συναντάται η απλή προβολή, ενώ η στερεοσκοπική προβολή συναντάται στα HMDs, καθώς και σε άλλα συστήματα. Ο ρυθμός ανανέωσης εικόνας αφορά το πόσο γρήγορα σχηματίζεται η εικόνα, ενώ τα καρτέ ανά δευτερόλεπτο αφορούν την ποιότητα της κινούμενης εικόνας αφού, στην πραγματικότητα, η κίνηση είναι αποτέλεσμα της διαδοχικής προβολής σειράς ακίνητων εικόνων που εμφανίζονται γρήγορα στην οθόνη των χρηστών. Τέλος, όσο ευρύτερο είναι το οπτικό πεδίο που προσφέρει μία συσκευή, τόσο πιθανότερο είναι η χρήστες να αισθάνονται ως πιο ρεαλιστική τη δραστηριότητα που εκτελούν.
- Βαθμός αλληλεπίδρασης (χαμηλός έως μεγάλος). Η αλληλεπίδραση με τον εικονικό κόσμο εξαρτάται από το κατά πόσο ο κατασκευαστής έχει προνοήσει να δώσει στους χρήστες τη δυνατότητα να χειρίζονται και να τροποποιούν μέρος ή το σύνολο των αντικειμένων που περιλαμβάνονται σε αυτόν. Επίσης, η αλληλεπίδραση εξαρτάται από τις συσκευές που χρησιμοποιούνται για να υλοποιηθεί.

Ένα άλλο στοιχείο που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το εξής. Ένα σύστημα A είναι πιο εμπυθιστικό από ένα σύστημα B, αν το A μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσομοιώσει την αντίληψη που παρέχεται από το B, αλλά όχι το αντίστροφο. Ως εκ τούτου, ένα HMD είναι πιο εμπυθιστικό από ένα σύστημα CAVE, δεδομένου ότι το πρώτο επιτρέπει την εικονική αναπαράσταση του σώματος του χρήστη. Αντίθετα, σε ένα σύστημα CAVE, ο χρήστης βλέπει το πραγματικό του σώμα. Επιπλέον, το εικονικό σώμα μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μοιάζει με το πραγματικό. Στα κριτήρια θα μπορούσε να ενταχθεί και ο ήχος, ωστόσο επιλέχθηκε να μην χρησιμοποιηθεί αυτό το κριτήριο, παρότι σε αρκετές ταξινομίες αναφέρεται ως χαρακτηριστικό των συστημάτων ΕΠ, γιατί ο τρισδιάστατος στερεοσκοπικός ήχος μπορεί να επιτευχθεί σε κάθε σύστημα. Με βάση τα παραπάνω, προτείνεται η ταξινόμια των συστημάτων ΕΠ του Σχήματος 12.

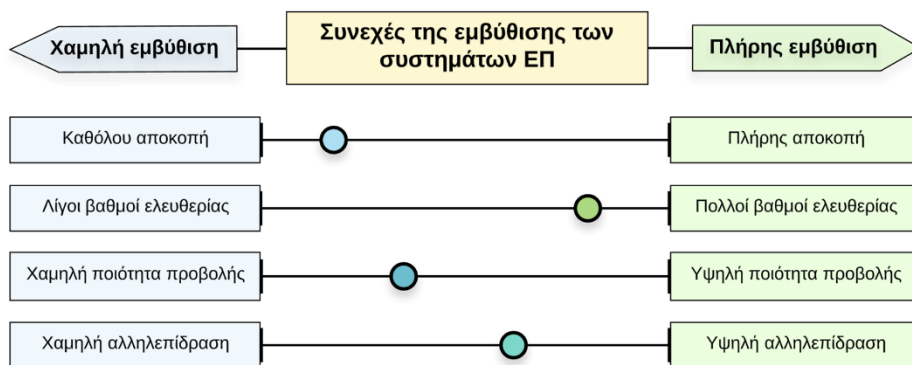


**Σχήμα 12.** Προτεινόμενη ταξινόμηση συστημάτων ΕΠ

Με βάση το Σχήμα 12 διακρίνονται τρεις βασικές κατηγορίες ΕΠ:

- **Χαμηλής εμπύθισης.** Σε αυτήν την κατηγορία ΕΠ περιλαμβάνονται όλα τα συστήματα που παρουσιάζουν το εικονικό περιβάλλον σε οθόνη. Έχει τρισδιάστατα γραφικά (η προβολή μπορεί, αλλά δεν συνηθίζεται, να είναι στερεοσκοπική με τη χρήση ειδικών γυαλιών), υψηλή ανάλυση, υψηλό ρυθμό ανανέωσης εικόνας και μεγάλο πεδίο θέασης. Από την άλλη όμως, ο βαθμός της εμπύθισης είναι πολύ χαμηλός, γιατί ο χρήστης δεν αποκόπτεται καθόλου από το φυσικό περιβάλλον και οι έξι βαθμοί ελευθερίας προσομοιώνονται. Το ίδιο ισχύει και για την αλληλεπίδραση με τα εικονικά αντικείμενα, γιατί, συνήθως, ο χειρισμός τους δεν γίνεται με τρόπο που να προσομοιάζει τον φυσικό, αλλά, κυρίως, μέσω του πληκτρολογίου και του ποντικιού.
- **Ημι-εμπυθιστική.** Η ημι-εμπυθιστική ΕΠ περιλαμβάνει δύο βασικούς τύπους συστημάτων. Ο πρώτος τύπος περιέχει συστήματα που προβάλλουν το εικονικό περιβάλλον σε κλίμακα δωματίου (για παράδειγμα, προσομοίωση οχήματος και CAVE). Σε αυτήν την περίπτωση η αποκοπή είναι μερική, η ανάλυση μπορεί να είναι πολύ υψηλή, δίνονται 6 βαθμοί ελευθερίας και υπάρχει δυνατότητα στερεοσκοπικής προβολής (και πάλι με τη χρήση ειδικών γυαλιών). Ο δεύτερος τύπος περιλαμβάνει συστήματα που προβάλλουν το εικονικό περιβάλλον με 3 βαθμούς ελευθερίας. Σε αυτήν την περίπτωση ο βαθμός αποκοπής είναι σαφώς μεγαλύτερος, αλλά οι βαθμοί ελευθερίας περιορισμένοι. Εξυπακούεται ότι στα HMDs η στερεοσκοπική προβολή είναι δεδομένη, αλλά ο ρυθμός ανανέωσης και το πεδίο θέασης είναι, συνήθως, περιορισμένα. Και στους δύο τύπους συστημάτων η αλληλεπίδραση, συχνά, γίνεται με χειριστήρια που προσομοιώνουν φυσικές κινήσεις.
- **Πλήρως εμπυθιστική.** Σε αυτήν την κατηγορία, επιλέχθηκε να ενταχθούν -κατά σύμβαση- μόνο τα 6DoF HMDs. Θεωρήθηκε ότι, με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα, αυτά προσφέρουν τη μεγαλύτερη αποκοπή από το εξωτερικό περιβάλλον (όπως και τα 3DoF HMDs), υψηλή ανάλυση, στερεοσκοπική προβολή, υψηλό ρυθμό ανανέωσης και μεγάλο πεδίο θέασης (στα πολύ εξελιγμένα συστήματα), 6 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων και δυνατότητα χειρισμού των αντικειμένων με απόλυτα φυσικό τρόπο (ακόμα και με απουσία ειδικών χειριστηρίων). Συνεπώς, μόνο με τη χρήση 6DoF HMDs επιτυγχάνεται η ΠΕΕΠ. Επίσης, στην κατηγορία αυτή δημιουργήθηκε χώρος, όπου μπορούν να ενταχθούν όλες οι τεχνολογίες που ακόμα δεν έχουν εμφανιστεί.

Το Σχήμα 13 παρουσιάζει το συνεχές της εμπύθισης των συστημάτων ΕΠ, δηλαδή το πώς προκύπτουν οι διαφορετικοί βαθμοί εμπύθισης με βάση τα τέσσερα κριτήρια που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Προφανώς, το ιδανικό σύστημα πλήρους εμπύθισης είναι εκείνο που οι δείκτες των τεσσάρων παραγόντων έχουν τοποθετηθεί στο δεξιό άκρο του συνεχούς.



**Σχήμα 13.** Το συνεχές της εμπύθισης των συστημάτων ΕΠ



## Κεφάλαιο 5. Τομείς εφαρμογής της Εικονικής Πραγματικότητας

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά (χωρίς ωστόσο αυτό να αποτελεί συστηματική και αναλυτική βιβλιογραφική επισκόπηση) των εφαρμογών ΕΠ σε επιλεγμένους τομείς, οι οποίοι είτε θεωρούνται σημαντικοί για τη βελτίωση της καθημερινότητας των ατόμων είτε αφορούν ερευνητικά πεδία με ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Να τονιστεί ότι, για λόγους απλούστευσης της παρουσίασης, κρίθηκε σκόπιμο να μην αναλυθούν μέθοδοι ή οποιαδήποτε άλλο τεχνικό στοιχείο, εκτός εάν αυτό είναι απαραίτητο για τη διασάφηση μίας συγκεκριμένης εφαρμογής ή αποτελέσματος. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν θα γίνει αναφορά στις εφαρμογές της ΕΠ στη διασκέδαση και τα παιχνίδια, δεδομένου ότι αυτοί οι τομείς έχουν ερευνηθεί σε βάθος και υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία, με αποτέλεσμα δύσκολα να μπορεί να γίνει αναφορά σε αυτούς με περιεκτικό τρόπο.

### **5.1. Αθλητισμός και σωματική άσκηση**

Υπάρχουν διάφορες αθλητικές δραστηριότητες όπου η ΕΠ θα μπορούσε να είναι χρήσιμη, είτε για λόγους αναψυχής και ψυχαγωγίας είτε για εκπαίδευση και εξάσκηση. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αρκετά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Για παράδειγμα, οι Miles et al. (2012) επεσήμαναν ότι στην εξάσκηση με παιχνίδια πεδίου όπως το ποδόσφαιρο, ο χώρος του παιχνιδιού είναι τεράστιος σε σύγκριση με τον χώρο στον οποίο κάποιος σε ένα σύστημα ΕΠ μπορεί συνήθως να κινηθεί.

Η ΕΠ έχει χρησιμοποιηθεί για να γίνει κατανοητή η αντίληψη και η δράση στον αθλητισμό. Ενδεικτικά, οι Ruffaldi et al. (2011) εξέτασαν τις προϋποθέσεις για επιτυχή εξάσκηση στην κωπηλασία και περιέγραψαν ένα απτικό σύστημα ΕΠ που περιλάμβανε και μία μεγάλη οθόνη. Οι Rauter et al. (2013) περιέγραψαν ένα σύστημα CAVE ενισχυμένο με ακουστικές και απτικές δυνατότητες, πάλι για την κωπηλασία, το οποίο μάλιστα συγκρίθηκε με συμβατική εκπαίδευση. Οι ερευνητές και στις δύο περιπτώσεις κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο προσομοιωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπληρωματικό εργαλείο κατάρτισης, δεδομένου ότι υπήρχε επαρκής μεταφορά δεξιοτήτων από το εικονικό στο πραγματικό περιβάλλον. Πάλι στα πλαίσια εξάσκησης στην κωπηλασία, οι Wellner et al. (2010) επισήμαναν τον σχετικά υψηλό βαθμό παρουσίας που αισθάνθηκαν οι συμμετέχοντες. Διάφορες άλλες εφαρμογές ΕΠ στον αθλητισμό αφορούσαν την προσομοίωση μπέιζμπολ και χάντμπολ (Vignais et al., 2009), σκι (Solina et al., 2008), τον εντοπισμό παραπλανητικών κινήσεων στο ράγκμπι (Bideau et al., 2010· Brault et al., 2009) και τη σκοποβολή (Argelaguet Sanz et al., 2015).

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης της ΕΠ είναι η παρακολούθηση αθλητικών αγώνων με μη-φυσική παρουσία. Οι Kalivararu et al. (2015) χρησιμοποίησαν ένα σύστημα τύπου CAVE, HMDs και απλό βίντεο. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι με το CAVE και τα HMDs οι συμμετέχοντες βίωσαν μεγαλύτερο βαθμό ρεαλισμού και ότι υπήρξαν παρόμοια αποτελέσματα αναφορικά με την παρουσία.

Η χρήση της ΕΠ για σωματική άσκηση είναι επέκταση των "exergaming". Κάτι τέτοιο περιλαμβάνει, για παράδειγμα, τη σύνδεση ενός ποδηλάτου γυμναστικής σε μία οθόνη, έτσι ώστε οι ενέργειες του αναβάτη να επηρεάζουν αυτό που προβάλλεται (ενδεικτικά, το ταχύτερο πεντάλ να οδηγεί στην αύξηση της ταχύτητα προβολής του περιβάλλοντος) (Anderson-Hanley et al., 2011). Επιπλέον, μπορούν να εισαχθούν παράγοντες για παροχή κινήτρων, όπως εικονικοί ανταγωνιστές. Άλλοι ερευνητές, χρησιμοποίησαν το "cybercycling", όπως παραπάνω, αυτή τη φορά σε ηλικιωμένους (Anderson-Hanley et al., 2012). Διαπίστωσαν ότι βελτιώθηκε η γνωστική λειτουργία τους και ότι

πιθανώς υπάρχει καθυστέρηση της γνωστικής εξασθένησης, σε σύγκριση με την παραδοσιακή άσκηση.

Η χρήση HMDs για σωματική άσκηση είναι μία ιδιαίτερη περίπτωση λόγω του μειωμένου οπτικού πεδίου σε σύγκριση με τις συμβατικές οθόνες, αλλά και άλλων περιορισμών. Μία έρευνα εξέτασε τις σημαντικές σχεδιαστικές προκλήσεις στον τομέα αυτό, συγκρίνοντας ένα κλασσικό ποδήλατο γυμναστικής χωρίς ανατροφοδότηση, ένα ποδήλατο γυμναστικής με εξωτερική οθόνη και ένα ποδήλατο με HMD (Shaw, Wünsche, Lutteroth, Marks, & Callies, 2015). Τα δύο συστήματα ανάδρασης ξεπέρασαν το κλασσικό ποδήλατο, αλλά δεν διαφέραν μεταξύ τους. Επίσης, αξιολογήθηκαν ως πιο ευχάριστα από το κλασσικό ποδήλατο.

Μία διαφορετική προσέγγιση είναι να χρησιμοποιηθεί η ΕΠ για να παρακινήσει σιωπηρά τους ανθρώπους να ασκηθούν περισσότερο. Ενδεικτικά, οι Fox και Bailenson (2009) πραγματοποίησαν μία μελέτη όπου οι συμμετέχοντες χρησιμοποίησαν HMDs για να δουν τον εικονικό τους χαρακτήρα. Οι συμμετέχοντες σε διάφορα σημεία μπορούσαν να επιλέξουν είτε να πραγματοποιήσουν σωματικές ασκήσεις είτε όχι. Όταν δεν πραγματοποιούσαν ασκήσεις, το εικονικό τους σώμα γινόταν παχύτερο ενώ όταν τις έκαναν το εικονικό σώμα γινόταν λεπτότερο. Διαπιστώθηκε ότι η ομάδα που είχε αυτή τη θετική και αρνητική ενίσχυση ασκήθηκε περισσότερο.

## **5.2. Απεικόνιση δεδομένων**

Η απεικόνιση και η αλληλεπίδραση με δεδομένα είναι σημαντική για την επιστημονική αξιολόγηση. Τα δεδομένα μπορεί να είναι στατικά ή να αφορούν δυναμικές διαδικασίες. Η τρισδιάστατη αναπαράσταση πραγματικών ή η μοντελοποιημένων δεδομένων είναι σημαντική για την κατανόηση των δεδομένων και για τη λήψη αποφάσεων μετά από αυτή την κατανόηση.

Οι Norrby et al. (2015) κατασκεύασαν μία εφαρμογή στην οποία η εμπυθιστική τρισδιάστατη απεικόνιση πρωτεϊνικών μορίων συνδυάστηκε με την αλληλεπίδραση με αυτά μέσω της αναγνώρισης χειρονομιών. Οι χρήστες βρήκαν το σύστημα δυνητικά χρήσιμο για τον σχεδιασμό των πρωτεϊνών και απόλαυσαν τη χρήση του. Σκοπός της μελέτης των Leinen et al. (2015) ήταν ο χειρισμός μοριακών ενώσεων μεγέθους νανομέτρου, μέσω HMD. Η ακρίβεια χειρισμού βελτιώθηκε από την οπτική ανάδραση που παρείχε η απεικόνιση με HMD συγκριτικά με μη-εμπυθιστικά συστήματα. Στη μελέτη των Cali et al. (2015) χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα τύπου CAVE για την αξιολόγηση της χωρικής κατανομής των κόκκων γλυκογόνου στα αστροκύτταρα (ένας τύπος εγκεφαλικών κυττάρων). Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι η εμπυθιστική προβολή της τρισδιάστατης δομής είναι καθοριστική για τον εντοπισμό αυτής της κατανομής. Οι Prabhat et al. (2008) σύγκριναν την απόδοση των χρηστών στον χειρισμό δεδομένων που αφορούσαν Δροσόφιλα (μύγα του ξυδιού, *Drosophila Melanogaster*), όπως ο θάλαμος αυγών, ο εγκέφαλος και το έντερο, χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά μέσα (μονοσκοπική οθόνη, στερεοσκοπική οθόνη και σύστημα τύπου CAVE). Το πιο εμπυθιστικό σύστημα επέτρεψε τους χρήστες να ποσοτικοποιήσουν καλύτερα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που σχετίζονται κυρίως με τη χωρική κατανομή, τη συνεγκατάσταση και τις γεωμετρικές σχέσεις.



### 5.3. Αυταρχισμός, βία, διλήμματα, φυλετικές και άλλες προκαταλήψεις

Ο Milgram, τη δεκαετία του '60, πραγματοποίησε μία σειρά από πειράματα με σκοπό να βρει εξηγήσεις για το πώς απλοί άνθρωποι μπορούν να πεισθούν να πραγματοποιήσουν φρικτές πράξεις. Το πιο χαρακτηριστικό από αυτά ήταν η χορήγηση κλιμακούμενης έντασης ηλεκτροσόκ σε κάποιον άγνωστο από το υποκείμενο του πειράματος (το οποίο δεν γνώριζε ότι στην πραγματικότητα ήταν το υποκείμενο του πειράματος και ότι δεν χορηγούσε ηλεκτροσόκ), κατόπιν εντολής κάποιου ατόμου με εξουσία (Milgram, 1974). Περίπου το 60% των υποκειμένων υπέκυψε στις εντολές και έφτασε στο να χορηγήσει ακόμα και θανατηφόρα έντασης ηλεκτροσόκ. Τα αποτελέσματα ευαισθητοποίησαν τον κόσμο, δεδομένου ότι έδειξαν ότι οι άνθρωποι είναι σε θέση να προκαλέσουν έντονο πόνο σε άλλους κατόπιν εντολής.

Το 2006, πραγματοποιήθηκε η εικονική επανάληψη αυτών των πειραμάτων, αλλά αυτή τη φορά ένα εικονικό άτομο υποβαλλόταν σε ηλεκτροσόκ (Slater et al., 2006). Αυτό το πείραμα, αν και αν πραγματοποιήθηκε σε ΕΠ, κατέληξε στα ίδια αποτελέσματα με το πρωτότυπο (ωστόσο, παρατηρήθηκαν χαμηλότερα επίπεδα άγχους). Κατά κάποιο τρόπο, φάνηκε ότι παρά το χάσμα μεταξύ πραγματικότητας και ΕΠ, η παρουσία οδηγεί τους συμμετέχοντες να ανταποκρίνονται σε εικονικά ερεθίσματα σαν να ήταν πραγματικά.

Στα τέλη της δεκαετίας του '60, 38 άτομα έγιναν μάρτυρες της δολοφονίας μίας γυναίκας και δεν έκαναν τίποτα για να τη βοηθήσουν. Οι Latane και Darley (1968) εισήγαγαν τον όρο "επίδραση των παρευρισκόμενων" που, στην ουσία, υποστηρίζει πως όσο περισσότερα άτομα παρευρίσκονται σε ένα γεγονός έκτακτης ανάγκης, τόσο λιγότερο πιθανό είναι ότι κάποιο από αυτά θα παρέμβει, λόγω της διάχυσης της ευθύνης. Εντούτοις, για ηθικούς και πρακτικούς λόγους δεν μπορούν να διεξαχθούν πειράματα που να αναπαριστούν τέτοια περιστατικά, ώστε να εκλεχθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των ατόμων σε βίαιες καταστάσεις (Rovira et al., 2009). Αντίθετα, στην ΕΠ είναι δυνατόν να δημιουργηθούν προσομοιωμένες καταστάσεις, όπου είναι γνωστό από την έρευνα για την παρουσία ότι οι άνθρωποι είναι πιθανό να αντιδράσουν ρεαλιστικά στα γεγονότα που απεικονίζονται. Για παράδειγμα, οι King et al. (2008) χρησιμοποίησαν το Second Life (ένα τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον πολλών χρηστών) για να εξετάσουν το πώς οι παρευρισκόμενοι αντιδρούν σε ένα έκτακτο -βίαιο- περιστατικό και αν θα βοηθήσουν. Κατέληξαν στο ότι ένας λόγος που οι άνθρωποι δεν παρεμβαίνουν είναι γιατί θεωρούν πως αυτό θα πρέπει να είναι ευθύνη των ελεγκτικών οργάνων και όχι των απλών πολιτών. Σε ένα άλλο πείραμα, οι Kozlowski και Johansen (2010) διαπίστωσαν ότι οι συμμετέχοντες ήταν λιγότερο επιρρεπείς σε βοηθητική συμπεριφορά όταν υπήρχε παρουσία μεγαλύτερων ομάδων από εικονικούς χαρακτήρες. Οι Slater et al. (2013) χρησιμοποίησαν σύστημα τύπου CAVE για να μελετήσουν την υπόθεση της κοινωνικής ταυτότητας, δηλαδή, ότι οι συμμετέχοντες που μοιράζονται την ίδια κοινωνική ταυτότητα με το θύμα (στο συγκεκριμένο πείραμα, ήταν οπαδοί της ίδιας ποδοσφαιρικής ομάδας), είναι πιθανότερο να παρέμβουν για να βοηθήσουν παρά αν δεν τη μοιράζονται. Από το πείραμά τους διαπιστώθηκε η ισχύς αυτής της θεωρίας.

Μερικές φορές, στην επαγγελματική και προσωπική τους ζωή, τα άτομα βρίσκονται αντιμέτωπα με ηθικά προβλήματα/διλήμματα που δεν μπορούν να απαντηθούν εύκολα από οποιοδήποτε είδος τεκμηριωμένης επιστημονικής συλλογιστικής. Ένα διάσημο τέτοιο παράδειγμα είναι το "πρόβλημα του τρόλεϊ", όπου θα πρέπει κάποιος να αποφασίσει εάν θα του επιτρέψει να συνεχίσει την πορεία

του και να σκοτώσει πέντε άτομα ή θα πρέπει να το εκτρέψει της πορείας του ώστε να σκοτώσει μόνο ένα (Thomson, 1976). Σύμφωνα με τα στοιχεία σχετικής έρευνας (Hauser et al., 2007), οι περισσότεροι άνθρωποι θα επιλέξουν να σώσουν τον μεγαλύτερο αριθμό ατόμων.

Υπάρχουν ανάλογα παραδείγματα εφαρμογών και πειραμάτων όπου αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες της παρουσίας στην ΕΠ για να θέσουν στους συμμετέχοντες τέτοια διλήμματα. Οι Navarrete et al. (2012) υλοποίησαν μία παραλλαγή του "προβλήματος του τρόλεϊ" σε μία εφαρμογή ΕΠ και διαπίστωσαν ότι λίγο περισσότερο από το 90% των ατόμων επέλεξε τη χρηστική λύση (να σκοτώσουν μόνο ένα άτομο). Ωστόσο, το χρηστικό μονοπάτι οδήγησε σε μεγαλύτερη εσωτερική σύγκρουση μεταξύ των συμμετεχόντων, αλλά, επίσης, αποτελούσε τη λιγότερο αγχωτική επιλογή. Οι Pan και Slater (2011) απεικόνισαν ένα δίλημμα ισοδύναμο με το πρόβλημα του τρόλεϊ. Οι συμμετέχοντες, σε ένα σύστημα CAVE, έλεγχαν έναν ανελκυστήρα σε μία εικονική γκαλερί τέχνης και έπρεπε να αποφασίσουν, σε σύντομο χρόνο, αν θα κατευθύνουν ένα χαρακτήρα που ξαφνικά άρχισε να πυροβολεί σε όροφο που υπήρχε μόνο ένα άτομο ή σε θα τον άφηναν στον όροφο που υπήρχαν πέντε. Η θεμελιώδης αντίδρασή των συμμετεχόντων ήταν η σύγχυση και ο πανικός. Μία πιο εξελιγμένη εκδοχή επαναλήφθηκε σε μία μελέτη που βασίστηκε σε HMDs (Friedman et al., 2014) και ρεαλιστικούς εικονικούς χαρακτήρες, με αποτελέσματα παρόμοια με τις προηγούμενες μελέτες. Γενικότερα, διαπιστώθηκε ότι οι άνθρωποι γίνονται πιο χρηστικοί στην ΕΠ σε σύγκριση με ό,τι θα απαντούσαν σε ένα ερωτηματολόγιο, δηλαδή, είναι πιο πιθανό να υιοθετήσουν μία απόφαση με το μικρότερο κόστος σε ζωές (να σώσουν πέντε και όχι ένα άτομο).

Έρευνες έχουν δείξει ότι ΕΠ μπορεί βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τις φυλετικές και άλλες διακρίσεις, μέσω της προσομοίωσης εμπειριών μέσα από την προοπτική μίας άλλης ομάδας. Οι Groom et al. (2009) ενσωμάτωσαν Λευκούς ή Μαύρους ανθρώπους σε ένα μαύρο ή άσπρο εικονικό σώμα, στο πλαίσιο ενός σεναρίου το οποίο ήταν μία συνέντευξη για μία θέση εργασίας. Χρησιμοποιήθηκαν HMDs, με τους συμμετέχοντες να βλέπουν το εικονικό τους σώμα σε έναν καθρέφτη και το πείραμα διήρκεσε για λίγο περισσότερο από ένα λεπτό. Οι ερευνητές βρήκαν ότι υπήρχε μεγαλύτερη προκατάληψη υπέρ του Λευκού για εκείνους που ενσωματώθηκαν στο μαύρο εικονικό σώμα. Αυτή η διαφορά δεν παρατηρήθηκε όταν οι συμμετέχοντες απλά φαντάστηκαν να είναι σε ένα λευκό ή μαύρο σώμα.

Οι Peck et al. (2013) πραγματοποίησαν μία μελέτη για τη φυλετική προκατάληψη, όπου οι συμμετέχοντες ενσωματώθηκαν για 12 λεπτά είτε σε ένα μαύρο σώμα είτε σε λευκό είτε σε μωβ είτε σε καθόλου σώμα. Χρησιμοποιήθηκαν HMDs, το εικονικό σώμα κινούταν συγχρονισμένα με τις πραγματικές κινήσεις του σώματος των συμμετεχόντων και οι συμμετέχοντες είδαν το εικονικό τους σώμα σε έναν καθρέφτη. Διαπιστώθηκε ότι η έμμεση φυλετική προκατάληψη μειώθηκε σημαντικά μόνο για εκείνους που είχαν τη μαύρη ενσάρκωση.

Οι Ahn et al. (2013) χρησιμοποίησαν HMDs ώστε άνθρωποι με φυσιολογική όραση να βιώσουν ορισμένους τύπους αχρωματοψίας. Σε τρία πειράματα σύγκριναν τα αποτελέσματα όπου είτε οι συμμετέχοντες απλά φαντάστηκαν να έχουν αχρωματοψία είτε η εφαρμογή τους έκανε πραγματικά να έχουν αχρωματοψία στο εικονικό περιβάλλον. Διαπίστωσαν ότι εμπειρία της ΕΠ είχε ως επίπτωση τη μεταβολή της συμπεριφοράς των συμμετεχόντων απέναντι στα άτομα με αχρωματοψία, τόσο στο πλαίσιο του πειράματος όσο και μετά από αυτό. Αυτό δείχνει πώς η ΕΠ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να προσφέρει τους ανθρώπους βιωματικές καταστάσεις και πως αυτό μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά τους σε σύγκριση με άλλες τεχνικές.

#### **5.4. Βιομηχανικές εφαρμογές και σχεδιασμός προϊόντων**

Σε μία ανασκόπηση της χρήσης της ΕΠ στην κατασκευή αυτοκινήτων, οι Lawson et al. (2016) επεσήμαναν ότι αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό, αποφεύγοντας τη σύνθετη και δαπανηρή διαδικασία κατασκευής φυσικών μακετών. Άλλοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η ΕΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκμάθηση εργασιών σχετικά με τη βιομηχανική συναρμολόγηση, την κατάρτιση για τη συντήρηση και την απομακρυσμένη συντήρηση (ενδεικτικά, Gavish et al., 2011, 2015· Seth et al., 2011).

Σε ένα άλλο πλαίσιο, οι Tiainen et al. (2014) διαπίστωσαν ότι με τη χρήση HMDs πιθανοί αγοραστές αυτοκινήτων μπόρεσαν να κάνουν αξιόλογες προτάσεις για τη βελτίωση του σχεδιασμού του εσωτερικού των αυτοκινήτων. Κατά αντίστοιχο τρόπο, η ΕΠ έχει χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία ένδυσης, επιτρέποντας στους πελάτες να δοκιμάσουν ρούχα σε εικονικές αναπαραστάσεις του σώματός τους (Hauswiesner et al., 2011· Magnenat-Thalmann et al., 2011· Sun et al., 2015). Ο Ruppert (2011) περιέγραψε το πώς η ΕΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της συμπεριφοράς των αγοραστών όταν έχουν να επιλέξουν ανάμεσα σε διάφορα είδη συσκευασίας και διάταξης στα σούπερ μάρκετ. Πρότεινε διάφορους τύπους παρουσίασης των προϊόντων, έτσι ώστε αυτά να εντοπίζονται ευκολότερα από το κοινό στο οποίο απευθύνονται. Συνεπώς, όπως υποστήριξαν οι Lawson et al. (2016), η ΕΠ μπορεί να βελτιώσει τον σχεδιασμό, την προτυποποίηση, την παραγωγή και τις διαδικασίες αξιολόγησης προϊόντων.

#### **5.5. Δημοσιογραφία και ειδήσεις**

Η ΕΠ ανοίγει ένα εντελώς νέο πεδίο το οποίο είναι η εμπυθιστική παρουσίαση ειδήσεων, που αναφέρεται συνήθως με τον όρο "εμπυθιστική δημοσιογραφία". Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι δεν είναι η δημοσιογραφία που είναι εμπυθιστική, αλλά η παρουσίαση του αποτελέσματος της δημοσιογραφίας (δηλαδή, των ειδήσεων) μέσω εμπυθιστικών μέσων που οδηγεί στη δημιουργία ενός νέου τύπου μέσων ενημέρωσης. Με άλλα λόγια, η εμπυθιστική δημοσιογραφία είναι η παραγωγή ειδήσεων σε μία μορφή στην οποία οι άνθρωποι μπορούν να αποκτήσουν εμπειρίες πρώτου προσώπου από τα γεγονότα ή την κατάσταση που περιγράφεται στις ειδήσεις (De la Peña et al., 2010). Από την άλλη, πρέπει να τονιστεί ότι ο στόχος της εμπυθιστικής δημοσιογραφίας δεν είναι τόσο η παρουσίαση του "τι συνέβη", αλλά το να δώσει στους ανθρώπους βιωματική, μη αναλυτική εικόνα για τα γεγονότα, ώστε αυτοί να έχουν την ψευδαίσθηση της παρουσίας σε αυτά. Αυτή η παρουσία μπορεί να οδηγήσει σε μία άλλη κατανόηση των γεγονότων, ίσως σε μία κατανόηση που δεν μπορεί να εκφραστεί καλά προφορικά, γραπτά, ή με εικόνες.

Η πρώτη παραγωγή εμπυθιστικής δημοσιογραφίας απεικόνιζε μία εικονική φυλακή στο Guantanamo. Δημιουργήθηκε από τη δημοσιογράφο Nonny De la Peña με τη βοήθεια της καλλιτέχνιδας Peggy Weil. Χρησιμοποιώντας ως βάση την απομαγνητοφωνημένη ανάκριση του κρατούμενου 063, Mohammed Al Qahtani, στη φυλακή του Guantanamo Bay το 2002-2003, δημιουργήθηκε μία εφαρμογή στην οποία οι χρήστες, χρησιμοποιώντας HMDs αναλάμβαναν τον ρόλο του κρατούμενου (φορώντας μάλιστα τη χαρακτηριστική πορτοκαλί στολή) που παρακολουθούσε μία σκληρή ανάκριση (De la Peña et al., 2010). Όλοι οι συμμετέχοντες ανέφεραν ότι παρόλο που κάθονταν άνετα, ένιωσαν άβολα και δυσφορία. Μάλιστα, είχαν την αίσθηση ότι θα ήταν οι επόμενοι που θα ανακρίνονταν. Η De la Peña

έκανε και άλλες παραγωγές όπως, την "Πείνα στο Λος Άντζελες" η οποία βασίστηκε στο πραγματικό περιστατικό της λιποθυμίας ενός διαβητικού σε μια ουρά ατόμων που περίμεναν να παραλάβουν τρόφιμα και το "Project Syria" που απεικόνιζε την έκρηξη βόμβας σε πόλη της Συρίας.

Εναλλακτικά, αντί για τη χρήση γραφικών για την αναδόμηση συμβάντων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν βίντεο 360°, που μπορούν να προβληθούν, στη συνέχεια, σε HMDs. Οι Arora (senior advisor και παραγωγός ταινιών στα Ηνωμένα Έθνη) και Milk (Vrse.works) στο "Waves of Grace" χρησιμοποίησαν αυτή την τεχνική για να αναδημιουργήσουν την αληθινή ιστορία ενός επιζώντος του ιού Έμπολα στη Λιβερία. Δημιούργησαν επίσης το "Clouds over Sidra", ένα ντοκιμαντέρ για ένα παιδί πρόσφυγα στον πόλεμο της Συρίας. Οι Jebb και Miller (Immersiv.ly) χρησιμοποίησαν βίντεο 360° για να καλύψουν τις αναταραχές στο Χονγκ Κονγκ και μία αυτο-καθοδηγούμενη διαδραστική εμπειρία 360° ΕΠ έργων ζωγραφικής. Τέλος, οι New York Times και το BBC προβάλλουν ειδήσεις με βίντεο 360°.

## 5.6. Ιατρική

Ο τομέας της ΕΠ για τη χειρουργική εκπαίδευση έχει διερευνηθεί διεξοδικά (Alaraj et al., 2011). Πράγματι, υπάρχει τεράστια αύξηση στην έρευνα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της ΕΠ ως προς την κατάρτιση για χειρουργικές επεμβάσεις (Al-Kadi et al., 2012· Lorello et al., 2014· Zendejas et al., 2013), τη μεταφορά της κατάρτισης αυτής σε πραγματικές συνθήκες (Buckley et al., 2014· Connolly et al., 2014) και άλλες εξειδικευμένες εφαρμογές (Arora et al., 2014· Jensen et al., 2014· Singh et al., 2014). Η απεικόνιση του ανθρώπινου σώματος μέσα από μία εμπυθιστική προοπτική μπορεί να προσφέρει μία άνευ προηγουμένου κατανόηση της ανατομίας, των διεργασιών του σώματος σε φυσιολογικές και παθολογικές καταστάσεις και επιτρέπει την εξερεύνηση οργάνων σε μικρο- και μακρο-κλίμακα.

Αν και υπάρχουν μελέτες που προσπαθούν να αξιολογήσουν πόσο χρήσιμη μπορεί να είναι η ΕΠ για τη βελτίωση της εκμάθησης της ανατομίας (ενδεικτικά, Codd & Choudhury, 2011· Seixas-Mikelus et al., 2010), συμπεριλαμβανομένων μελετών που προτείνουν ότι η ΕΠ θα μπορούσε να αντικαταστήσει τη χρήση των πτωμάτων στην ιατρική, η ΠΕΕΠ και τα διαδραστικά συστήματα έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται πολύ πρόσφατα. Τα περισσότερα συστήματα μέχρι στιγμής χρησιμοποιούν την επιτραπέζια ΕΠ. Ωστόσο, ακόμα και τα μη-εμπυθιστικά τρισδιάστατα μοντέλα σώματος για τη μελέτη της ανατομίας φαίνεται να επιτυγχάνουν καλά αποτελέσματα. Οι πιο κοινές χρήσεις της ΕΠ, μέχρι στιγμής, για τη χειρουργική εκπαίδευση είναι εκείνες των λαπαροσκοπικών διαδικασιών (Seymour et al., 2002), της οφθαλμολογίας (Jonas et al., 2003) και για την τοποθέτηση στεντ (Dawson, 2006).

Η ΕΠ μπορεί να παρέχει εκπαίδευση σε πολλά και διαφορετικά σενάρια που αφορούν την αντιμετώπιση της συμπεριφοράς των ασθενών (Cendan & Lok, 2012· Cook et al., 2010). Για παράδειγμα, οι Kleinsmith et al. (2015) ερεύνησαν την εκπαίδευση στην ενσυναίσθηση με εικονικούς ασθενείς, αν και εξετάστηκαν μόνο ηθικά προβλήματα. Επίσης, οι Pan et al. (2016) πραγματοποίησαν ένα πείραμα με έμπειρους και ασκούμενους γιατρούς, χρησιμοποιώντας HMDs, μέσω των οποίων κάθε γιατρός είχε έναν διάλογο με μία εικονική μητέρα και την κόρη της, που η πρώτη ζητούσε τη χορήγηση αντιβιοτικών, παρότι η ασθένεια της δεύτερης ήταν ιογενής. Οι συμμετέχοντες αρχικά αντιστάθηκαν σε αυτό, όμως όταν η εικονική μητέρα άρχισε να θυμώνει και να απειλεί, οι περισσότεροι συμμετέχοντες συνταγογράφησαν τελικά τα αντιβιοτικά. Επίσης, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όσο πιο έμπειροι ήταν οι γιατροί, και, ταυτόχρονα, όσο πιο έντονη ήταν η αίσθηση της

παρουσίας, τόσο μικρότερη ήταν η πιθανότητα να συνταγογραφήσουν φάρμακα που δεν ήταν απαραίτητα.

### **5.7. Κοινωνική συμπεριφορά, Proxemics**

Τα Proxemics είναι η μελέτη του πώς οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τον λεγόμενο "προσωπικό χώρο" και το τι επιπτώσεις έχει η συγκέντρωση ατόμων σε ένα χώρο στη συμπεριφορά, στην επικοινωνία και τις διαπροσωπικές σχέσεις (Hall, 1969). Έτσι, ένα ενδιαφέρον ερώτημα που προκύπτει, είναι ο βαθμός στον οποίο αντίστοιχα ευρήματα μπορούν να υπάρξουν και στην ΕΠ, κάτι θα αποτελούσε ένδειξη πως η ΕΠ θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη στη μελέτη της κοινωνικής αλληλεπίδρασης.

Η αλήθεια είναι πως δεν υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία για το πώς η ΕΠ μπορεί να συνεισφέρει σε αυτόν τον τομέα. Σε έρευνα που χρησιμοποίησε μία εφαρμογή εμπυθιστικής ΕΠ, φάνηκε ότι οι άνθρωποι κράτησαν μεγαλύτερες αποστάσεις όταν συναντούσαν εικονικές αναπαραστάσεις ανθρώπων συγκριτικά με αυτές που κρατούσαν όταν συναντούσαν κυλίνδρους που αντιπροσώπευαν εικονικούς ανθρώπους (Bailenson et al., 2001). Επίσης, φάνηκε ότι οι συμμετέχοντες κράτησαν μεγαλύτερες αποστάσεις από τους εικονικούς ανθρώπους όταν η προσέγγιση ήταν μετωπική συγκριτικά με όταν η προσέγγιση ήταν από το πίσω μέρος, καθώς και μεγαλύτερες αποστάσεις όταν υπήρχε αμοιβαίο βλέμμα (Bailenson et al., 2003). Και άλλες μελέτες έχουν δείξει ανάλογες συμπεριφορές σε εικονικά περιβάλλοντα (ενδεικτικά, Friedman et al., 2007· Wilcox et al., 2006). Πρέπει να τονιστεί πως αυτά τα ευρήματα συνάδουν με τα ευρήματα ερευνών στον πραγματικό κόσμο, παρότι αφορούσαν εικονικούς χαρακτήρες και δεν λάμβανε χώρα καμία πραγματική κοινωνική αλληλεπίδραση.

Από έρευνα αναδείχθηκε ότι οι αποστάσεις που κρατούν οι άνθρωποι από εικονικούς χαρακτήρες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προάγγελος της επιθετικότητας (McCall et al., 2009). Στην έρευνα αυτή, μετρήθηκε η απόσταση που κράτησαν οι συμμετέχοντες (που αυτοπροσδιορίστηκαν ως Λευκοί), από δύο Λευκούς ή δύο Μαύρους εικονικούς χαρακτήρες. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες ασχολήθηκαν με ένα παιχνίδι σκοποβολής με αυτούς τους εικονικούς χαρακτήρες ως στόχους. Διαπιστώθηκε ότι υπήρχε θετική συσχέτιση μεταξύ της απόστασης που διατηρήθηκε από τους εικονικούς Μαύρους χαρακτήρες και του βαθμού επιθετικότητας που εκδηλώθηκε προς αυτούς.

### **5.8. Μετασηματισμός του σώματος**

Η ΕΠ μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη στην έρευνα στις νευροεπιστήμες (Blascovich et al., 2002). Αυτό γιατί μελέτες που είναι αδύνατες στην πραγματικότητα για πρακτικούς ή ηθικούς λόγους είναι δυνατές στην ΕΠ (βλ. Κεφάλαιο "5.3. Αυταρχισμός, βία, διλήμματα, φυλετικές και άλλες προκαταλήψεις"). Επίσης, η ΕΠ επιτρέπει την ακριβή επανάληψη των πειραματικών συνθηκών· οι εικονικοί χαρακτήρες που εκτελούν κάποιες ενέργειες σε ένα σενάριο μπορούν να το επαναλάβουν όσες φορές αυτό είναι επιθυμητό. Έτσι, η ΕΠ επιτρέπει τον έλεγχο τόσο της εσωτερικής όσο και της γενικευμένης ισχύος των πειραμάτων (Rovira et al., 2009). Η δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων από το εργαστήριο σε καταστάσεις της πραγματικότητας είναι σημαντική. Αυτό γιατί, όπως ήδη αναφέρθηκε, σε πολλούς τομείς εφαρμογής της ΕΠ η παρουσία οδηγεί σε συμπεριφορά

που είναι αρκετά παρόμοια με τη συμπεριφορά που θα είχε κάποιος στην πραγματικότητα κάτω από περίπου τις ίδιες συνθήκες.

Ένας ενδιαφέροντας τομέας στον οποίο η ΕΠ επιτρέπει τον πειραματισμό, αφορά τον μετασχηματισμό του σώματος. Για παράδειγμα, πώς ο εγκέφαλος διακρίνει ότι το χέρι είναι μέρος του σώματος ενός ατόμου και ένα αντικείμενο που κρατάει το χέρι δεν είναι; Με βάση την κοινή λογική, κάποιος θα πίστευε ότι η εσωτερική αναπαράσταση του σώματος είναι σταθερή, ή, έστω, κάτι που αλλάζει αργά μέσα στον χρόνο. Ωστόσο, πειράματα έχουν δείξει ότι είναι αρκετά εύκολο να μετατοπιστεί η αίσθηση της ιδιοκτησίας του σώματος σε αντικείμενα που δεν αποτελούν μέρος του σώματος, ή σε ένα ριζικά μεταμορφωμένο σώμα, με αποτέλεσμα η αναπαράσταση του σώματος να είναι κάτι εύπλαστο.

Ένα κλασικό πείραμα που καταδεικνύει την ισχύ της παραπάνω άποψης ονομάζεται "η ψευδαίσθηση λαστιχένιου χεριού" (rubber hand illusion) (Botvinick & Cohen, 1998). Στο συγκεκριμένο πείραμα, το υποκείμενο κάθεται σε ένα τραπέζι πάνω στο οποίο έχει τοποθετηθεί ένα λαστιχένιο χέρι σε ανατομικά σωστή θέση και παράλληλα με το αντίστοιχο πραγματικό του χέρι, το οποίο και κρύβεται πίσω από ένα χώρισμα. Ο διενεργών το πείραμα χτυπά ελαφρά ή χαϊδεύει ταυτόχρονα και το λαστιχένιο χέρι και το κρυμμένο πραγματικό χέρι του υποκειμένου. Μετά από περίπου δύο λεπτά, τα δύο τρίτα των υποκειμένων, όταν τους ζητηθεί να υποδείξουν, με κλειστά τα μάτια τους, πού είναι το χέρι τους, δείχνουν προς το λαστιχένιο χέρι. Αυτό γιατί ο εγκέφαλος έχει την τάση να ενοποιεί σε μία δύο ξεχωριστές αλλά ταυτόχρονες αισθητηριακές εισόδους (στο παραπάνω πείραμα, την όραση, το υποκείμενο βλέπει να ακουμπούν το λαστιχένιο χέρι και την αφή, το υποκείμενο αισθάνεται να ακουμπούν το πραγματικό του χέρι). Αρκετοί άλλοι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με αυτές τις ψευδαισθήσεις για να εξετάσουν το πώς ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται το σώμα (ενδεικτικά, Blanke, 2012· Blanke et al., 2015· Ehrsson, 2012).

Η χρήση της ΕΠ για να μετασχηματιστεί ο τρόπος με τον οποίο ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται το σώμα, πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Lanier, στα τέλη της δεκαετίας του '80 (Lanier, 2006, 2010). Ο Lanier χρησιμοποίησε τον όρο "homuncular flexibility" για να αναφερθεί στο εύρημα ότι ο εγκέφαλος μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικές διαμορφώσεις του σώματος και μαθαίνει πώς να χειρίζεται ένα ξένο σώμα, αλλάζοντας τη σχέση μεταξύ της εντοπισμένης και της παρεχόμενης κίνησης. Χρησιμοποιώντας ΕΠ, οι Slater et al. (2008) έδειξαν ότι ένας εικονικός βραχίονας θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ανήκει στους συμμετέχοντες, με τρόπο παρόμοιο με το πείραμα της ψευδαίσθησης του λαστιχένιου χεριού. Ο Ehrsson (2009) και οι Guterstam et al. (2011) χρησιμοποιώντας ανάλογες πολυαισθητηριακές τεχνικές, έδειξαν πως είναι δυνατόν να δοθεί στους συμμετέχοντες η ψευδαίσθηση ότι στα χέρια τους ενσωματώθηκαν εικονικά όπλα.

Όσον αφορά το σχήμα του σώματος, οι Kilteni et al. (2012) έδειξαν ότι είναι δυνατόν να δημιουργηθεί η ψευδαίσθηση της ιδιοκτησίας ενός ασύμμετρου ανθρώπινου σώματος, όπου το ένα χέρι είναι τρεις φορές μακρύτερο από το άλλο (το οποίο μάλιστα οι συμμετέχοντες είχαν την τάση να αποτραβούν όταν υπήρχε απειλή για αυτό). Οι Steptoe et al. (2013) έδειξαν πώς οι άνθρωποι θα μπορούσαν να προσαρμοστούν στο να έχουν ουρά, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα CAVE στο οποίο οι συμμετέχοντες έβλεπαν το εικονικό τους σώμα από πίσω. Μάλιστα, έμαθαν να χρησιμοποιούν την ουρά τους για να αποφεύγουν βλάβες στο σώμα τους.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ΕΠ σε σύγκριση με τη χρήση πλαστικών χεριών, είναι ότι τα εικονικά άκρα ή και ολόκληρο το εικονικό σώμα μπορούν να κινηθούν. Οι Sanchez-Vives et al. (2010) το εκμεταλλεύθηκαν αυτό για να δείξουν ότι η ψευδαίσθηση της ιδιοκτησίας ενός εικονικού βραχίονα μπορεί να προκληθεί με το συγχρονισμό πραγματικών και εικονικών κινήσεων των χεριών (visuomotor synchrony). Το ίδιο μπορεί να γίνει και για το σώμα στο σύνολό του. Ο όρος "εικονική ενσάρκωση" (ή απλά ενσάρκωση) αναφέρεται στη διαδικασία -αντιληπτικής- αντικατάστασης του σώματος ενός ατόμου από ένα εικονικό (ακόμα και αν αυτό μπορεί να μην μοιάζει με το πραγματικό σώμα). Μπορούν να συμπεριληφθούν πρόσθετες πολυαισθητηριακές συσχετίσεις, όπως ο οπτικο-απτικός και οπτικο-κινητικός συγχρονισμός που εντείνουν το αποτέλεσμα (Spanlang et al., 2014). Οι Kokkinara και Slater (2014) έδειξαν πως όταν τα άτομα βλέπουν το εικονικό τους σώμα με προοπτική πρώτου προσώπου (δηλαδή, μέσα από τα "μάτια" του εικονικού σώματος), τότε ο οπτικο-κινητικός συγχρονισμός είναι ο πιο ισχυρός παρακινητής της ψευδαίσθησης ιδιοκτησίας του σώματος από ότι η οπτικο-απτικός συγχρονισμός. Αρκετοί άλλοι έχουν ασχοληθεί με την τεχνολογία που απαιτείται για την εικονική ενσάρκωση (ενδεικτικά, Spanlang et al., 2013, 2014), μελετώντας τις συνθήκες που μπορούν να οδηγήσουν σε τέτοιες ψευδαισθήσεις ιδιοκτησίας σώματος (ενδεικτικά, Blom et al., 2014· Borland et al., 2013· González-Franco et al., 2013· Maselli & Slater, 2014· Pomes & Slater, 2013· Slater et al., 2009, 2010) και διερευνώντας τις επιπτώσεις των στρεβλώσεων πέρα από την κανονική μορφή του πραγματικού σώματος ενός ατόμου (ενδεικτικά, Kiltani et al., 2012· Slater et al., 2010· Steptoe et al., 2013).

Επίσης, η μέθοδος της εικονικής ενσάρκωσης έχει χρησιμοποιηθεί για να δώσει στους ενήλικες την εμπειρία του να είναι παιδιά (Banakou et al., 2013). Κάτι τέτοιο αποδείχθηκε ότι επηρεάζει τον τρόπο που κινούνται τα άτομα (Kiltani et al., 2013) και οδηγεί σε υπερεκτιμήσεις μεγέθους. Πράγματι, οι Van der Hoort et al. (2011), έδειξαν πως όταν ενήλικες μέσου μεγέθους είχαν την ψευδαίσθηση της ιδιοκτησίας σώματος με μικρότερα ή μεγαλύτερα εικονικά σώματα από το δικό τους, αυτό τους οδήγησε σε αλλαγές στην αντίληψή τους για τα μεγέθη των αντικειμένων (σε ένα μικρό σώμα τα αντικείμενα τους φάνηκαν μεγαλύτερα, αλλά και μικρότερα σε ένα μεγάλο σώμα). Οι Banakou et al. (2013) αναπαρήγαγαν το ίδιο αποτέλεσμα σε εμβυστική ΕΠ, δείχνοντας ότι όταν η μορφή του εικονικού σώματος αντιπροσώπευε εκείνη ενός (τετράχρονου) παιδιού, τότε η υπερεκτίμηση του μεγέθους ήταν περίπου η διπλάσια σε σύγκριση με όταν η μορφή του εικονικού σώματος ήταν αυτής ενός ενήλικα.

Οι Yee και Bailenson (2007) εισήγαγαν το όρο "Proteus effect", για να περιγράψουν το πώς η ψηφιακή αυτο-εκπροσώπηση ενός ατόμου επηρεάζει τη στάση και τη συμπεριφορά του σε εικονικά περιβάλλοντα, αλλά και την πραγματική του συμπεριφορά έξω από αυτά. Έδειξαν ότι η ενσωμάτωσή ατόμων σε ένα avatar που είχε ένα πρόσωπο πιο ελκυστικό από το πραγματικό τους, τους οδήγησε να κινηθούν πιο κοντά σε κάποιον σε ένα συνεργατικό εικονικό περιβάλλον, σε σύγκριση με εκείνους τους συμμετέχοντες των οποίων το avatar κρίθηκε ως λιγότερο ελκυστικό. Ομοίως, η ενσωμάτωση σε ψηλότερα avatars οδήγησε σε πιο επιθετικές συμπεριφορές από ό,τι αν ενσωματώνονταν σε πιο κοντά. Η θεωρητική βάση του Proteus effect είναι η Θεωρία της Αυτοαντίληψης (Bem, 1972), η οποία υποδηλώνει ότι οι άνθρωποι διαμορφώνουν τη στάση τους παρατηρώντας τις δικές τους συμπεριφορές και το πλαίσιο στο οποίο συμβαίνουν.

## 5.9. Πολιτιστική κληρονομιά

Ο ιδανικός τρόπος για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι η φυσική προστασία, η συντήρηση και η αποκατάσταση των χώρων. Εδώ και χρόνια υπάρχει έρευνα που ασχολείται με την ψηφιακή σύλληψη και την απεικόνιση αυτών των χώρων, η οποία φυσικά μπορεί να υλοποιηθεί με εφαρμογές ΕΠ (Rua & Alvito, 2011). Η πρώτη και προφανής χρήση της ΕΠ σε αυτόν τον τομέα είναι να επιτρέψει στους ανθρώπους να εξερευνήσουν διαδραστικά τέτοιες τοποθεσίες. Αυτό δεν διαφέρει από τα εικονικά ταξίδια ή τον τουρισμό, εκτός από τη φύση του αξιοθέατου. Ένας άλλος τύπος εφαρμογών είναι να αναδειχθούν αυτές οι περιοχές σαν να ήταν πλήρως αποκαταστημένες ή όπως ήταν στο παρελθόν ή υπό διαφορετικές συνθήκες (όπως διαφορετικός φωτισμός). Κατά ανάλογο τρόπο, θα μπορούσαν να υπάρχουν εφαρμογές που να απεικονίζουν τοποθεσίες πολιτιστικής κληρονομιάς στο μέλλον, υπό διαφορετικές συνθήκες, όπως κάτω από διαφορετικά σενάρια υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Ένα παράδειγμα εφαρμογής ΕΠ για την πολιτιστική κληρονομιά είναι η περιήγηση στην αρχαία πόλη της Μιλήτου μέσω ενός συστήματος CAVE (Gaitatzes et al., 2001). Άλλα παραδείγματα είναι η εικονική περιήγηση στη μονή Santa Maria de Ripoll στην Καταλονία της Ισπανίας (Callieri et al., 2011) και η ψηφιοποίηση και η απόδοση του αγάλματος του Δαβίδ του Μιχαήλ Αγγέλου και διάφορων άλλων αγαλμάτων και αντικειμένων της αρχαίας Ρώμης (Levoy et al., 2000). Οι Carrozzino και Bergamasco (2010) ανέφεραν ότι οι λόγοι για τους οποίους η χρήση της ΕΠ στα μουσεία μπορεί να μην έχει ερευνηθεί σε ακόμα μεγαλύτερο βάθος είναι το κόστος, η ανάγκη ύπαρξης ομάδας ατόμων από διάφορες ειδικότητες που θα πρέπει να συνεργαστούν, ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάσταση συστημάτων ΕΠ και το ότι οι επισκέπτες μπορεί να μην θέλουν να φορέσουν εξοπλισμό ΕΠ. Ωστόσο, πολλά από τα παραπάνω προβλήματα, έχουν ξεπεραστεί, σε μεγάλο βαθμό, τα τελευταία χρόνια, με την έλευση των χαμηλού κόστους και υψηλής ποιότητας HMDs. Φυσικά, εξακολουθεί να είναι αλήθεια ότι μία διεπιστημονική ομάδα απαιτείται για τη δημιουργία των περιβαλλόντων (Dunn et al., 2012). Επιπλέον, η απόδοση των χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς απαιτεί τεράστια ποσότητα δεδομένων και την επεξεργασία τους. Για παράδειγμα, το άγαλμα του Δαβίδ που αναφέρθηκε προηγουμένως, απαίτησε για την κατασκευή του δύο δισεκατομμύρια πολύγωνα.

Μερικές φορές μία ψηφιακή ανακατασκευή είναι ο μόνος τρόπος για να δει κάποιος μία τοποθεσία. Ο αρχαίος αιγυπτιακός ναός της Kalabsha μεταφέρθηκε από την αρχική του θέση, ώστε να διασωθεί από την άνοδο της στάθμης των υδάτων του Νείλου. Οι Sundstedt et al. (2004) τον ανακατασκεύασαν ψηφιακά για να τον απεικονίσουν στην αρχική του τοποθεσία, αλλά και το πώς μπορεί να φαινόταν πριν δύο χιλιετίες.

Οι Webel et al. (2013) επεσήμαναν πως τα ακριβά συστήματα CAVE δεν είναι πάντα κατάλληλα για πολυσύχναστα περιβάλλοντα όπως τα μουσεία. Από την άλλη, τα HMDs παρέχουν έναν πιο φυσικό μέσο αλληλεπίδρασης και η αυξάνουν αρκετά την εμπύθιση. Σε κάτι αντίστοιχο κατέληξαν οι Kateros et al. (2015) στην ανασκόπησή τους για τη χρήση των HMDs στην πολιτιστική κληρονομιά, αλλά και οι Casu et al. (2015) που σύγκριναν την προβολή των έργων τέχνης στην τάξη μέσω ενός μη εμπυθισμένου συστήματος και HMDs. Δεν λείπουν όμως και τα προβλήματα. Για παράδειγμα, οι Loizides et al. (2014) σύγκριναν powerwall (ένα σύστημα προβολής εφαρμογών ΕΠ σε μεγάλη οθόνη) και HMDs για εικονικές επισκέψεις σε περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς στην Κύπρο. Διαπίστωσαν ότι οι συμμετέχοντες εκτίμησαν και τους δύο τύπους επίδειξης και ειδικά την αυξημένη παρουσία



που προκάλεσαν τα HMDs. Ωστόσο, η χρήση των HMDs είχε ως αποτέλεσμα κάποιοι συμμετέχοντες να παρουσιάσουν συμπτώματα ναυτίας (simulator sickness, βλ. Κεφάλαιο "2.2. Αρχές και στοιχεία λειτουργίας των Head Mounted Displays").

### **5.10. Συνεργασία, διαμοιρασμένα περιβάλλοντα**

Όπως φάνηκε από προηγούμενα κεφάλαια, το εικονικό περιβάλλον μπορεί να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα από πολλά άτομα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο κάθε συμμετέχων αντιπροσωπεύεται από ένα εικονικό σώμα (γνωστό και ως "avatar") και μπορεί να δει τις αναπαραστάσεις των άλλων. Ιδανικά, τα avatars κινούνται στο εικονικό περιβάλλον όπως και οι συμμετέχοντες, μέσω της παρακολούθησης των κινήσεών τους. Φυσικά, υπάρχουν πολλά τεχνικά ζητήματα που εμπλέκονται στην υλοποίηση τέτοιων συστημάτων, όπως ο τρόπος διανομής της εφαρμογής και ο συγχρονισμός των συμμετεχόντων (Steed & Oliveira, 2009). Πιθανότατα, το πρώτο δημοσιευμένο έργο όπου αφορούσε το πώς περισσότερα από ένα άτομα θα μπορούσαν να υπάρξουν στο ίδιο εικονικό περιβάλλον παρουσιάστηκε από τους Blanchard et al. (1990) και αφορούσε μόλις δύο συμμετέχοντες. Σήμερα πλέον όλα τα συστήματα ΕΠ υποστηρίζουν αυτή τη δυνατότητα (Tecchia et al., 2010). Μάλιστα, υπάρχουν πλατφόρμες που υποστηρίζουν την ταυτόχρονη online παρουσία χιλιάδων ατόμων, όπως το Second Life, αν και αυτές δεν είναι πλήρως εμβυθιστικές.

Αν και οι πρώτες έρευνες επάνω σε αυτόν τον τομέα επικεντρώθηκαν σε τεχνικά θέματα και στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων της ΕΠ για τη βελτίωση της απομακρυσμένης συνεργασίας (ενδεικτικά, Koleva et al., 2001), μεταγενέστερες εργασίες επικεντρώθηκαν στην εξερεύνηση της κοινωνικής δυναμικής σε διαμοιρασμένα εικονικά περιβάλλοντα (ενδεικτικά, Slater et al., 2000· Tromp et al., 1998). Σε γενικές γραμμές, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η δυναμική επηρεάζεται, σε μεγάλο βαθμό, από τον τύπο της εμβύθισης. Οι Steed et al. (2003) χρησιμοποιώντας ένα σύστημα CAVE, διαπίστωσαν ότι τα avatar παίζουν σημαντικό ρόλο, όταν μάλιστα αναπαριστούν ολόκληρο το σώμα των συμμετεχόντων. Άλλοι ερευνητές εστίασαν σε ενδιαφέρουσες λεπτομέρειες αυτού του τύπου επικοινωνίας όπως το σφίξιμο των "εικονικών" χεριών (Giannopoulos et al., 2011· Wang et al., 2011), η παρακολούθηση του βλέμματος (Steptoe et al., 2008, 2010) και το κατά πόσο οι συμμετέχοντες σε μία τέτοια επικοινωνία αντιδρούν όπως στη φυσική (Dodds et al., 2011· Pizarro et al., 2015). Μάλιστα, η αφή, που δύσκολα μπορεί να μεταφερθεί (εφόσον κάποιος δεν μπορεί να "αγγίξει" τα avatars), αποτέλεσαν αντικείμενο μίας σειράς ερευνών. Έτσι, οι Bourdin et al. (2013) δημιούργησαν μία εφαρμογή όπου οι συμμετέχοντες μπορούσαν να αισθανθούν μία δόνηση από ένα μικρό δονητή που βρισκόταν στον ώμο τους όταν κάποιος "άγγιζε" το avatar τους. Οι Bailenson et al. (2007) διεξήγαγαν πειράματα χρησιμοποιώντας απτικά εικονικά περιβάλλοντα και έδειξαν ότι η αφή βοήθησε στην επικοινωνία των συναισθημάτων. Οι Basdogan et al. (2000) χρησιμοποιώντας ένα απτικό περιβάλλον πραγματοποίησαν μία σειρά πειραμάτων και διαπίστωσαν ότι η απτική ανάδραση θα μπορούσε να μεταδώσει κρίσιμες πληροφορίες. Αντίστοιχα, οι Kim et al. (2004) συμπέραναν ότι η απτική ανάδραση βελτίωσε την αίσθηση της συν-παρουσίας, δηλαδή ότι οι απομακρυσμένοι συμμετέχοντες αισθάνθηκαν ότι ήταν μαζί.

### 5.11. Ταξίδια και τουρισμός

Η συμβολή των ταξιδιών στην παγκόσμια οικονομία είναι κολοσσιαία. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ταξιδιών και Τουρισμού (World Travel and Tourism Council, 2015), τα ταξίδια και ο τουρισμός απέφεραν 7,6 τρισεκατομμύρια δολάρια το 2014. Από την άλλη πλευρά, τα ταξίδια συνοδεύεται από σημαντικό κόστος (Reford & Leston, 2011) και έχουν αρκετά σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα (Kampa & Castanas, 2008). Ένα άλλο πρόβλημα αφορά ιδιαίτερα τα επαγγελματικά ταξίδια. Τα ταξίδια αυτά μπορεί να διαταράξουν τόσο την επιχείρηση όσο και την προσωπική ζωή του ταξιδιώτη προκαλώντας του σωματική και πνευματική εξουθένωση (Jensen, 2014), αλλά και να φέρνοντας οικογενειακές συγκρούσεις (Gustafson, 2012). Παρόλα αυτά, για τις επιχειρήσεις η πρόσωπο με πρόσωπο επαφή θεωρείται απαραίτητη. Ως εκ τούτου, οι συναντήσεις πρόσωπο με πρόσωπο φαίνεται να έχουν ουσιώδη σημασία. Ακόμη και αν οι μπορούν να αντικατασταθούν από μία από τις διάφορες διαθέσιμες μορφές συστημάτων τηλεδιάσκεψης, έχει προταθεί ότι αυτοί οι τύποι εικονικών συναντήσεων μπορεί να δημιουργήσουν ακόμη και μεγαλύτερη φυσική μετακίνηση (Gustafson, 2012). Μάλιστα, το ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι εκείνοι που ταξιδεύουν περισσότερο είναι και αυτοί που συμμετέχουν στις περισσότερες τηλεδιασκέψεις. Συνεπώς, εύλογα προκύπτει το ερώτημα του κατά πόσο η ΕΠ να είναι επωφελής σε αυτόν τον τομέα, αλλά και του κατά πόσο μπορεί να αντικαταστήσει τα ταξίδια για αναψυχή.

Χρησιμοποιώντας ΕΠ είναι πιθανό ότι μπορεί να μην χρειαστεί κάποιος να πάει σωματικά σε ένα μέρος για να πει ότι το έχει επισκεφθεί. Μάλιστα, με τα βίντεο 360°, κάποιος καθισμένος στο σπίτι του μπορεί να περιηγηθεί στους δρόμους του Χονγκ Κονγκ, να επισκεφθεί το Ταζ Μαχάλ, να εξερευνήσει την Απαγορευμένη Πόλη στο Πεκίνο ή ακόμα και να δει ένα τοπίο στον Άρη. Μπορεί να παρακολουθήσει τελετές από εξωτικά μέρη. Πρόκειται για προφανείς και πολυσυζητημένες πιθανές εφαρμογές. Οι δυνατότητες περιορίζονται μόνο από τη φαντασία και στο τι η τεχνολογία μπορεί να προσφέρει τη συγκεκριμένη στιγμή.

Όλα αυτά δεν είναι νέες ιδέες, καθώς ήδη εδώ και δύο δεκαετίες οι άνθρωποι στον ταξιδιωτικό κλάδο εξετάζουν αυτό που αποκαλείται "εικονική απειλή για τα ταξίδια και τον τουρισμό" (Cheong, 1995), υποστηρίζοντας ότι η απειλή της ΕΠ να γίνει υποκατάστατο για τα ταξίδια δεν είναι αβάσιμη και δεν πρέπει να αγνοηθεί. Η ΕΠ προσφέρει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα σε σχέση με την πραγματική επίσκεψη ενός χώρου που θα μπορούσε να οδηγήσει στην αντικατάσταση των ταξιδιών και του τουρισμού από την ΕΠ. Μεταξύ άλλων, (α) η τεχνολογία θα μπορούσε τελικά να υποστηρίξει την τέλεια "εικονική εμπειρία" όπου ο ήλιος δεν σταματά ποτέ λάμπει ή το χιόνι είναι τέλειο, δεν υπάρχουν ενοχλητικοί άνθρωποι γύρω, (β) δεν υπάρχει το άγχος και το κόστος του ταξιδιού, (γ) στα μέρη που θα μπορούσε να επισκεφθεί περιλαμβάνονται και αυτά που δεν είναι εύκολα προσβάσιμα (ο Άρης είναι ένα ακραίο παράδειγμα), (δ) κάποιος θα μπορούσε να ταξιδέψει στο παρελθόν ή σε φανταστικούς κόσμους, (ε) άτομα που δεν μπορούν να ταξιδέψουν λόγω ασθένειας ή αναπηρίας θα είναι εύκολο τώρα να το πράξουν, (στ) δεν υπάρχουν κίνδυνοι από τροπικές ασθένειες και ατυχήματα και (ζ) δεν υπάρχει καμία περιβαλλοντική επίπτωση ζημία στα μέρη που επισκέπτονται. Ωστόσο, ο Cheong (1995) ανέφερε πως η ΕΠ δεν είναι μία ουσιαστική απειλή, καθώς η παρουσία και η εμπύθιση δεν υποκαθιστούν το να βρίσκεται κάποιος πραγματικά σε ένα μέρος. Για παράδειγμα, δύσκολα στην ΕΠ κάποιος μπορεί να συνδιαλλαγεί με τους ντόπιους και να αναπαραχθεί η πολυπλοκότητα και η τυχαιότητα του πραγματικού κόσμου.

## 5.12. Χωρική αναπαράσταση και πλοήγηση

Η ΕΠ μπορεί να φανεί χρήσιμη στη μελέτη της χωρικής αναπαράστασης και της χωρικής πλοήγησης. Αυτό γιατί η ΕΠ μπορεί να μεταφέρει τα άτομα σε έναν άλλο χώρο, που μπορεί να εξερευνηθεί με ή χωρίς κίνηση. Η χωρική πλοήγηση είναι χρήσιμη σε διάφορους τομείς όπως για την αποκατάσταση των χωρικών ικανοτήτων μετά από μία νευρολογική διαταραχή ή εγκεφαλική βλάβη που επηρέασε αυτή τη λειτουργία, αλλά, ακόμα, και για τον σχεδιασμό μίας πόλης. Δεδομένου ότι η πλοήγηση στον εικονικό χώρο μπορεί να ενεργοποιήσει τους ίδιους μηχανισμούς του εγκεφάλου με την πλοήγηση στον πραγματικό κόσμο, η χωρική παρουσία μπορεί να αναπαραχθεί με επιτυχία (Brotons-Mas et al., 2006· Wirth et al., 2007).

Έτσι, η πλοήγηση μέσω της ΕΠ έχει φανεί ότι παρέχει μία αρκετά καλή μέθοδο για τη μελέτη της λειτουργίας του ιππόκαμπου που είναι η κύρια δομή του εγκεφάλου που υποστηρίζει τη χωρική αναπαράσταση (Gould et al., 2007). Η πλοήγηση σε εικονικές πόλεις έχει χρησιμοποιηθεί για να εντοπιστούν, τα μέρη του εγκεφάλου που ενεργοποιούνται κατά τη νοητική δημιουργία μίας διαδρομής (Hartley et al., 2003), καθώς και για τον εντοπισμό προβλημάτων στις χωρικές γνωστικές λειτουργίες, σε διαταραχές όπως η κατάθλιψη (Gould et al., 2007), το Alzheimer (Cushman et al., 2008), μετά από τραυματική εγκεφαλική βλάβη και άλλες νευρολογικές διαταραχές (Bertella et al., 2001· Kober et al., 2013· Koenig et al., 2009). Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας το εικονικό μοντέλο μίας πόλης, η ενεργός πλοήγηση βοήθησε άτομα που είχαν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο να ανακτήσουν κάποια ικανότητα εύρεσης διαδρομής (Claessen et al., 2015). Επιπλέον, η εξάσκηση της χωρικής ικανότητας στην ΕΠ προστατεύει από την έκπτωση των λειτουργιών του ιππόκαμπου λόγω ηλικίας (Lovden et al., 2012).

Η μελέτη των στρατηγικών που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι για τη χωρική πλοήγηση είναι ένας ακόμα τομέας όπου αξιοποιήθηκε η ΕΠ (Rothman & Warren, 2006· Schnapp & Warren, 2007). Παρόλα αυτά, υπάρχει προβληματισμός για το κατά πόσο οι τεχνικές που έμαθε κάποιος για την αποτελεσματική πλοήγησή του μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον μεταφέρονται στον πραγματικό κόσμο. Οι Darken και Goerger (1999) επεσήμαναν ότι, ενώ η χρήση της ΕΠ φαίνεται να παράγει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την απόκτηση χωρικής γνώσης, οι γνώσεις και δεξιότητες που αποκτήθηκαν συχνά δεν μεταφέρονται στον πραγματικό χώρο. Ωστόσο, εκείνοι που χρησιμοποιούν την ΕΠ απλά για να κάνουν πρόβα το ό,τι θα κάνουν αργότερα σε έναν πραγματικό χώρο, χωρίς να βασίζονται σε λεπτομερείς υποδείξεις, φάνηκε να έχουν, τελικά, καλύτερες (χωρικές) επιδόσεις. Οι Ruddle et al. (1999) σύγκριναν την πλοήγηση μεταξύ ενός επιτραπέζιου συστήματος ΕΠ και ενός που στηρίχθηκε σε HMDs με παρακολούθηση της κίνησης του κεφαλιού. Διαπίστωσαν ότι αν και δεν υπήρχαν διαφορές στην απόδοση μεταξύ των δύο συστημάτων αναφορικά με την εκτίμηση της απόστασης που διανύθηκε, οι χρήστες με τα HMDs σταματούσαν πιο συχνά για να κοιτάξουν τη σκηνή γύρω τους και ήταν σε θέση να εκτιμήσουν καλύτερα τις διαδρομές μεταξύ δύο σημείων. Αυτή η διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων δείχνει ότι στην ΠΕΕΠ η αντίληψη με επίκεντρο το σώμα βελτιώνει την πιθανότητα μεταφοράς της γνώσης σε μία πραγματική κατάσταση. Οι Ruddle et al. (2011, 2013) συνέκριναν επιτραπέζια ΕΠ, HMD που δεν επέτρεπε στους συμμετέχοντες να περπατήσουν, αλλά μόνο να κοιτάξουν γύρω τους και HMD που επέτρεπε στους συμμετέχοντες να περπατήσουν και διαπίστωσαν ότι οι συμμετέχοντες στην τρίτη ομάδα δημιούργησαν καλύτερους νοητικούς χάρτες. Το συμπέρασμα από αυτές τις μελέτες είναι ότι η απλή τοποθέτηση κάποιου σε

έναν εικονικό κόσμο για να μάθει ένα συγκεκριμένο περιβάλλον μπορεί να είναι αποτελεσματική υπό την προϋπόθεση ότι η πλοήγηση περιλαμβάνει ενεργό έλεγχο από τον συμμετέχοντα.

### 5.13. Ψυχολογία και θεραπεία παθήσεων

Η ΕΠ έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για ψυχολογική ή επαγγελματική θεραπεία και για την αποκατάσταση διαφόρων παθήσεων. Οι πρώτες εφαρμογές της ΕΠ στην ψυχολογία εμφανίστηκαν από πολύ νωρίς (ενδεικτικά, North et al, 1996· Lamson, 1997). Σε γενικές γραμμές, οι ασθενείς περιηγούνται σε εικονικά περιβάλλοντα και πραγματοποιούν ειδικά σχεδιασμένες εργασίες. Για παράδειγμα, η ΕΠ χρησιμοποιείται ευρέως ως εναλλακτική μορφή θεραπείας έκθεσης, στην οποία οι ασθενείς αλληλεπιδρούν με αβλαβείς εικονικές αναπαραστάσεις τραυματικών ερεθισμάτων προκειμένου να μειωθούν οι αντιδράσεις φόβου, όπως τα ύψη, η ομιλία στο κοινό (Parsons & Rizzo, 2008), η πτήση και οι στενοί χώροι (Anderson et al., 2013). Έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική στη θεραπεία της διαταραχής μετατραυματικού στρες (post-traumatic stress disorder-PTSD) (Rizzo et al., 2010), στη βοήθεια ατόμων που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο ή έχουν κάποια εγκεφαλική βλάβη ώστε να ανακτήσουν τον έλεγχο των μυών τους (Reger et al., 2009), στη θεραπεία διαταραχών όπως η δυσμορφία του σώματος και στη βελτίωση των κοινωνικών δεξιοτήτων ατόμων με αυτισμό (Kandalaf et al., 2012). Μάλιστα, για να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα, σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμοποιείται ΠΕΕΠ, έτσι ώστε οι ασθενείς να απομονώνονται από τα εξωτερικά ερεθίσματα και να εμβυθίζονται στο εικονικό περιβάλλον.

Σε αντίθεση με την παραδοσιακή γνωστική συμπεριφορική θεραπεία, η θεραπεία με βάση την ΕΠ επιτρέπει την προσαρμογή του εικονικού περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα την προσθήκη οσμών ελεγχόμενης έντασης ή την προσθήκη και ρύθμιση κραδασμών και επιτρέπει στον κλινικό ιατρό να καθορίσει τα επίπεδα αντίδρασης του κάθε ασθενούς. Οι θεραπευτές που εφαρμόζουν θεραπεία έκθεσης ΕΠ, όπως και εκείνοι που εφαρμόζουν θεραπεία έκθεσης in vivo, μπορούν να εφαρμόσουν δύο προσεγγίσεις. Στην πρώτη, που αναφέρεται ως πλημμύρα, παρουσιάζονται πρώτα τα ερεθίσματα εκείνα που προκαλούν το μεγαλύτερο άγχος. Για τους στρατιώτες που έχουν αναπτύξει PTSD, αυτό θα μπορούσε να σημαίνει πρώτα την έκθεσή τους σε μια σκηνή όπου συνάδελφοί τους πυροβολούνται ή τραυματίζονται ακολουθούμενη από λιγότερο αγχωτικά ερεθίσματα όπως μόνο οι ήχοι πολέμου. Από την άλλη, στη διαβαθμισμένη έκθεση, υιοθετεί μια πιο χαλαρή προσέγγιση στην οποία εισάγονται πρώτα τα λιγότερο οδυνηρά ερεθίσματα.

Σε κάθε περίπτωση, μέσα στο εικονικό περιβάλλον, οι ασθενείς μπορούν να αλληλεπιδράσουν με ασφάλεια με μια αναπαράσταση της φοβίας τους. Πάντως, πρόκληση για την αποτελεσματικότητα της θεραπείας έκθεσης είναι η αναδημιουργία του επιπέδου τραύματος που υπάρχει σε πραγματικά περιβάλλοντα μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον. Ένας τρόπος να ξεπεραστεί αυτό είναι ο ρεαλισμός του εικονικού περιβάλλοντος και η παροχή ποικίλων αισθητηριακών ερεθισμάτων στους ασθενείς (Bush, 2008). Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής, που χρησιμοποιείται ευρέως στη θεραπεία στρατιωτών με PTSD, είναι το Virtual Iraq, στην οποία οι ασθενείς περιηγούνται με ένα Humvee σε εικονικές αναπαραστάσεις του Ιράκ, του Αφγανιστάν και των Ηνωμένων Πολιτειών. Με την ασφαλή έκθεσή τους στα τραυματικά περιβάλλοντα, οι ασθενείς μειώνουν το άγχος τους. Η αποτελεσματικότητά του είναι ιδιαίτερα υψηλή, αφού θεωρείται ότι θεραπεύει περίπου το 75% των ασθενών (Rizzo et al., 2014). Η θεραπεία έκθεσης με ΕΠ χρησιμοποιείται επίσης για τη θεραπεία

συγκεκριμένων φοβιών, ειδικά της φοβίας για ζώα όπως οι αράχνες, που μπορούν εύκολα να παραχθούν σε ένα εικονικό περιβάλλον (Parsons & Rizzo, 2008). Μάλιστα, έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους ίδιους τους ασθενείς, στο σπίτι τους (Haworth et al., 2012).

Ο όρος "εικονική αποκατάσταση" αναφέρεται τόσο στη φυσικοθεραπεία όσο και στις γνωστικές παρεμβάσεις (για παράδειγμα, σε ασθενείς που πάσχουν από αμνησία ή ελλειμματική προσοχή). Σε αυτή την περίπτωση, η θεραπεία του ασθενούς βασίζεται, σε μεγάλο βαθμό ή εξ ολοκλήρου, σε περιβάλλοντα ΕΠ και όχι σε φυσικά μέσα. Έχει μία σειρά από πλεονεκτήματα όπως: είναι διασκεδαστική και, συνεπώς, κινητοποιεί τον ασθενή, παρέχει ρεαλιστικά περιβάλλοντα, παρέχει τρόπους αντικειμενικής μέτρησης των αποτελεσμάτων, μπορεί να υλοποιηθεί από απόσταση (για παράδειγμα, στο σπίτι του ασθενούς), ο ασθενής μπορεί να "ξεχάσει" ότι υποβάλλεται σε θεραπεία και έτσι εκφράζεται πιο "ελεύθερα" και, φυσικά, έχει μειωμένο κόστος (Burdea, 2002). Από την άλλη, ο ασθενής θα πρέπει να είναι σε θέση να προβάλλει με επιτυχία και να βιώσει το άγχος του σε ένα εικονικό περιβάλλον. Δυστυχώς, αυτή η προβολή είναι εξαιρετικά υποκειμενική, εξατομικευμένη ανά ασθενή και έξω από τον έλεγχο των θεραπειών. Αυτός ο περιορισμός μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη θεραπεία (Bush, 2008). Επιπρόσθετα, δεν υπάρχουν εγγυήσεις πως εάν ο ασθενής καταπολεμήσει επιτυχώς τη φοβία του σε ένα εικονικό περιβάλλον, αυτό σημαίνει ότι το ίδιο θα ισχύσει και στην πραγματική ζωή. Επιπλέον, κατά τη θεραπεία πιο περίπλοκων παθήσεων όπως η σχιζοφρένεια, δεν είναι σίγουρο ότι οι ψευδαισθήσεις και οι παραισθήσεις ενός ασθενούς μπορούν να μεταφερθούν με πληρότητα στον εικονικό κόσμο (Park et al., 2019).

Εφαρμογές της ΕΠ έχουν αναπτυχθεί και για την καταπολέμηση της κατάθλιψης, ειδικά σε ασθενείς που παρουσιάζουν ήπια/μέτρια συμπτώματα. Για παράδειγμα, στο παιχνίδι *Sparx*, ο χρήστης αναλαμβάνει τον ρόλο ενός χαρακτήρα που ταξιδεύει μέσα από έναν φανταστικό κόσμο, "πολεμώντας" αρνητικές σκέψεις και, ταυτόχρονα, διδάσκεται τεχνικές για τη διαχείριση της κατάθλιψής του (Merry et al., 2012).

Η ΕΠ έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τη θεραπεία διατροφικών διαταραχών και σωματικής δυσμορφίας. Σε μία μελέτη, οι συμμετέχοντες πραγματοποιούσαν διάφορες εργασίες σε εικονικά περιβάλλοντα που περιλάμβαναν την παρουσίαση των επιπτώσεων της επίτευξης του επιθυμητού βάρους, τη σύγκριση του πραγματικού σχήματος του σώματός τους με ένα avatar που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας το αντιληπτό μέγεθος του σώματός τους και την αλλαγή μιας εικονικής αντανάκλασης ώστε αυτή να ταιριάζει με το πραγματικό μέγεθος του σώματός τους (Marco et al., 2013). Αντίστοιχα, υπάρχουν παραδείγματα, αν και πολύ λίγα, για τα θεραπευτικά οφέλη της ΕΠ σε διεμφυλικά άτομα που βιώνουν δυσφορία φύλου. Μέσω της χρήσης βιντεοπαιχνιδιών ΕΠ και δωματίων συνομιλίας, όσοι πάσχουν από δυσφορία φύλου μπορούν να δημιουργήσουν avatars του εαυτού τους, να αλληλεπιδράσουν ανώνυμα και να εργαστούν για θεραπευτικούς στόχους (Brown, 2019).

Η ΕΠ έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τις κοινωνικές δεξιότητες των νέων ενηλίκων με αυτισμό. Σε μια μελέτη, οι συμμετέχοντες έλεγχαν ένα avatar σε διαφορετικά εικονικά περιβάλλοντα και πραγματοποίησαν διάφορες κοινωνικές εργασίες, όπως συνεντεύξεις, γνωριμίες με νέους ανθρώπους και αντιμετώπιση επιχειρημάτων. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι οι συμμετέχοντες βελτιώθηκαν στους τομείς της συναισθηματικής αναγνώρισης σε φωνές και πρόσωπα και στην εξέταση των σκέψεων άλλων ανθρώπων. Οι συμμετέχοντες ερωτήθηκαν μήνες μετά τη μελέτη για το

πόσο αποτελεσματική θεώρησαν ότι ήταν η θεραπεία που ακολούθησαν και οι απαντήσεις ήταν συντριπτικά θετικές (Kandalaft et al., 2012). Ανάλογα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν σε παιδιά σχολικής ηλικίας που έπασχαν από Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας. Τα παιδιά αυτά, υποβλήθηκαν σε μια εικονική σειρά συνεδριών γνωστικής θεραπείας στην τάξη και πέτυχαν την ίδια διαχείριση των συμπτωμάτων παρορμητικότητας και απόσπασης της προσοχής τους με παιδιά που έλαβαν φαρμακευτική αγωγή (Bioulac et al., 2018). Ανάλογα αποτελέσματα είχε έρευνα που είχε ως στόχο να "διδάξει" σε μαθητές με Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας βασικές συμπεριφορές στο σχολικό περιβάλλον (Fokides et al., 2019).

Έρευνες έχουν δείξει ότι ασθενείς που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο βρήκαν ευεργετικές τεχνικές αποκατάστασης με τη χρήση ΕΠ ως μέρος της φυσικοθεραπείας τους (De Rooij et al., 2016). Ένα πρόγραμμα αποκατάστασης περιλαμβάνει υψηλής έντασης, επαναλαμβανόμενες και ειδικές ασκήσεις, που ωστόσο μπορεί να αποδειχθούν σωματικά απαιτητικές και απαιτούν αρκετές ημέρες εκπαίδευσης την εβδομάδα. Επιπλέον, δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που παράγουν μόνο μέτρια ή/και καθυστερημένα αποτελέσματα. Αντίθετα, ένα σχήμα φυσικοθεραπείας που χρησιμοποιεί ΕΠ, παρέχει την ευκαιρία εξατομίκευσης, και προσθέτει ένα επίπεδο ίντριγκας και εμπλοκής για τον ασθενή (De Rooij et al., 2016). Σε σχετική μελέτη, βρέθηκε ότι ασθενείς που χρησιμοποίησαν μία εφαρμογή ΕΠ σε συνδυασμό με το πρόγραμμα φυσικοθεραπείας, είχαν μεγαλύτερη βελτίωση στην ταχύτητα βαδίσματος από άλλους που ακολούθησαν μόνο ένα συμβατικό πρόγραμμα φυσικοθεραπείας (Kim et al., 2009).

Ανάλογα αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί σε άτομα που νοσούν από Πάρκινσον, βελτιώνοντας την αίσθηση της ισορροπίας, το βάδισμα, τις καθημερινές δραστηριότητες και τις γνωστικές τους λειτουργίες (Corbetta et al., 2015). Αναφορικά με τη θεραπεία τραυμάτων και πόνου, έχει παρατηρηθεί ότι όσο πιο εμπυθιστικές είναι οι εμπειρίες σε ένα περιβάλλον ΕΠ τόσο πιο πολύ μειώνεται ο πόνος ή ο χρόνος που οι ασθενείς σκέφτονται τον πόνο, το άγχος, τα συμπτώματα κατάθλιψης, στοιχεία που διευκολύνουν τη φροντίδα των ασθενών, όπως οι αλλαγές στο ντύσιμο και η φυσιοθεραπεία (Scarin et al., 2018). Δυστυχώς, δεν υπάρχουν πολλές μελέτες που να εξέτασαν την επίδραση της ΕΠ στον χρόνιο πόνο.



## Κεφάλαιο 6. Εικονική Πραγματικότητα και μάθηση

Από το προηγούμενο κεφάλαιο έγινε εμφανές ότι η ΕΠ βρίσκει εφαρμογή σε ένα ευρύτατο πεδίο επιστημών και δραστηριοτήτων. Είναι λογικό κάποιος να υποθέσει η ΕΠ είναι ένα ενδιαφέρον εκπαιδευτικό εργαλείο. Επιπλέον, στο Κεφάλαιο "3. Τα βασικά χαρακτηριστικά της Εικονικής Πραγματικότητας", φάνηκε ότι η εμπύθιση, η παρουσία και η αλληλεπίδραση επηρεάζουν την εμπειρία των χρηστών σε εικονικά περιβάλλοντα. Πιθανότατα, οι ίδιοι ακριβώς παράγοντες να είναι αυτοί που προσδίδουν στην ΕΠ εκπαιδευτική/μαθησιακή αξία. Αυτά ακριβώς τα θέματα εξετάζονται στη συνέχεια.

### **6.1. Η Εικονική Πραγματικότητα ως γνωστικό εργαλείο**

Τα γνωστικά εργαλεία δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να αυξήσουν, να επεκτείνουν και να ενισχύσουν τις γνωστικές τους ικανότητες (Derry, 1990· Jonassen & Carr, 2000). Μάλιστα, η τεχνολογία για να θεωρηθεί γνωστικό εργαλείο θα πρέπει η μάθηση να συμβαίνει μαζί με αυτή και όχι από αυτή (Jonassen, 1995). Πράγματι, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η ΕΠ δεν προκαλεί μάθηση από μόνη της, αλλά παρέχει τις δυνατότητες και γίνεται το μέσο από το οποίο θα προκληθεί η μάθηση (Dalgarno & Lee, 2010· Dickey, 2005· Rueda et al., 2018).

Η ΕΠ έχει βρει πεδίο εφαρμογής στα περισσότερα γνωστικά αντικείμενα και βαθμίδες της εκπαίδευσης (Bellotti et al., 2010· Falloon, 2010), ενώ έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε επιστημονικούς τομείς, όπως τα Μαθηματικά και η Ιατρική (Rizzo et al., 1997· Vaughan et al., 2016). Πολλές μελέτες για τις εκπαιδευτικές εφαρμογές της ΕΠ παραθέτουν θετικά ευρήματα, όπως αυξημένη εμπλοκή με το γνωστικό υλικό (Bonde et al., 2014· Cheung et al., 2013· Huang et al., 2010· Thisgaard & Makransky, 2017), διασκέδαση (Ferracani et al., 2014), αυξημένα κίνητρα για μάθηση και διατήρηση των γνώσεων (Huang et al., 2010). Ακόμη, σύμφωνα με τους Hew και Cheung (2010) τα εικονικά περιβάλλοντα επηρεάζουν τη διάθεση και την κοινωνική αλληλεπίδραση των χρηστών. Επίσης, έχει βρεθεί ότι η ΕΠ είναι, σε αρκετές περιπτώσεις, πιο αποτελεσματική, αναφορικά με τα μαθησιακά αποτελέσματα, συγκριτικά με τη συμβατική διδασκαλία (Merchant et al., 2014). Επιπρόσθετα, υπάρχουν παραδείγματα από πανεπιστήμια και σχολεία που χρησιμοποίησαν εφαρμογές ΕΠ, παράλληλα με τη συμβατική διδασκαλία, επιδεικνύοντας θετικά μαθησιακά αποτελέσματα (ενδεικτικά, Dalgarno et al., 2011· Petrakou, 2010).

Όμως, αφήνοντας στην άκρη την απόκτηση γνώσεων μέσω της ΕΠ, αμέσως αναδύεται σειρά ουσιωδών ερωτημάτων, όπως τι είναι αυτό που οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα με τη χρήση ΕΠ ή ποια χαρακτηριστικά/παράγοντες παίζουν ρόλο στη μάθηση με την ΕΠ. Για παράδειγμα, πολλοί ερμηνεύουν τα αποτελέσματα υπό το πρίσμα των άμεσων και έμμεσων μαθησιακών εμπειριών, για τις οποίες χρησιμοποιούνται οι όροι "εμπειρίες πρώτου προσώπου" και "εμπειρίες τρίτου προσώπου" αντίστοιχα (Fokides & Atsikpasi, 2018). Αν και περισσότερα για το θέμα αυτό θα αναφερθούν στο Κεφάλαιο "10.2. Η τέταρτη γενιά εκπαιδευτικής χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών", στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι εμπειρίες πρώτου προσώπου προέρχονται από την άμεση επαφή του ατόμου με το γνωστικό υλικό, ενώ σε αυτές του τρίτου προσώπου μεσολαβεί ένα άλλο μέσο, όπως ο εκπαιδευτικός ή ένα βιβλίο.

Οι εμπειρίες πρώτου προσώπου, λόγω της αμεσότητάς τους, οδηγούν σε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα (Fokides, 2017a). Όταν οι εμπειρίες πρώτου προσώπου δεν είναι δυνατόν να



αποκτηθούν στον πραγματικό κόσμο, γιατί τα περιβάλλοντα δεν είναι άμεσα προσβάσιμα ή/και μη ασφαλή, τότε η ΕΠ προσφέρει αυτή τη δυνατότητα (Quinn & Lyons, 2013). Εικάζεται ότι τα τρισδιάστατα αντικείμενα που υπάρχουν σε ένα περιβάλλον ΕΠ δίνουν στον χρήστη την αίσθηση του "πραγματικού" (σε αντίθεση με τα δισδιάστατα ανάλογά τους), προάγοντας τη δημιουργία ποικίλων γνωστικών αναπαραστάσεων για το ίδιο αντικείμενο και διευκολύνοντας την ανάπτυξη ολοκληρωμένων νοητικών μοντέλων (Dede et al., 1999). Βέβαια, το πόσο ισχυρές είναι οι εμπειρίες πρώτου προσώπου σε περιβάλλοντα ΕΠ, είναι μία παράμετρος που δεν έχει μελετηθεί σε βάθος.

## **6.2. Οι εκπαιδευτικές δυνατότητες της Εικονικής Πραγματικότητας**

Οι εκπαιδευτικές χρήσεις της ΕΠ είναι ένας ευρύτατος τομέας (βλ. ανασκοπήσεις των Abulrub et al., 2011· Freina & Ott, 2015· Merchant et al., 2014· Mikropoulos & Natsis, 2011). Σύμφωνα με τους Mikropoulos και Natsis (2011), η ΕΠ, με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της και σε συνδυασμό με τις προσφερόμενες δυνατότητές της, φαίνεται πώς συμβάλλει στη δημιουργία θετικών μαθησιακών αποτελεσμάτων.

Όσον αφορά την έννοια της "δυνατότητας" θα πρέπει να δοθούν κάποιες περαιτέρω διευκρινίσεις. Από τους πρώτους που μίλησαν για αυτόν τον όρο ήταν οι Gibson (1979) και Salomon (1993), αναφερόμενοι σε εκείνες τις λειτουργικές ιδιότητες που καθορίζουν την πιθανή χρησιμότητα ενός αντικειμένου ή περιβάλλοντος. Επιπλέον, οι εκπαιδευτικές δυνατότητες, αναφέρονται σε εκείνα τα χαρακτηριστικά που έχει μία εκπαιδευτική "πηγή" που ενδεχομένως να επέτρεπαν σε μία συγκεκριμένη μαθησιακή συμπεριφορά να εφαρμοστεί στην πράξη (Kirschner et al., 2004). Η εκπαιδευτική δυνατότητα, από την τεχνολογική σκοπιά, σημαίνει ότι η τεχνολογία επηρεάζει τον σχεδιασμό της διδασκαλίας από άποψη χρήσης, συμβατότητας, προετοιμασίας και συνεχών "αναβαθμίσεων" της παρεχόμενης γνώσης, που ελέγχεται, προσαρμόζεται και κατασκευάζεται, συνήθως, από εκπαιδευτικούς. Έτσι, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η μαθησιακή διαδικασία προάγεται μέσω της ΕΠ καθώς παρέχει εκπαιδευτικές δυνατότητες, όπως:

- Διερεύνηση καταστάσεων που δεν είναι δυνατόν να γίνει με άλλον τρόπο, για παράδειγμα, προσομοίωση σύνθετων συστημάτων, μακροσκοπική και μικροσκοπική απεικόνιση, προσομοίωση δυναμικών γεγονότων (Kalawsky, 1993). Ακόμη, τα εικονικά περιβάλλοντα, πολλές φορές, αναπαριστούν έννοιες οι οποίες μπορεί να είναι άυλες στον πραγματικό κόσμο και σχετίζονται με δραστηριότητες πέρα από αυτές που θα βίωνε ένας μαθητής σε μία σχολική αίθουσα (Trindade et al., 2002). Η ΕΠ δίνει δυνατότητες επίλυσης προβλημάτων που αντιμετωπίζει η παραδοσιακή διδασκαλία και σχετίζονται με τις φυσικές επιστήμες (Mikropoulos & Natsis, 2011). Ακόμη, χάρη στην τρισδιάστατη απεικόνιση που παρέχει, βοηθάει τη διδασκαλία στις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η πραγματική αναπαράσταση του περιεχομένου ενός μαθήματος. Για παράδειγμα, κατά τη διδασκαλία του ηλεκτρομαγνητισμού είναι πολύ δύσκολη η περιγραφή αφηρημένων εννοιών, όπως η ηλεκτρική δύναμη ως μία αόρατη δύναμη που ενεργεί από απόσταση ή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που διαπερνά τον φυσικό χώρο (Ilie et al., 2019). Ένα άλλο παράδειγμα αφορά τα Μαθηματικά. Οι Hwang και Hu (2013) πρότειναν ότι η χρήση ενός συνεργατικού εικονικού περιβάλλοντος πλεονεκτεί σε σύγκριση με την παραδοσιακή διδασκαλία στην εκμάθηση γεωμετρικών εννοιών. Αντίστοιχα, η Roussou (2009) και οι Roussou et al., (2006) εξέτασαν τα αποτελέσματα αναφορικά με τη σύγκριση κλασμάτων, χρησιμοποιώντας μία "εικονική παιδική χαρά" σε ένα σύστημα CAVE.

- Σπάσιμο των ορίων της πραγματικότητας. Για παράδειγμα, μπορεί να κατασκευαστούν εφαρμογές όπου μεταβάλλεται η βαρύτητα ή η ταχύτητα του φωτός (Dede et al., 1997).
- Παροχή υψηλής ποιότητας και πειστικών μαθησιακών εμπειριών (Sundar et al., 2013), σε έναν ευρύ πληθυσμό εκπαιδευόμενων, οι οποίοι δεν βρίσκονται με φυσική παρουσία στο ίδιο περιβάλλον, εξαιτίας είτε περιορισμένου χώρου είτε γεωγραφικών περιορισμών είτε έκτακτων καταστάσεων (Hutchins, 2003) είτε εξαιτίας καταστάσεων δαπανηρών ή επικίνδυνων (Dalgarno & Lee, 2010). Ένα παράδειγμα είναι οι εικονικές επισκέψεις (Lin et al., 2013) και οι εικονικές εκδρομές (Çaliskan, 2011).
- Ανάπτυξη της δημιουργικότητας των χρηστών, ενώ, παράλληλα, μπορεί να βοηθήσει στην έρευνα και την παραγωγή υλικού (όπως, καλλιτεχνική έκφραση, διαμοιρασμός έργων, συνεργασία εκπαιδευτή-εκπαιδευόμενων), δηλαδή παιδαγωγικά οφέλη που ξεπερνούν τα αντίστοιχα συμβατικά εργαλεία (So & Lu, 2019).
- Έλεγχος πρότερων αντιλήψεων σε εικονικά μοντέλα (Pan et al., 2006).
- Ενεργή συμμετοχή στη μάθηση (Mikropoulos & Natsis, 2011). Ένα παράδειγμα αυτού είναι η χειρουργική εκπαίδευση. Μία σχετική ανασκόπηση τονίζει τον τρόπο με τον οποίο η ΕΠ χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στην εκπαίδευση νευροχειρουργικής (Alaraj et al., 2011) και ιδανικά σε συνδυασμό με μία απτική διεπαφή (Müns et al., 2014).
- Προσαρμογή του υλικού στις ανάγκες των μαθητών (Lee & Wong, 2008).
- Αποβολή του άγχους των μαθητών (Ilie et al., 2019), δηλαδή η ΕΠ λειτουργεί ως αγχολυτικό για εκείνους που όταν εμπλέκονται σε μία φυσική δραστηριότητα ανησυχούν για την επίδοσή τους και την άποψη των άλλων για την επίδοσή τους.
- Ενθάρρυνση των εκπαιδευτικών για εναλλακτικούς τρόπους διδασκαλίας (Pan et al., 2006). Οι Bailenson et al. (2008) ασχολήθηκαν με τη μετάδοση της διδασκαλίας και όχι με το περιεχόμενο. Κατέληξαν στο ότι σε μία εικονική τάξη είναι δυνατόν να οργανωθεί ένα συνεργατικό εικονικό περιβάλλον στο οποίο ο μαθητής να είναι στο κέντρο της προσοχής. Επιπλέον, εικονικοί συμμαθητές θα μπορούσαν να αναλάβουν τον ρόλο του μαθητή-πρότυπου, με θετικά μαθησιακά αποτελέσματα. Οι Bailenson και Beall (2006) αναφέρθηκαν σε αυτό το είδος της τεχνικής ως "μετασχηματισμένη κοινωνική αλληλεπίδραση".

### 6.3. Παράγοντες της ΕΠ που επηρεάζουν τη μάθηση

Διάφορα χαρακτηριστικά (παράγοντες) θεωρούνται σημαντικά για την εμπειρία που βιώνει κάποιος σε περιβάλλοντα ΕΠ, τρία, ωστόσο, φαίνεται πως παίζουν σημαντικό ρόλο, η εμπύθιση, η παρουσία και η αλληλεπίδραση, όπως φάνηκε και από προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο "3. Τα βασικά χαρακτηριστικά της Εικονικής Πραγματικότητας"). Τα παραπάνω χαρακτηριστικά φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόκτηση γνώσεων είτε σε συνθήκες τυπικής μάθησης (Dalgarno et al., 2011· Fokides & Zamprouli, 2017· Skulmowski & Rey, 2018) είτε άτυπης (Fokides & Atsikpasi, 2018· Petrakou, 2010).

Βέβαια, έχουν αναδειχθεί και άλλα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν μία εικονική εμπειρία, όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια. Μάλιστα, σχεδόν -αν όχι όλα- περιλαμβάνονται σε πολλές μελέτες που αξιοποιούν το μοντέλο Αποδοχής της Τεχνολογίας (Davis et al., 1989), το οποίο προσπαθεί να ερμηνεύσει τις προθέσεις των ανθρώπων να χρησιμοποιούν τεχνολογικά εργαλεία, καθώς και σε μοντέλα σχετικά με την ΕΠ (Lee et al., 2010).

### *Εμβύθιση και μάθηση*

Σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο "3.2. Η εμβύθιση") φάνηκε ότι η αίσθηση της εμβύθισης των χρηστών σε ένα εικονικό περιβάλλον εξαρτάται από το αν αυτό είναι πλήρες αισθητηριακά, δηλαδή αν οι πληροφορίες που παρέχει στους συμμετέχοντες προσομοιάζουν αυτές του πραγματικού. Πράγματι, όταν συμβαίνει αυτό, τότε οι χρήστες αισθάνονται εμβυθισμένοι στην εμπειρία του εικονικού περιβάλλοντος και ως επακόλουθο υπάρχει θετικός αντίκτυπος στη μάθηση (Mikropoulos, 2006· Mikropoulos & Bellou 2006), επιτυγχάνονται καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα, και υψηλότερες αποδόσεις συγκριτικά με τη συμβατική διδασκαλία (Cheng et al., 2015· De Lucia et al., 2009).

Ακόμη, η εμβύθιση σε ένα εικονικό περιβάλλον μπορεί να βελτιώσει τη μάθηση με τρεις τρόπους καθώς: (α) παρέχει πολλαπλές οπτικές, (β) πλαισιώνει θεματικά (contextualise) ένα περιβάλλον και (γ) υποστηρίζει τη δυνατότητα μεταφοράς (transferability) της γνώσης που έχει αποκτηθεί (Dede, 2009). Για παράδειγμα, η απτική εμβύθιση υποστηρίζει τη μάθηση των χρηστών σε ένα εικονικό περιβάλλον, και, συγκεκριμένα, σχετίζεται περισσότερο με την εκμάθηση δεξιοτήτων (Adams, 2004), όπως κατά την εκπαίδευση νοσηλευτικού προσωπικού όπου είναι απαραίτητη η εξοικείωση με τον τρόπο χορήγησης φαρμάκου σε ενέσιμη μορφή (Worrall & Hutchinson, 2014). Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, χρησιμοποιούνται ειδικά γάντια ΕΠ ή χειριστήρια. Αντίστοιχα, η στρατηγική εμβύθιση σε έναν εικονικό κόσμο, η οποία έχει πνευματικό χαρακτήρα, βοηθάει την ανάπτυξη δεξιοτήτων των εκπαιδευόμενων όπως η ομαδική συνεργασία, η επικοινωνία και η λήψη αποφάσεων (Adams, 2004· Ergi & Mayra, 2005), για παράδειγμα, στην επιτυχή διαχείριση ενός κινδύνου (Worrall & Hutchinson, 2014). Η συναισθηματική εμβύθιση κάνει τους χρήστες να εμπλακούν συναισθηματικά με το περιεχόμενο της εικονικής εμπειρίας (Bjork & Holopainen, 2004), κάτι που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μάθηση. Ειδικότερα, μέσα στον εικονικό κόσμο μπορεί να καλλιεργηθεί στους χρήστες η ενσυναίσθηση, κάτι που βελτιώνει τις δεξιότητές τους. Για παράδειγμα, οι πυροσβέστες, όταν εμπλέκονται σε ένα σενάριο όπου ένα άτομο βρίσκεται κάπου παγιδευμένο, πέρα από το ότι μαθαίνουν να διαχειρίζονται επείγουσες καταστάσεις, εμπλέκονται και συναισθηματικά, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να μεταφέρουν αυτήν την εμπειρία στην πραγματική ζωή (Engelbrecht et al., 2019). Άλλο ένα είδος εμβύθισης που ενισχύει τη μάθηση σε ένα εικονικό περιβάλλον είναι η αφηγηματική, καθώς έχει την ιδιότητα να "περικλείει" τους εκπαιδευόμενους στην πλοκή της ιστορίας (Adams, 2004). Ένα παράδειγμα είναι όταν οι χρήστες βιώνουν πολύ ζωντανά την εικονική εμπειρία, χάρη στην αφήγηση και την εμπλοκή με τους χαρακτήρες, με θετική επίπτωση στα γνωστικά αποτελέσματα (Worrall & Hutchinson, 2014).

### *Παρουσία και μάθηση*

Σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο "3.3. Η παρουσία"), έγινε αποσαφήνιση της έννοιας της παρουσίας ως της υποκειμενικής αίσθησης των χρηστών ότι βρίσκονται μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον, έχοντας την ψευδαίσθηση της μη διαμεσολάβησης (Bulu, 2012). Δηλαδή, η αίσθηση της παρουσίας σε μία εμπειρία ΕΠ κάνει τους χρήστες να έχουν την ψευδαίσθηση ότι μεταξύ των ίδιων και της εμπειρίας δεν παρεμβάλλεται τίποτε (κυρίως όταν χρησιμοποιούνται HMDs, χειριστήρια και συσκευές εισόδου/εξόδου), ότι βιώνουν κάτι πραγματικό. Ως αποτέλεσμα, τα εικονικά περιβάλλοντα δημιουργούν βιωματικές εμπειρίες στους χρήστες, (λόγω της αίσθησης της παρουσίας), με αποτέλεσμα τη μάθηση (ενδεικτικά, Bulu, 2012· Lee et al., 2010). Όσο πιο έντονη είναι η αίσθηση της παρουσίας στους χρήστες, τόσο πιο καλά είναι τα μαθησιακά αποτελέσματα που επιτυγχάνονται (Rupp et al., 2019).

Ένα από τα είδη παρουσίας που φαίνεται να επιδρά στα μαθησιακά αποτελέσματα, είναι η κοινωνική παρουσία. Αφορά την αλληλεπίδραση των συμμετεχόντων με (τεχνητούς) κοινωνικούς χαρακτήρες που μοιάζουν αληθινού ή με τις αναπαραστάσεις άλλων ανθρώπων (avatars) που έχουν συνδεθεί στο ίδιο εικονικό περιβάλλον (Lee, 2004). Μάλιστα, αυτοί οι χαρακτήρες μπορούν να δημιουργηθούν και μέσω τεχνητής νοημοσύνης για την κατάρτιση/εξάσκηση επαγγελματιών σχετικά με δεξιότητες όπως τη λήψη αποφάσεων και τη δράση σε επείγουσες καταστάσεις (Sharma et al., 2017). Επιπλέον, και οι Greenwald et al. (2017) κατέληξαν στο ότι το να συν-υπάρχει και να μοιράζεται κάποιος τον ίδιο χώρο με άλλα άτομα, μπορεί να ωφελήσει την εκπαίδευση και την κατάρτισή του. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κοινωνική παρουσία που νιώθει κάποιος στην ΕΠ, σχετίζεται και με τη διττή έννοια της συγχρονικότητας (Dennis & Valacich, 1999). Από τη μία αφορά τους εκπαιδευόμενους, οι οποίοι όλοι μαζί συμμετέχουν στην ίδια δραστηριότητα, με το ίδιο περιεχόμενο, και, από την άλλη, η συγχρονικότητα αφορά τα ίδια τα μέσα, δηλαδή τη δημιουργία της εντύπωσης ότι όλοι μαζί επεξεργάζονται ένα θέμα, έχοντας κοινούς στόχους (Carlson & George, 2004).

Ακόμη, έχει αναδειχθεί ότι οι χωρικές εμπειρίες σε εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να έχουν θετική επίδραση στη γνώση που αυτή μεταφέρεται και εφαρμόζεται στον πραγματικό κόσμο (Choi & Hannafin, 1995). Στην ΕΠ αυτό συμβαίνει γιατί οι συμμετέχοντες νιώθουν ότι υπάρχουν σε ένα περιβάλλον που μοιάζει αληθινό (Schubert et al., 2001). Αντίστοιχα, ο Schultze (2010) θεώρησε ότι όσο πιο υψηλή είναι η χωρική παρουσία που νιώθουν οι χρήστες, τόσο περισσότερο απορροφώνται και εμπλέκονται συναισθηματικά με το εικονικό περιβάλλον. Για παράδειγμα, για την ευαισθητοποίηση των μαθητών σχετικά με την αποψίλωση των δασών, η ανάγνωση ενός εντύπου με πληροφορίες δεν μπορεί να τους "πείσει" το ίδιο, σε σύγκριση με την εμπειρία όπου προσομοιώνεται η κοπή δένδρων (Ahn et al., 2014). Αντίστοιχα, όταν οι τα άτομα βλέπουν ένα τροχαίο ατύχημα ή ένα παρ' ολίγον ατύχημα σε έναν εικονικό κόσμο, ευαισθητοποιούνται, τους προκαλούνται συναισθηματικές αντιδράσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει θετική επίδραση στη μάθησή τους σχετικά με την οδική συμπεριφορά (Sheridan, 2016). Έτσι, τα έντονα συναισθήματα (Diemer et al., 2015) και οι αντίστοιχες συναισθηματικές εμπειρίες μπορούν να οδηγήσουν στη συγκρότηση πιο λεπτομερειακών αναμνήσεων (Adelman & Estes, 2013), όπου η εμπειρία μετατρέπεται σε γνώση και μεταφέρεται στη μακρόχρονη μνήμη. Παράλληλα, η χωρική παρουσία ενθαρρύνει τους μαθητές να αλληλεπιδρούν ενεργά με το (εικονικό) περιβάλλον και να μειώνουν τη γνωστική προσπάθεια επεξεργασίας πληροφοριών του περιβάλλοντος. Θα μπορούσε να λεχθεί ότι τα παραπάνω κάνουν τους εκπαιδευόμενους να φτάνουν στο σημείο ώστε να δρουν διαισθητικά, χωρίς να σκέφτονται αρκετά προτού πράξουν (με φυσικό τρόπο).

Ωστόσο, όταν οι συμμετέχοντες νιώθουν αυτοπαρουσία (όντας μόνοι τους) σε ένα εικονικό περιβάλλον, τότε έχει φανεί ότι επιτυγχάνονται χαμηλότερα μαθησιακά αποτελέσματα, συγκριτικά με εκείνα που πετυχαίνει η κοινωνική παρουσία (Selverian & Hwang, 2003). Όμως, χρειάζεται κάποια προσοχή, καθώς έχει βρεθεί ότι η αυξημένη αίσθηση της παρουσίας έχει ως συνέπεια τη δημιουργία υψηλού γνωστικού φορτίου και την παρακώλυση της μάθησης (Makransky et al., 2017). Άρα, θα πρέπει να υπάρξει κάποια ισορροπία μεταξύ της γνώσης και της αίσθησης της παρουσίας, ώστε να προκύπτει τελικά όφελος για τους εκπαιδευόμενους.

#### *Αλληλεπίδραση και μάθηση*

Η αλληλεπίδραση σε ένα εικονικό περιβάλλον, όπως αναδείχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο "3.4. Η αλληλεπίδραση"), είναι η -όσο το δυνατόν- πιο φυσική επικοινωνία και η σύνδεση

μεταξύ χρηστών και εικονικού περιβάλλοντος (Burdea & Coiffet, 2003). Όταν οι χρήστες εμπλέκονται σε αλληλεπιδραστικά συστήματα μάθησης με τρισδιάστατα εικονικά αντικείμενα, από παθητικοί παρατηρητές γίνονται ενεργοί στοχαστές (Trindade et al., 2002). Φαίνεται ότι αυτό το χαρακτηριστικό της ΕΠ παίζει ρόλο στη μάθηση των χρηστών, καθώς τους δημιουργεί διαδραστικές και βιωματικές μαθησιακές εμπειρίες, οι οποίες έρχονται σε αντίθεση με την -συνήθως- παθητική μάθηση της παραδοσιακής διδασκαλίας (Cheung et al., 2013· Ferracani et al., 2014· Zhou et al., 2018).

Στην ΕΠ υλοποιούνται δύο βασικοί τύποι αλληλεπίδρασης. Ο πρώτος τύπος είναι η ενεργή αλληλεπίδραση (active interaction) που προκαλείται από τους χρηστές προς το σύστημα με ειδικά χειριστήρια που τους επιτρέπουν να επιλέξουν κάποιο αντικείμενο ή να ενεργοποιήσουν κάποια αλληλουχία γεγονότων (Ferguson et al., 2020). Ο δεύτερος τύπος είναι η ενσώματη αλληλεπίδραση (embodied interaction) που παρέχει τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσει το (φυσικό) σώμα κάποιου με το εικονικό περιβάλλον, για παράδειγμα, με χειρονομίες (Hartson & Pyla, 2012). Για τον τελευταίο τύπο αλληλεπίδρασης θα γίνει λόγος σε επόμενο κεφάλαιο, καθώς σχετίζεται περισσότερο με την ΠΕΕΠ (βλ. Κεφάλαιο "7. Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα και μάθηση"). Όσον αφορά την ενεργή αλληλεπίδραση, αξίζει να σημειωθεί ότι οι χρήστες που περιηγούνται ελεύθερα και ενεργά σε έναν εικονικό χώρο επηρεάζονται θετικά, καθώς αυξάνεται το γνωστικό ενδιαφέρον τους, αλλά και η αίσθηση της παρουσίας που νιώθουν (Ferguson et al., 2020).

Ωστόσο, πέρα από την ελεύθερη περιήγηση σε ένα εικονικό περιβάλλον, έχει βρεθεί ότι και η καθοδήγηση των εκπαιδευόμενων κατά τη διάρκεια μίας παρέμβασης μπορεί να δώσει καλά μαθησιακά αποτελέσματα (Toru & Goktas, 2019). Ειδικότερα, έχει φανεί ότι η παθητική αλληλεπίδραση, για παράδειγμα μία καθοδηγούμενη περιήγηση, αυξάνει περισσότερο την αποτελεσματικότητα της μάθησης ως προς την ανάκληση και τη διατήρηση της γνώσης (Ferguson et al., 2020), συγκριτικά με την ενεργή αλληλεπίδραση. Τίθεται το ζήτημα του αν ο εκπαιδευτικός επιθυμεί να παράγει ένα υλικό που θα υλοποιεί ελεύθερη περιήγηση ή θα επιλέξει μία πιο καθοδηγούμενη προσέγγιση. Σε αυτό το δίλλημα, πιθανότατα, τη λύση να έδινε η επιλεκτική (όπου χρειάζεται) υποστήριξη των εκπαιδευόμενων (Shute et al., 2017).

#### *Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μάθηση στην ΕΠ*

Πέρα από τους παραπάνω παράγοντες, μπορούν να αναφερθούν και οι εξής παράγοντες για τους οποίους έχει υπάρξει αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον αναφορικά με τη μάθηση σε εικονικά περιβάλλοντα (Sekhar et al., 2018):

- **Εμπλοκή.** Η εμπλοκή, ως όρος, έχει συσχετιστεί με την άμεση σύνδεση χρήστη-υλικού, η οποία μπορεί να περιγραφεί και ως σχέση εξάρτησης (McMahan, 2003), καθώς και ως η συναισθηματική δέσμευση με συγκεκριμένο αντικείμενο ή προϊόν (Mollen & Wilson, 2010). Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η εμπλοκή σχετίζεται με ενεργές, στοχευμένες, ευέλικτες και εποικοδομητικές αλληλεπιδράσεις με κοινωνικά και φυσικά περιβάλλοντα (Furrer & Skinner, 2003). Η εμπλοκή σε εικονικά περιβάλλοντα αφορά την κατάσταση κατά την οποία τα άτομα εμπλέκονται ενεργά με το υλικό με πρωτόγνωρους για αυτούς τρόπους (Trindade et al., 2002). Φαίνεται ότι υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της αλληλεπίδρασης και της εμπλοκής, μιας και υπάρχει αυξημένη εμπλοκή των συμμετεχόντων σε κιναισθητικά μαθησιακά περιβάλλοντα (Lindgren et al., 2016). Επιπλέον, σύμφωνα με τους Antonacci και Modares (2005) ένα εικονικό περιβάλλον μπορεί να αυξήσει την εμπλοκή των χρηστών και ως επακόλουθο οι ίδιοι να

αναπτύξουν υψηλότερου επιπέδου γνωστικές δεξιότητες, όπως ανάλυση, αξιολόγηση και επίλυση προβλημάτων.

- **Ρεαλισμός.** Από τεχνική άποψη, ο ρεαλισμός μίας εφαρμογής ποικίλλει ανάλογα με το πόσο λεπτομερή είναι τα εικονικά αντικείμενα και, γενικότερα, πόσο η συμπεριφορά τους προσομοιάζει των πραγματικών. Βέβαια, θεωρείται και υποκειμενικό χαρακτηριστικό, καθώς τα άτομα τον αντιλαμβάνονται με διαφορετικό τρόπο. Ακόμη, έχει φανεί ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην εμπειρία και τη μάθηση των χρηστών κατά τη εμπλοκή τους με εικονικά περιβάλλοντα (Dalgarno & Lee, 2010· Lee et al., 2010). ουσιαστικά, οι τρισδιάστατες αναπαραστάσεις διευκολύνουν τη μάθηση των χρηστών (Harrington, 2012).
- **Ευκολία χρήσης.** Η ευκολία χρήσης είναι, επίσης, ένας σημαντικός παράγοντας που επιδρά στο κατά πόσο τα άτομα αποδέχονται τη χρήση ενός τεχνολογικού εργαλείου (Davis et al., 1989). Βασικά στοιχεία που θα πρέπει να έχει ένα εικονικό περιβάλλον για να χαρακτηριστεί ως εύκολο στη χρήση είναι ο εύκολος εντοπισμός του θέματος, οι σαφείς οδηγίες, καθώς και ο εύκολος χειρισμός του από τους χρήστες (Fokides, 2017b). Ακόμη, η ευκολία χρήσης και η εμπύθιση - συνδυαστικά- μπορούν να επηρεάσουν θετικά τις αντιληπτές γνωστικές λειτουργίες των εκπαιδευόμενων στους εικονικούς κόσμους (Chen, 2016).
- **Χρησιμότητα.** Η χρησιμότητα, σε αυτήν την περίπτωση, είναι η αντίληψη που έχει κάποιος ότι το τεχνολογικό εργαλείο που χρησιμοποιεί διευκολύνει τη μάθησή του. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της ΕΠ, είναι ο βαθμός που τα άτομα πιστεύουν ότι τα εικονικά περιβάλλοντα διευκολύνουν τη μαθησιακή διαδικασία και ενισχύουν την παραγωγικότητα και τις επιδόσεις τους, συγκριτικά με άλλες μεθόδους διδασκαλίας (Fokides & Atsikrasi, 2018). Αξίζει να αναφερθεί ότι, για να θεωρηθεί ένας εικονικός κόσμος χρήσιμος από τους χρήστες, θα πρέπει να τους παρέχει δυνατότητες όπως η ευκολία χρήσης, αλλά το αίσθημα της ευχαρίστησης (Tokel & Isler, 2015). Ως προς την επίδραση της χρησιμότητας στη μάθηση, έχει βρεθεί ότι επηρεάζει τα γνωστικά αποτελέσματα όταν χρησιμοποιούνται εργαλεία των ΤΠΕ (Hong & Tam, 2006), μεταξύ αυτών και η ΕΠ (Fokides, 2017b), έχοντας ως σκοπό που σχετίζεται, κατά κύριο λόγο, με εκμάθηση δεξιοτήτων (Lee et al., 2010).
- **Ευχαρίστηση.** Μελέτες έχουν δείξει ότι τα θετικά συναισθήματα συμβάλλουν σημαντικά στην απόκτηση γνώσεων (Gulikers et al., 2005· Park et al., 2015). Η αρνητική ή η θετική διάθεση των χρηστών εμποδίζει ή, αντίστοιχα, προωθεί τη μάθηση (Brand et al., 2007). Μάλιστα, έχοντας αρνητική διάθεση, οι χρήστες καταβάλλουν μεγαλύτερη προσπάθεια για την εκτέλεση μίας εργασίας που απαιτεί γνωστική επεξεργασία. Κατ' αντιστοιχία με άλλα τεχνολογικά εργαλεία, η διασκέδαση, η ψυχαγωγία και, γενικότερα, η ευχαρίστηση που νιώθει ο χρήστης σε ένα εικονικό περιβάλλον, μπορεί να προσδιοριστεί με βάση το κατά πόσο αυτός θεωρεί ότι αυτό που βιώνει είναι μία ευχάριστη εμπειρία (Ducoffe, 1996). Για παράδειγμα, τα παιχνιδικά χαρακτηριστικά σε ένα εικονικό περιβάλλον μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένα επίπεδα διασκέδασης και απόλαυσης, και, με τη σειρά τους, σε αυξημένα κίνητρα για μάθηση ή σε απόκτηση γνώσεων (Fokides & Zamprouli, 2017· McLellan, 2004).
- **Κίνητρα για μάθηση.** Οι σύγχρονες γνωστικές θεωρίες θεωρούν τα κίνητρα για τη μάθηση ως ένα μη στατικό χαρακτηριστικό, αλλά ως ένα στοιχείο εγγενώς ασταθές και ευαίσθητο στον τρόπο που παρουσιάζεται το περιεχόμενο (Linnenbrink & Pintrich, 2002). Οι ερευνητές πιστεύουν ότι η τρισδιάστατη απεικόνιση των αντικειμένων στην ΕΠ, η αλληλεπίδραση των συμμετεχόντων με τα αντικείμενα και ο αυξημένος έλεγχος που έχει ο χρήστης σε αυτό που επιλέγει να δει, μπορούν να επηρεάσουν τα κίνητρα και, ως εκ τούτου, τη μάθησή του (Fokides, 2017a· Fokides & Zamprouli, 2017· McLellan, 2004). Επίσης, έχει αναδειχθεί ότι τα τρισδιάστατα μαθησιακά περιβάλλοντα

μπορούν να αυξήσουν τα κίνητρα και την εμπλοκή των εκπαιδευόμενων, πολύ περισσότερο από ότι περιβάλλοντα δύο διαστάσεων (Limniou et al., 2008). Για παράδειγμα, σε έρευνα φάνηκε ότι η ΕΠ προωθεί τα κίνητρα και το ενδιαφέρον των μαθητών για την εκμάθηση 3D Animation (Ho et al., 2019).



# Κεφάλαιο 7. Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα και μάθηση



Τα βασικά χαρακτηριστικά/παράγοντες της ΕΠ φάνηκε ότι επηρεάζουν τα μαθησιακά αποτελέσματα (βλ. Κεφάλαιο "6. Εικονική Πραγματικότητα και μάθηση"). Αυτοί οι παράγοντες προφανώς υπάρχουν και στην ΠΕΕΠ, όμως, σε αυτήν την περίπτωση, έχουν μεγαλύτερη ένταση και ασκούν μεγαλύτερη επιρροή στους χρήστες. Ο λόγος βρίσκεται στη φύση του μέσου που χρησιμοποιείται, καθώς, με βάση την ταξινόμια που υιοθετήθηκε, η ΠΕΕΠ προκύπτει από τη χρήση των 6DoF HMDs.

Σε γενικές γραμμές, οι μελέτες έχουν εξετάσει το κατά πόσο η ΠΕΕΠ μπορεί να επιφέρει θετικά μαθησιακά αποτελέσματα σε ποικίλα γνωστικά αντικείμενα και σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης, αλλά και το εάν μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη εξειδικευμένων δεξιοτήτων, για παράδειγμα, στη ρομποτική χειρουργική (Bric et al., 2016). Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι υπάρχει ένα αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για την εκπαιδευτική χρήση της ΠΕΕΠ, καθώς τα τελευταία χρόνια, εξετάζονται, μεταξύ άλλων, τα παρακάτω (Muhanna, 2015· Papadakis et al., 2011· Shaw, Wünsche, Lutteroth, Marks, Buckley, & Corballis, 2015· Slater et al., 2007):

- Η δημιουργία ή όχι θετικών εμπειριών.
- Η αποτελεσματικότητα της μάθησης.
- Ο βαθμός της αίσθησης της εμπύθισης.
- Ο βαθμός της αίσθησης της παρουσίας.
- Ο βαθμός της αίσθησης της ενσώματης γνώσης (embodiment).
- Η αύξηση της απόλαυσης και των κινήτρων.
- Η ελαχιστοποίηση του λανθάνοντα χρόνου.
- Η διαισθητική αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον (intuitive interaction).
- Ο βαθμός που επηρεάζεται η αντίληψη του ατόμου στο εικονικό περιβάλλον (perceptual awareness).

Με τα 6DoF HMDs, οι χρήστες είναι ελεύθεροι από εξωτερικούς περισπασμούς και εμβυθίζονται πλήρως στο εικονικό περιβάλλον (Falah et al., 2014). Πράγματι, σειρά ερευνών επιβεβαίωσε ότι η εμπύθιση (και η παρουσία) που βιώνει ένας χρήστης με τα HMDs είναι αυξημένες (McKenzie et al., 2019· Passig et al., 2016· Rupp et al., 2016). Η εμπύθιση μαζί με τα πλούσια οπτικοακουστικά ερεθίσματα, προσφέρει τελικά μοναδικές εμπειρίες στους χρήστες, που υπερέχουν από άλλα είδη ΕΠ και, φυσικά, από τη συμβατική διδασκαλία (Fowler, 2015· Freina & Ott, 2015· Olmos et al., 2018). Για παράδειγμα, σε έρευνα για τη διδασκαλία στοιχείων μηχανικής έγινε σύγκριση της παραδοσιακής διδασκαλίας με δύο εμβυθιστικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Alhalabi, 2016). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συμμετέχοντες έμαθαν περισσότερα σχετικά με την Αστρονομία, τις μεταφορές και τα δίκτυα με την ΠΕΕΠ, σε σύγκριση με την παραδοσιακή διδασκαλία. Ανάλογα αποτελέσματα είχε και έρευνα του Webster (2016) συγκρίνοντας τη μέθοδο της διάλεξης με την ΠΕΕΠ ως προς την απόκτηση γνώσης σχετικά με την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση και με θέμα τη διάβρωση του εδάφους. Φάνηκε οι συμμετέχοντες έμαθαν περισσότερα σχετικά με τη θεωρία, τις αρχές και για την πρόληψη της διάβρωσης με την ΠΕΕΠ σε σύγκριση με την απλή διάλεξη.

Στην ΠΕΕΠ, πέρα από την εμπύθιση, προκαλείται και η αίσθηση της παρουσίας (Falah et al., 2014). Ως αποτέλεσμα, υπάρχει περισσότερη εμπλοκή με το γνωστικό αντικείμενο, πιο καλή ανάκληση πληροφοριών και αυξημένη επίγνωση του εικονικού χώρου (Papadakis et al., 2011). Επιπλέον, οι χρήστες που νιώθουν ότι βρίσκονται μέσα σε έναν εικονικό χώρο που αφορά απόκτηση δεξιοτήτων, υπάρχει πιθανότητα να μεταφέρουν αυτά που έμαθαν και στον πραγματικό κόσμο (Ahn et al., 2014).

Η αλήθεια ωστόσο είναι ότι δεν φαίνεται να υπάρχει ξεκάθαρη σύνδεση μεταξύ της παρουσίας και των μαθησιακών αποτελεσμάτων σε περιβάλλοντα ΠΕΕΠ. Για παράδειγμα, οι Moreno και Mayer (2002) σύγκριναν τα αποτελέσματα από τη χρήση περιβαλλόντων ΠΕΕΠ με την επιτραπέζια ΕΠ, για τη διδασκαλία στοιχείων βοτανικής. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η ΠΕΕΠ δεν αύξησε τη μάθηση, αλλά την αίσθηση της παρουσίας. Ομοίως, σε μία άλλη έρευνα σε φοιτητές της ιατρικής διαπιστώθηκε ότι δεν επιτυγχάνονται καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα στο μάθημα της νευροανατομίας κατά τη χρήση ΗΜDs, 3D βίντεο και κατά την αλληλεπίδραση με ένα 3D μοντέλο του ανθρώπινου εγκεφάλου, σε σύγκριση με την ανάγνωση βιβλίων στο Διαδίκτυο για το ίδιο χρονικό διάστημα (Stapan et al., 2017).

Οι Makransky et al. (2017) κατέληξαν ότι η ΠΕΕΠ ναι μεν οδήγησε σε μεγαλύτερη αίσθηση της παρουσίας, αλλά τα γνωστικά αποτελέσματα δεν ήταν ιδιαίτερα καλά, λόγω του αυξημένου γνωστικού φορτίου που προκάλεσε στους χρήστες. Φάνηκε ότι η έρευνά τους έρχεται σε συμφωνία με άλλες που μέτρησαν τη γνωστική υπερφόρτωση λόγω της ΠΕΕΠ (Gerjets et al., 2014· Mills et al., 2017).

Ακόμη, οι Makransky και Lilleholt (2018), εξέτασαν αν υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στην ΠΕΕΠ και την επιτραπέζια ΕΠ και αν το διαφορετικό επίπεδο εμπύθισης σε έναν εικονικό κόσμο επηρεάζει τα μαθησιακά αποτελέσματα. Το δείγμα αποτελούταν από φοιτητές και δόθηκαν δύο ερωτηματολόγια (το πρώτο διερευνούσε πρότερες γνώσεις και το δεύτερο παράγοντες που επηρεάζουν τη μάθηση). Φάνηκε πως οι χρήστες προτιμούσαν να χρησιμοποιούν περισσότερο την ΠΕΕΠ έναντι της επιτραπέζιας ΕΠ και οι παράγοντες που βρέθηκε πως παίζουν περισσότερο ρόλο στη μάθηση είναι η παρουσία και τα κίνητρα. Και πάλι, όμως, δεν υπήρξαν διαφορετικά αποτελέσματα σε γνωστικό επίπεδο.

Οι North και North (2016) διερεύνησαν τους παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της αίσθησης της παρουσίας σε παραδοσιακά περιβάλλοντα και σε περιβάλλοντα ΠΕΕΠ. Διεξήγαγαν δύο πειράματα με θέμα την προσομοίωση πτήσης ενός αεροπλάνου. Η ανάλυση έδειξε μία στατιστικά σημαντική διαφορά σχετικά με την αίσθηση παρουσίας των συμμετεχόντων μεταξύ των δύο περιβαλλόντων. Ειδικότερα, είχαν υψηλότερη αίσθηση παρουσίας με την ΠΕΕΠ συγκριτικά με την παραδοσιακή μέθοδο, γεγονός που οδήγησε σε μία πλουσιότερη μαθησιακή εμπειρία μέσω της ΠΕΕΠ. Εντούτοις, τα γνωστικά αποτελέσματα δεν ήταν διαφορετικά ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα.

Πέρα από το γεγονός ότι τα περισσότερα είδη αλληλεπίδρασης που επηρεάζουν τη μάθηση στην ΕΠ, επηρεάζουν τη μάθηση και στην ΠΕΕΠ, ένα είδος αλληλεπίδρασης που έχει ιδιαίτερο αντίκτυπο στα μαθησιακά αποτελέσματα στη δεύτερη περίπτωση είναι η ενσώματη αλληλεπίδραση.

Η θεωρία της ενσώματης γνώσης υποστηρίζει ότι η γνώση (εννοώντας υψηλού επιπέδου διανοητικές δομές όπως έννοιες και κατηγορίες, αλλά και επιδόσεις σε διάφορα γνωστικά έργα όπως η κατανόηση εννοιών ή η κριτική ικανότητα) αποκτιέται/διαμορφώνεται μέσα από δράσεις του σώματος (που αφορούν το κινητικό και αντιληπτικό σύστημα, αλλά και τις σωματικές αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον) (Wilson & Foglia, 2011). Αυτό γιατί θεωρεί πως όταν δραστηριότητες και διεργασίες πραγματοποιούνται με το σώμα, παρέχεται η εννοιολογική βάση πάνω στην οποία κατασκευάζεται η νέα γνώση (Lindgren et al., 2016). Δηλαδή, σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, όταν τα άτομα ασχολούνται με χειροπιαστά-φυσικά αντικείμενα, τότε επηρεάζεται ο τρόπος που σκέφτονται για αυτά (Lakoff & Johnson, 1999· Lakoff & Núñez, 2000). Η ενσώματη αλληλεπίδραση σχετίζεται με την απτική

αλληλεπίδραση που δημιουργείται ανάμεσα στους χρήστες και τα αντικείμενα (για παράδειγμα χειριστήρια ή ηλεκτρονική πένα), στα οποία έχει περιληφθεί απτική ανάδραση (Ishii & Ullmer, 1997).

Έτσι, μπορεί να υποθεθεί ότι επιτυγχάνονται καλά μαθησιακά αποτελέσματα σε ένα σύστημα ΠΕΕΠ, χάρη στην ενσώματη αλληλεπίδραση των χρηστών με το εικονικό περιβάλλον. Πράγματι, έχει φανεί ότι η σωματική δραστηριότητα βελτιώνει τα μαθησιακά αποτελέσματα (Skulmowski & Rey, 2018), δηλαδή η αλληλεπίδραση του εικονικού συστήματος με ολόκληρο το σώμα του ατόμου και η πολυτροπικότητα που παρέχεται από ένα εικονικό περιβάλλον μπορούν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα της μάθησης (Dalgarno & Lee, 2010· Fowler, 2015). Η ενσώματη αλληλεπίδραση φαίνεται πως ενισχύει -ταυτόχρονα- την εμπλοκή και τη μάθηση στα εικονικά περιβάλλοντα (Lindgren et al., 2016), αναδεικνύοντας την άμεση σχέση μεταξύ δράσης και μάθησης (Wilson & Foglia, 2011). Η φυσική αλληλεπίδραση με εικονικά αντικείμενα βελτιώνει την ανάγνωση και τη γραφή, την απομνημόνευση (Kiefer & Trumpp, 2012), την κατανόηση αφηρημένων εννοιών (Atmatzidou & Demetriadis, 2016), αλλά και εννοιών που ανήκουν σε "δύσκολα" γνωστικά αντικείμενα, όπως τα Μαθηματικά και οι Φυσικές Επιστήμες (Manches et al., 2010). Έτσι, η ενσώματη αλληλεπίδραση σε ένα περιβάλλον ΠΕΕΠ μετασχηματίζει τις μαθησιακές δραστηριότητες σε δράση και εμπυθιστικές μαθησιακές εμπειρίες για τους χρήστες (Lindgren & Johnson-Glenberg, 2013· Johnson-Glenberg, 2017, 2019· Johnson-Glenberg et al., 2014· Skulmowski & Rey, 2018).

Βέβαια, έχει υποστηριχθεί ότι η υψηλή ενσώματη αλληλεπίδραση σε ένα εμπυθισμένο εικονικό περιβάλλον δεν εγγυάται απαραίτητα και υψηλότερα μαθησιακά αποτελέσματα, συγκριτικά με μία προσέγγιση που παρέχει χαμηλότερο επίπεδο σωματικής εμπλοκής (Skulmowski et al., 2016· Tran et al., 2017). Φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια μίας δραστηριότητας με αυξημένη ενσώματη αλληλεπίδραση δημιουργείται υψηλό γνωστικό φορτίο στους χρήστες, κάτι που μπορεί να παρεμποδίσει την ενσώματη μάθηση (Ruiter et al., 2015· Skulmowski et al., 2016). Ίσως η ενσώματη αλληλεπίδραση να έχει μαθησιακή επιτυχία σε δραστηριότητες που δεν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες (Song et al., 2014), για παράδειγμα σε απλά μοτίβα κίνησης για την εκμάθηση χορού (Warburton et al., 2013).

Βέβαια, έρευνες έχουν δείξει ότι όταν δεν υπάρχει σωστή ανάπτυξη της εφαρμογής ή κακή ποιότητα HMDs (για παράδειγμα, κακή εστίαση), τότε προκαλούνται αντίθετα αποτελέσματα (για παράδειγμα, οπτικές ενοχλήσεις και simulator sickness) (Duchowski et al., 2014). Για παράδειγμα σε έρευνα που εξέτασε την παιχνιδική εμπειρία με και χωρίς HMDs, φάνηκε πως οι περισσότεροι συμμετέχοντες αισθάνθηκαν υψηλότερα επίπεδα simulator sickness κατά τη διαδικασία του παιχνιδιού με τα HMDs (Tan et al., 2015). Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξε και άλλη έρευνα (Carnegie & Rhee, 2015). Βέβαια, να επισημανθεί πως οι ενοχλήσεις από τη χρήση των HMDs μπορούν να ελαχιστοποιηθούν, καθώς αυτές εξαρτώνται από κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, όπως το είδος των HMDs που χρησιμοποιούνται και από την ποιότητα της αντίστοιχης εφαρμογής (Porcino et al., 2017).

Επίσης, έχει φανεί ότι όταν τα HMDs θεωρούνται δύσχρηστα, τότε οι όποιοι μαθησιακοί στόχοι (είτε σε επίπεδο γνώσεων είτε σε δεξιοτήτων) δεν επιτυγχάνονται. Για παράδειγμα, σε έρευνα με θέμα τη Μηχανική (Ritter et al., 2018), όπου οι χρήστες δεν έμαθαν πολλά με τα HMDs, γιατί τα καλώδια των συσκευών σε συνδυασμό με τον χαμηλό ήχο κατέστησαν δύσκολη τη χρήση τους. Αντίθετα, φάνηκε ότι έμαθαν περισσότερα με την επιτραπέζια ΕΠ, γιατί τη θεώρησαν αρκετά εκπαιδευτική και εύκολη για να μάθουν. Δηλαδή, η χρηστικότητα φαίνεται να διαδραματίζει και αυτή σημαντικό ρόλο, καθώς

ένα δύσχρηστο περιβάλλον αναγκάζει τον χρήστη να καταβάλει περισσότερη προσπάθεια πλοήγησης και κατανόησης του συστήματος, διακόπτοντας τη ροή της εμπειρίας του (Glaser & Schmidt, 2018).

Ακόμη, ο ρόλος της εμπύθισης και της παρουσίας μπορεί να είναι αρνητικός είτε εξαιτίας της μη συγκέντρωσης των χρηστών (Karageorgakis & Nisiforou, 2018· McKenzie et al., 2019) είτε γιατί οι ίδιοι οι χρήστες έδωσαν μεγαλύτερη σημασία στην καινοτομία της εμπειρίας, χωρίς να ενδιαφέρονται τόσο για το περιεχόμενο (Rupp et al., 2016). Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να βρεθούν τρόποι ώστε οι χρήστες να εμπλέκονται τόσο με το περιβάλλον όσο και με το περιεχόμενο. Αντιφατικά ήταν και τα αποτελέσματα ερευνών που εξέτασαν τα επίπεδα συνεργασίας μεταξύ των συμμετεχόντων. Παρότι αναφέρθηκαν αυξημένα επίπεδα ομαδικότητας (Sun et al., 2018), αναφέρθηκαν και αρκετά προβλήματα (Karageorgakis & Nisiforou, 2018).

Επιπρόσθετα, αξίζει να σημειωθεί ότι μία εφαρμογή ΕΠ και αντίστοιχα ΠΕΕΠ χρειάζεται πολλές ανθρωπόωρες για να κατασκευαστεί. Αυτό, ίσως, να αποτρέψει τους εκπαιδευτικούς να αξιοποιήσουν αυτές τις τεχνολογίες μελλοντικά (Fokides, 2017b· Fokides & Zamprouli, 2017). Ακόμη, το υψηλό κόστος αγοράς HMDs είναι αποτρεπτικός παράγοντας, παρόλο που τα τελευταία χρόνια, αυτά έχουν γίνει αρκετά πιο προσιτά στον μέσο χρήστη. Καθώς η τεχνολογία σταδιακά γίνεται πιο προσιτή στο ευρύ κοινό και το λογισμικό αποκρίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια στην ανθρώπινη αλληλεπίδραση, η εμπειρία στις εφαρμογές ΠΕΕΠ θα γίνεται όλο και πιο ικανοποιητική. Κατά συνέπεια, το μειωμένο κόστος και η τεχνολογική καινοτομία θα άρει τα εμπόδια στην υιοθέτησή της.



## Κεφάλαιο 8. Η Πλήρως Εμβυθιστική Ψηφιακή Μαθησιακή Εμπειρία

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η σύνδεση και σύνθεση όσων αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Σκοπός είναι να αναδειχθεί ένας νέος όρος, αυτός της πλήρως εμπυθιστικής ψηφιακής μαθησιακής εμπειρίας (ΠΕΨΜΕ).

### **8.1. Σύνοψη των προηγούμενων κεφαλαίων**

Κατά την εξέταση ενός θέματος, είτε σε θεωρητικό είτε σε πρακτικό επίπεδο, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη, αν όχι όλα, τουλάχιστον τα σημαντικότερα στοιχεία που το διαμορφώνουν. Κάτι τέτοιο επιχειρήθηκε για την ΕΠ. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι πρόκειται για μία τεχνολογία που μπορεί να προσφέρει πλούσιες εμπειρίες στους χρήστες. Φάνηκε ότι η αυτές οι εμπειρίες επηρεάζεται σημαντικά από την εμπύθιση, την παρουσία και την αλληλεπίδραση, με την τελευταία να συνεπικουρεί τους άλλους δύο παράγοντες. Η εμπύθιση θεωρήθηκε περισσότερο ένα τεχνικό χαρακτηριστικό και αφορά το πόσο πλήρεις είναι οι αισθητηριακές πληροφορίες που παρέχονται στον χρήστη από το εικονικό περιβάλλον, οι οποίες, όσο πιο πολύ προσομοιάζουν με αυτές του πραγματικού κόσμου τόσο πιο εμπυθισμένος αισθάνεται ο χρήστης. Η παρουσία θεωρήθηκε ότι αφορά το πόσο ο χρήστης αισθάνεται ότι βρίσκεται μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον και έχει την ψευδαίσθηση της μη διαμεσολάβησης, δηλαδή, είναι περισσότερο ένα υποκειμενικό φαινόμενο. Η αλληλεπίδραση είναι η όσο το δυνατόν πιο φυσική επικοινωνία και σύνδεση μεταξύ χρηστών και εικονικού περιβάλλοντος.

Αναφορικά με τις εκπαιδευτικές χρήσεις της ΕΠ, διαπιστώθηκε ότι προσφέρει δυνατότητες που ξεπερνούν αυτές των άλλων ψηφιακών εργαλείων, όπως, διερεύνηση καταστάσεων που με άλλον τρόπο δεν είναι δυνατή, σπάσιμο των ορίων της πραγματικότητας, παροχή υψηλής ποιότητας και πειστικών μαθησιακών εμπειριών, ανάπτυξη της δημιουργικότητας, έλεγχο πρότερων αντιλήψεων, ενεργή συμμετοχή στη μάθηση, προσαρμογή του υλικού στις ανάγκες των μαθητών, αποβολή του άγχους τους και ενθάρρυνση των εκπαιδευτικών για εναλλακτικούς τρόπους διδασκαλίας. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η μάθηση σε εικονικά περιβάλλοντα, πέρα από την εμπύθιση, την παρουσία και την αλληλεπίδραση, επηρεάζεται από την εμπλοκή, τον ρεαλισμό, την ευκολία χρήσης, τη χρησιμότητα, την ευχαρίστηση και τα κίνητρα που προσφέρει η ΕΠ.

Από όλες τις τεχνολογίες που εντάσσονται κάτω από την ομπρέλα της ΕΠ, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα HMDs, τα οποία μπορούν να προσφέρουν πλήρως εμπυθισμένες εμπειρίες (και, συνεπώς, υλοποιούν την ΠΕΕΠ). Πέρα από το γεγονός ότι τα HMDs αποκόπτουν τους χρήστες από το εξωτερικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα τα οπτικοακουστικά ερεθίσματα που αυτοί λαμβάνουν να προέρχονται μόνο από αυτά, ο βαθμός της εμπύθισης που επιτυγχάνουν εξαρτάται από έναν αρκετά σημαντικό αριθμό τεχνικών χαρακτηριστικών όπως, η παρακολούθηση κίνησης, οι βαθμοί ελευθερίας, το είδος των χειριστηρίων, το οπτικό πεδίο, η ανάλυση οθόνης, ο ρυθμός ανανέωσης, η οπτική βαθμονόμηση και ο χαμηλός χρόνος ανταπόκρισης.

Η ΠΕΕΠ, που προκύπτει με τη χρήση HMDs, φαίνεται να μπορεί να προσφέρει αρκετά στη μάθηση. Αυτό κυρίως λόγω της εμπύθισης, της παρουσίας, της ευχαρίστησης και της εμπλοκής.

## 8.2. Ορίζοντας την Πλήρως Εμβυθιστική Ψηφιακή Μαθησιακή Εμπειρία

Συχνά, μέσα στο κείμενο, έγινε αναφορά στο ότι η ΕΠ προσφέρει πλούσιες εμπειρίες στους χρήστες. Προφανώς και πρόκειται για ψηφιακές εμπειρίες, μιας και τα μέσα που χρησιμοποιεί η ΕΠ είναι τεχνολογικά/ψηφιακά. Όμως, πώς ακριβώς ορίζεται η ψηφιακή εμπειρία;

Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι ο όρος "ψηφιακή εμπειρία" ταυτίζεται με τον όρο "εμπειρία χρήστη", εφόσον οποιαδήποτε εμπειρία λαμβάνει χώρα στο Διαδίκτυο ή μέσω ενός λογισμικού ή μέσω μίας ψηφιακής συσκευής είναι, κατά βάση, ψηφιακή εμπειρία (Lee et al., 2018). Πράγματι, το τι εμπειρίες έχουν τα άτομα όταν χρησιμοποιούν ψηφιακά μέσα αλλά και το τι συνιστά μια "καλή" εμπειρία έχει απασχολήσει από πολύ νωρίς τους ερευνητές (ενδεικτικά, Forlizzi & Battarbee, 2004· Hassenzahl & Tractinsky, 2006· Wright et al., 2004). Δυστυχώς, δεν υπάρχει κοινά αποδεκτός ορισμός για την έννοια αυτή. Αυτό γιατί οι έννοιες με τις οποίες συνδέεται, όπως η διασκέδαση, η ευχαρίστηση, η έκπληξη και η οικειότητα, είναι υποκειμενικές. Επιπλέον οι ερευνητές τείνουν να προσθέτουν διαρκώς και άλλα χαρακτηριστικά, με αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς η περιπλοκότητα των μεταξύ τους σχέσεων (Cockton, 2006). Σε γενικές γραμμές, αναφέρεται στο τι βιώνει ο χρήστης από ένα (ψηφιακό) προϊόν ή μία (ψηφιακή) υπηρεσία που χρησιμοποιεί για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου (Agiledrop, 2020) και τι συναισθήματα του δημιουργούνται (Biondi et al., 2015· Kamstrupp, 2016· McIntosh & Wright, 2019).

Ωστόσο, υπάρχει η περίπτωση να μην υπάρχει "χρήση" (με την απόλυτη έννοια της λέξης) κάποιου ψηφιακού τεχνουργήματος (υλικού ή άυλου). Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί απλά να παρακολουθεί μία ταινία ή ένα βίντεο στο YouTube ή να ακούει μουσική στον υπολογιστή του. Μπορεί, δηλαδή, να είναι παθητικός δέκτης. Εξυπακούεται ότι το άτομο θα πρέπει να εκκινήσει κάποιο πρόγραμμα για να υλοποιήσει τα παραπάνω. Άρα, υπάρχει κάποια χρήση λογισμικού ή υλικού, αλλά αυτή είναι σύντομη· στο μεγαλύτερο μέρος της εμπειρίας που θα έχει υπερισχύει η παθητική διάσταση, που όμως δεν παύει να είναι ψηφιακή, εφόσον προέρχεται από ένα ψηφιακό μέσο. Συνεπώς, θα ήταν καλύτερο να υιοθετηθεί η άποψη ότι η ψηφιακή εμπειρία είναι υπερσύνολο της (ψηφιακής) εμπειρίας χρήστη.

Αναφορικά με το τι θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως θετική ψηφιακή εμπειρία, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι είναι:

*Οι πολύ θετικές εντυπώσεις και συναισθήματα που αποκομίζουν τα άτομα κατά την ενασχόλησή τους με άυλα ή υλικά ψηφιακά τεχνουργήματα.*

Η θετική ψηφιακή εμπειρία περιλαμβάνει τρία πολύ βασικά χαρακτηριστικά (Seasia Infotech, n. d.):

- Εξαιρετική σχεδίαση. Οι χρήστες θα πρέπει να πείθονται για αυτό που τους παρέχεται/παρουσιάζεται. Για παράδειγμα, μία εφαρμογή ΕΠ θα πρέπει να παρέχει πιστότητα, αληθοφάνεια και πολύ καλά γραφικά.
- Άψογη λειτουργικότητα. Τυχόν κατασκευαστικά/λειτουργικά προβλήματα είναι αυτονόητο ότι καταστρέφουν την εμπειρία των χρηστών.
- Προσαρμοσμένο περιεχόμενο. Το περιεχόμενο είναι σημαντικό να προσαρμόζεται στις ανάγκες και τις απαιτήσεις των χρηστών. Για παράδειγμα, αν πρόκειται για ένα ψηφιακό παιχνίδι, θα μπορούσε να υπάρχει δυνατότητα διαμόρφωσης του "παίκτη" (δημιουργία προφίλ και avatar) είτε του επιπέδου δυσκολίας της πίστας είτε να ενεργοποιούνται ή να απενεργοποιούνται διάφορα χαρακτηριστικά.

Μήπως, κατ' αναλογία με την ψηφιακή εμπειρία, μπορεί να ειπωθεί ότι υπάρχει και η μαθησιακή εμπειρία και αν η απάντηση είναι καταφατική, από ποιους παράγοντες αυτή εξαρτάται;

Η αλήθεια είναι ότι ο όρος "μαθησιακή εμπειρία" (learning experience), δεν αποτελεί κάτι νέο και παραπέμπει σε οποιαδήποτε μάθημα, πρόγραμμα ή άλλη δραστηριότητα, μέσω της οποίας κάποιος μαθαίνει κάτι (The Glossary of Education Reform, 2013). Μάλιστα, επειδή ο παραπάνω ορισμός υπονοεί ότι τα άτομα μαθαίνουν μέσα από ποικίλες καταστάσεις και τρόπους, η χρήση του όρου "μαθησιακή εμπειρία" προτιμάται σε σχέση με τον όρο "μάθημα", εφόσον αυτός έχει μία σχετικά περιορισμένη σημασία ή/και συμβατική χροιά. Επιπρόσθετα, η αυξανόμενη χρήση του όρου "μαθησιακή εμπειρία" από την εκπαιδευτική και επιστημονική κοινότητα, αντικατοπτρίζει τις αλλαγές που σημειώθηκαν στον τρόπο εκπαίδευσης των ατόμων, λόγω των σημαντικών παιδαγωγικών αλλαγών, αλλά, κυρίως, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων. Ουσιαστικά, δείχνει την αναγκαιότητα ανανέωσης των αντιλήψεων για το πώς, τότε και πού λαμβάνει χώρα η μάθηση (Entwistle & Ramsden, 2015).

Από την άλλη, ο παραπάνω ορισμός της μαθησιακής εμπειρίας, ενώ πληροφορεί για τους τρόπους (...οποιαδήποτε μάθημα, πρόγραμμα ή άλλη δραστηριότητα) και για το τελικό αποτέλεσμα (...κάποιος μαθαίνει κάτι), δεν πληροφορεί για το τι μεσολαβεί και για το τι συμβαίνει στη μεριά του αποδέκτη, δηλαδή, αυτού που μαθαίνει (πέρα από το ότι έμαθε κάτι). Έτσι, αντλώντας στοιχεία από τη Θεωρία της Βιωματικής Μάθησης, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι η μάθηση είναι μία διαδικασία στην οποία εμπλέκονται η απόκτηση εμπειριών, η σκέψη και η δράση (Kolb, 1984· Kolb & Kolb, 2009).

Ωστόσο, ακόμα και αν περιληφθούν τα παραπάνω στον ορισμό της μαθησιακής εμπειρίας, και πάλι δεν λαμβάνεται υπόψη το τι νιώθει/αισθάνεται αυτός που μαθαίνει (σε αντίθεση με τον ορισμό της ψηφιακής εμπειρίας που δόθηκε παραπάνω). Πράγματι, και άλλοι έχουν τονίσει τη σημασία των συναισθημάτων κατά τη διάρκεια της μάθησης. Για παράδειγμα, ο Moon (2013), θεώρησε ότι το συναίσθημα σχετίζεται με τη μάθηση εφόσον (α) επηρεάζει τη δομή της γνώσης, (β) επηρεάζει τη διαδικασία της μάθησης και (γ) μπορεί να προωθήσει ακόμη περισσότερο τη διαδικασία της μάθησης. Όχι μόνο αυτό, αλλά τα θετικά συναισθήματα οδηγούν τους μαθητές να εμπλακούν πιο ενεργά στις μαθησιακές δραστηριότητες, αυξάνουν τα κίνητρά τους για μάθηση (Artino, 2012· Weissberg et al., 2015), την αποδοτικότητα και την ευχαρίστησή τους (Briscoe, 2012· Kohn, 2004), την εμπλοκή τους με το γνωστικό αντικείμενο (Rowe et al., 2015) και τον βαθμό της ικανοποίησής τους (Vacharkulksemsuk & Fredrickson, 2013).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η μαθησιακή εμπειρία είναι:

*Η πνευματική κατάσταση που προκύπτει εξαιτίας της αλληλεπίδρασης αυτού που μαθαίνει με οποιασδήποτε μορφής γνωστικό υλικό. Αποτελεί το συνδυαστικό αποτέλεσμα των δράσεων, των εμπειριών και των συναισθημάτων που προκαλούνται εξαιτίας αυτής της αλληλεπίδρασης. Το (επιθυμητό) τελικό αποτέλεσμα είναι η απόκτηση γνώσεων ή/και πείρας ή/και ή/και δεξιοτήτων ή/και στάσεων.*

Αντίστοιχα, ως θετική μαθησιακή εμπειρία θεωρείται:

*Η πνευματική κατάσταση κατά την οποία αυτός που μαθαίνει αλληλεπιδρά ενεργά με το γνωστικό υλικό, βιώνοντας εμπειρίες που θα μπορούσαν να θεωρηθούν "μοναδικές", νιώθοντας, ταυτόχρονα,*



*θετικά συναισθήματα. Τα παραπάνω, έχουν ως αποτέλεσμα την απόκτηση γνώσεων ή/και πείρας ή/και δεξιοτήτων ή/και στάσεων.*

Πιο πάνω αναφέρθηκε ότι η τεχνολογία έχει επηρεάσει σημαντικά τις μαθησιακές εμπειρίες των χρηστών, καθώς έχει πολλαπλασιάσει και διαφοροποιήσει τους τρόπους που μπορούν να μάθουν και να αλληλεπιδράσουν με το μαθησιακό υλικό. Όντως, οι μαθητές έχουν στη διάθεσή τους πολυμεσικές εφαρμογές, ψηφιακά εκπαιδευτικά παιχνίδια, ρεαλιστικές εικονικές εμπειρίες, μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρονικά μηνύματα, να συνομιλήσουν με βίντεο με τους εκπαιδευτικούς ή τους συμμαθητές τους. Επιπλέον, χάρη στην τεχνολογία, μπορούν να μάθουν με τον δικό τους ρυθμό, ταχύτητα, με ή χωρίς οδηγίες ή επίβλεψη. Όλα αυτά συνιστούν μαθησιακές εμπειρίες υποστηριζόμενες από την τεχνολογία και δημιουργούνται χάρη στην τεχνολογία και μόνο.

Λαμβάνοντας υπόψη τον συνεχώς αυξανόμενο ψηφιακό χαρακτήρα των μαθησιακών εμπειριών, οι όροι "μαθησιακή εμπειρία" και "ψηφιακή εμπειρία" θα μπορούσαν -δυστυχώς- να ενοποιηθούν σε ένα νέο όρο, σε κάτι που θα μπορούσε να αποκαλεστεί "ψηφιακή μαθησιακή εμπειρία" (ΨΜΕ). Με άλλα λόγια, τα δύο σκέλη από τα οποία αποτελείται η ΨΜΕ δημιουργούν ένα νέο είδος εμπειρίας, που συνδυάζει όλα αυτά που ζητά και περιμένει ο χρήστης από ένα ψηφιακό περιβάλλον που αποσκοπεί στο να μάθει κάτι. Δηλαδή, να μαθαίνει με ενεργό τρόπο, να του δημιουργούνται θετικά συναισθήματα, να βιώνει μία μοναδική εμπειρία, σε ένα ψηφιακό περιβάλλον με εξαιρετική σχεδίαση, χωρίς δυσλειτουργίες, στο οποίο να μπορεί να προσαρμόζει το περιεχόμενο με βάση τις ανάγκες του.

Έτσι, η ΨΜΕ θα μπορούσε να οριστεί ως:

*Η πνευματική κατάσταση που προκύπτει εξαιτίας της αλληλεπίδρασης αυτού που μαθαίνει με οποιασδήποτε μορφής ψηφιακό γνωστικό υλικό. Αποτελεί το συνδυαστικό αποτέλεσμα των δράσεων που αναλαμβάνει το άτομο, των εμπειριών που βιώνει και των συναισθημάτων που του προκαλούνται εξαιτίας αυτής της αλληλεπίδρασης και εξαρτάται ευθέως από τη σχεδίαση, τη λειτουργικότητα και την προσαρμοστικότητα του ψηφιακού γνωστικού υλικού. Το (επιθυμητό) τελικό αποτέλεσμα είναι η απόκτηση γνώσεων ή/και πείρας ή/και ή/και δεξιοτήτων ή/και στάσεων.*

Η θετική ΨΜΕ θα μπορούσε να οριστεί ως εξής:

*Η θετική ψηφιακή μαθησιακή εμπειρία είναι ο συγκερασμός της μαθησιακής και της ψηφιακής εμπειρίας που χαρακτηρίζεται από την εξαιρετική σχεδίαση, την άψογη λειτουργικότητα και την προσαρμοστικότητα του ψηφιακού γνωστικού υλικού, την ενεργό δράση/συμμετοχή του ατόμου που μαθαίνει, τα θετικά συναισθήματα και εμπειρίες που αυτό νιώθει ή βιώνει. Τα παραπάνω, έχουν ως αποτέλεσμα την απόκτηση γνώσεων ή/και πείρας ή/και δεξιοτήτων ή/και στάσεων.*

Μεταφέροντας την ΨΜΕ στο πλαίσιο της ΕΠ, θα πρέπει να περιληφθούν τα στοιχεία της εμπύθισης, της παρουσίας και της αλληλεπίδρασης, εφόσον αυτά θεωρήθηκε ότι είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της. Μάλιστα, οι ίδιοι παράγοντες υπάρχουν σε μεγαλύτερο βαθμό και ένταση στην ΠΕΕΠ. Συνεπώς, στην ΠΕΕΠ, η ΨΜΕ μπορεί να μετασχηματιστεί σε "πλήρως εμπυθιστική ψηφιακή μαθησιακή εμπειρία" (ΠΕΨΜΕ) (Σχήμα 14).

Έτσι, η ΠΕΨΜΕ θα μπορούσε να οριστεί ως:

*Η πνευματική κατάσταση που προκύπτει εξαιτίας της αλληλεπίδρασης αυτού που μαθαίνει με οποιασδήποτε μορφής γνωστικό υλικό που προσφέρεται από μέσα που ανήκουν στην Πλήρως*

*Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα. Αποτελεί το συνδυαστικό αποτέλεσμα των δράσεων που αναλαμβάνει το άτομο, των εμπειριών που βιώνει και των συναισθημάτων που του προκαλούνται. Εξαρτάται ευθέως από τη σχεδίαση, τη λειτουργικότητα, την προσαρμοστικότητα του ψηφιακού γνωστικού υλικού, καθώς επίσης και από τον βαθμό εμπύθισης, παρουσίας και αλληλεπίδρασης που αυτό προσφέρει. Το (επιθυμητό) τελικό αποτέλεσμα είναι η απόκτηση γνώσεων ή/και πείρας ή/και ή/και δεξιοτήτων ή/και στάσεων.*

Κατ' αντιστοιχία με τους προηγούμενους ορισμούς:

*Η θετική πλήρως εμβυθιστική ψηφιακή μαθησιακή εμπειρία είναι ο συγκερασμός της μαθησιακής και της ψηφιακής εμπειρίας που προσφέρεται από μέσα που ανήκουν στην Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα. Χαρακτηρίζεται από την εξαιρετική σχεδίαση, την άψογη λειτουργικότητα και την προσαρμοστικότητα του ψηφιακού γνωστικού υλικού, την ενεργό δράση/συμμετοχή του ατόμου που μαθαίνει, τα θετικά συναισθήματα και εμπειρίες που αυτό νιώθει ή βιώνει, κάτω από την επίδραση του υψηλού βαθμού εμπύθισης του στο περιεχόμενο/εφαρμογή, του έντονου αισθήματος της παρουσίας που νιώθει και του υψηλού βαθμού αλληλεπίδρασης του με το ψηφιακό μέσο. Τα παραπάνω, έχουν ως αποτέλεσμα την απόκτηση γνώσεων ή/και πείρας ή/και δεξιοτήτων ή/και στάσεων.*



**Σχήμα 14.** Η πλήρως εμβυθιστική ψηφιακή μαθησιακή εμπειρία

### 8.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την ΠΕΨΜΕ

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε απόπειρα προσδιορισμού της ΠΕΨΜΕ. Αυτό που προκύπτει, ως εύλογο ερώτημα, είναι το πώς μπορεί αυτή να εξεταστεί. Για το σκοπό αυτό, αναζητήθηκαν σε αποθετήρια επιστημονικών δημοσιεύσεων έρευνες σχετικές με αυτό το θέμα, που αφορούσαν δηλαδή, την ΕΠ ή την ΠΕΕΠ σε συνάρτηση με τη μάθηση. Βασική προϋπόθεση ήταν, οι έρευνες αυτές, να αξιοποιήσαν ερωτηματολόγια και κλίμακες που εξέταζαν κάποια ή κάποιες από τις διαστάσεις της ΠΕΨΜΕ όπως αυτές περιεγράφηκαν στο Σχήμα 14. Χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των παρακάτω λέξεων-κλειδιών: virtual reality, HMD(s), scale(s), questionnaire(s), learning, education, student(s).

Αφού αποδελτιώθηκε ένας ικανοποιητικός αριθμός τέτοιων ερευνών (πάνω από 150), αναζητήθηκαν τα ερωτηματολόγια/κλίμακες που χρησιμοποιήσαν (σε περίπτωση που αυτά δεν περιλαμβάνονταν στο επιστημονικό άρθρο). Όπου οι ερευνητές χρησιμοποίησαν προσαρμοσμένα ερωτηματολόγια, δηλαδή, ερωτηματολόγια που αφορούσαν άλλη τεχνολογία, αλλά οι ερευνητές τα προσαρμόσαν ώστε να εξετάζουν θέματα σχετικά με την ΕΠ ή την ΠΕΕΠ, αναζητήθηκαν τα πρωτότυπα.

Διαπιστώθηκε ότι οι έρευνες αξιοποιήσαν 61 μοναδικά ερωτηματολόγια (σε αρκετές έρευνες χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια πρωτότυπα ερωτηματολόγια), που εξέταζαν 22 έννοιες (constructs) (Πίνακας 4), με ένα σύνολο 164 παραγόντων (factors) (Πίνακας 5). Η έννοια με τους περισσότερους παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν για την ερμηνεία της ήταν η Εμπειρία (Experience) ( $n = 73$ ), ακολουθούμενη από την Παρουσία (Presence) ( $n = 38$ ), την Εμβύθιση (Immersion) ( $n = 18$ ), τη Ροή (Flow, την οποία αρκετοί ερευνητές περιέλαβαν ως μέρος της παρουσίας ή της εμβύθισης) και την Ικανοποίηση (Satisfaction) ( $n = 14$  η καθεμία). Οι Πίνακες 6 έως 11 παρουσιάζουν αναλυτικά τους παράγοντες ανά έννοια. Ο πιο συχνά εμφανιζόμενος παράγοντας ήταν η Παρουσία (Presence) ( $n = 17$ , περιλαμβανομένων και των διάφορων παραλλαγών της), ακολουθούμενος από τον Έλεγχο (Control) ( $n = 10$ ), την Εμβύθιση (Immersion) ( $n = 7$ ), την Απορρόφηση της προσοχής (Attention), την Ικανοποίηση (Satisfaction), τους Στόχους (Goals), την Ανατροφοδότηση (Feedback), την Εμπλοκή (Involvement) και την Επιρροή (θετική ή αρνητική) (Affect, positive-negative) ( $n = 5$  όλοι). Για λόγους που σχετίζονται με την ακριβή απόδοση των όρων, στους πίνακες χρησιμοποιείται η γλώσσα του πρωτότυπου (Αγγλικά).

**Πίνακας 4.** Έννοιες που εξέταζαν τα ερωτηματολόγια

Έννοια/Construct		
Experience	Self-efficacy	Hedonic and pragmatic quality
Presence	Usability	Emotions
Immersion	Reality judgment	Absorption
Motivation	Affect	Beliefs
Flow	Anxiety	Empathy
Engagement	Interest	Learning impact
Satisfaction	Cognitive load	Enjoyment
		Simulator sickness

**Πίνακας 5.** Συχνότητα εμφάνισης παραγόντων στα ερωτηματολόγια

Παράγοντας	<i>n</i>	Παράγοντας	<i>n</i>	Παράγοντας	<i>n</i>	Παράγοντας	<i>n</i>
Presence	2	Confidence	2	Understandability	1	Communication place	1

Spatial presence	8	Self-efficacy	2	System naturalness	1	Narratives	1
Social presence	3	Trait anxiety	2	Autotelic focus	1	Non-mediation	1
Physical presence	1	Relevance	2	Audiovisual appeal	1	State anxiety	1
Core self-presence	1	Autotelic experience	1	External correspondence	1	Comprehension	1
Extended self-presence	1	Internal/external correspondence	1	Personal gratification	1	Transformation of time	1
Proto self-presence	1	Gameplay	1	Ease of control	1	Anger	1
Control	10	Long learning phase	1	Nausea	1	Dissociation	1
Immersion	7	Help	1	Action awareness	1	Pride	1
Attention	5	Increase status	1	Emotional reaction	1	Intention to use	1
Satisfaction	5	Likelihood to recommend	1	Temporal dissociation	1	Perspective-taking	1
Goals	5	Happy	1	Fun	1	Play engrossment	1
Feedback	5	Navigation	1	Behavioral engagement	1	Consistency	1
Involvement	5	No bugs/errors	1	Social interaction	1	Dependability	1
Affect (positive/negative)	5	No extrinsic	1	System responsiveness	1	Frustration	1
Usability	4	Ownership	1	Competition	1	Hopelessness	1
Enjoyment	4	Perspicuity	1	Spatial awareness	1	Focused attention	1
Sensory Flow	4	Guidance	1	Learn friends	1	Hope	1
Challenge	4	Loss of self	1	Core self	1	Frequent use	1
Anxiety	4	Reality judgment	1	Mastery	1	Relief	1
		Personal innovativeness	1	Narrative understanding	1	Distress	1
Visual aesthetics	4	Focused immersion	1	Empathic concerns	1	Pleasure	1
Curiosity	3	Social experience	1	Gaming	1	Playability	1
Skills (advanced, mainframe, beginning)	3	Knowledge improvement	1	Emotional attachment	1	Hedonic quality-stimulation	1
Distraction	3	Fictional	1	Freedom	1	Discovery	1
Realism	3	Pragmatic quality	1	Facilitators	1	Accomplishment	1
Autonomy	3	Extended self	1	Creative freedom	1	Shame	1
Concentration	3	Natural mapping	1	Menus	1	Delightfulness	1
Ease of use	2	Possible actions	1	Unusual action	1	Disorientation	1
Cognitive load	2	Efficiency	1	Hedonic quality	1	Camera	1
Absorption	3	Emotional reaction towards system	1	Emotional engagement	1	Paradox of control	1
Playfulness	2	Play-direct	1	Misuse	1	Commitment	1
Audio aesthetics	2	Settings	1	Reuse	1	Oculomotor	1
Attractiveness	2	Tension	1	Simplicity	1	Aesthetics	1
Boredom	2	Trust	1	Tiredness	1	Operator	1
Empathy	2	Anticipation	1	Variety	1	Skill balance	1
Usefulness	2	Environment	1	Creativity	1	Relatedness	1
Stimulation	2	Expectations	1	Emotions personal	1	Fantasy	1
Competence	2	Multimodality	1	Excitement	1	Engagement	1
Efficacy	2	Varied drawing	1	Captivation	1	Unusual actions	1
Novelty	2	Loss of self-consciousness	1	Action awareness merging	1	Controls	1
						Focus	1

**Πίνακας 6.** Παράγοντες ανά έννοια (α)

Experience		
Absorption	Emotional reaction towards system	Likelihood to recommend
Accomplishment	Emotions personal	Mobile Site
Affect	Enjoyment	Navigation
Affect (Negative)	Environment	No bugs/errors
Affect (Positive)	Excitement	No extrinsic
Attractiveness	Expectations	Novelty

Audiovisual appeal	Facilitators	Ownership
Autonomy	Feedback	Perspicuity
Autotelic focus	Fictional	Play-direct
Boredom	Flow	Playfulness
Camera	Freedom	Reuse
Challenge	Frequent use	Sensory
Commitment	Frustration	Settings
Competence	Fun	Simplicity
Competition	Gameplay	Social experience
Consistency	Goals	Stimulation
Control	Guidance	Tension
Curiosity	Happy	Tiredness
Delightfulness	Help	Trust
Dependability	Immersion	Usability
Discovery	Increase status	Usefulness
Ease of control	Learn friends	Variety
Ease of use	Misuse	Visual aesthetics
Efficiency	Mastery	
Emotional attachment	Menus	

**Πίνακας 7.** Παράγοντες ανά έννοια (β)

	<b>Presence</b>	<b>Immersion</b>
Anticipation	Realism	Attention
Attention	Satisfaction	Captivation
Attention/absorption	Sensory	Challenge
Cognitive load	Social presence	Comprehension
Control	Social presence- Behavioral engagement	Concentration
Core self-presence	Social presence- Involvement/Empathy	Control
Creativity	Spatial Presence	Curiosity
Distraction	Spatial Presence- Believability	Dissociation
Extended self- presence	Spatial Presence- Imagination	Distraction
Involvement	Spatial Presence- Interest	Emotional engagement
Involvement/Control	Spatial Presence- Involvement	Empathy
Internal/external correspondence	Spatial Presence- Possible actions	Focus
Long learning phase	Spatial Presence-Self- location	Gaming
Multimodality	Spatial Presence- Spatial awareness	Immersion
Natural mapping	System naturalness	Involvement

Non-mediation	System responsiveness	Narrative understanding
Physical presence	Understandability	Realism
Presence	Unusual actions	Sensory
Proto self-presence	Varied drawing	

**Πίνακας 8.** Παράγοντες ανά έννοια (γ)

Motivation	Flow	Engagement	Satisfaction
Attention	Action awareness merging	Absorption	Audio aesthetics
Autonomy	Autotelic Experience	Aesthetics	Communication place
Competence	Challenge/Skill balance	Control	Creative freedom
Confidence	Concentration	Distraction	Enjoyment
Controls	Control	Engagement	Feedback
Immersion	Feedback	Flow	Flow
Relatedness	Flow	Focused attention	Goals
Relevance	Goals	Immersion	Narratives
Satisfaction	Goals and feedback	Novelty	Operator
	Immersion	Presence	Personal gratification
	Loss of self-consciousness	Realism	Play engrossment
	Paradox of control	Sensory	Satisfaction
	Skills	Usability	Usability/Playability
	Transformation of time		Visual aesthetics

**Πίνακας 9.** Παράγοντες ανά έννοια (δ)

Self-efficacy	Usability	Reality judgment	Affect	Anxiety
Advanced level skills	Usability	Reality judgment	Negative affect	Anxiety
Beginning level skills			Positive affect	State anxiety
Mainframe level skills				Trait anxiety
Self-efficacy				

**Πίνακας 10.** Παράγοντες ανά έννοια (ε)

Interest	Cognitive load	Hedonic and pragmatic quality	Emotions	Beliefs
Attention	Cognitive load	Attractiveness	Anger	Ease of use
Confidence		Hedonic quality-stimulation	Anxiety	Intention to use
Relevance		Pragmatic quality	Boredom	Self-efficacy
Satisfaction			Enjoyment	Usefulness
			Hope	
			Hopelessness	
			Pride	

Relief  
Shame

**Πίνακας 11.** Παράγοντες ανά έννοια (στ)

<b>Absorption</b>	<b>Empathy</b>	<b>Learning impact</b>	<b>Enjoyment</b>	<b>Simulator sickness</b>
Focused immersion	Perspective-taking	Knowledge Improvement	Autonomy	Disorientation
Curiosity	Empathic concern		Challenge	Nausea
Enjoyment	Fantasy		Concentration	Oculomotor
Control	Distress		Feedback	
Personal innovativeness			Goals	
Playfulness			Immersion	
Temporal dissociation			Pleasure	
			Satisfaction	
			Social interaction	

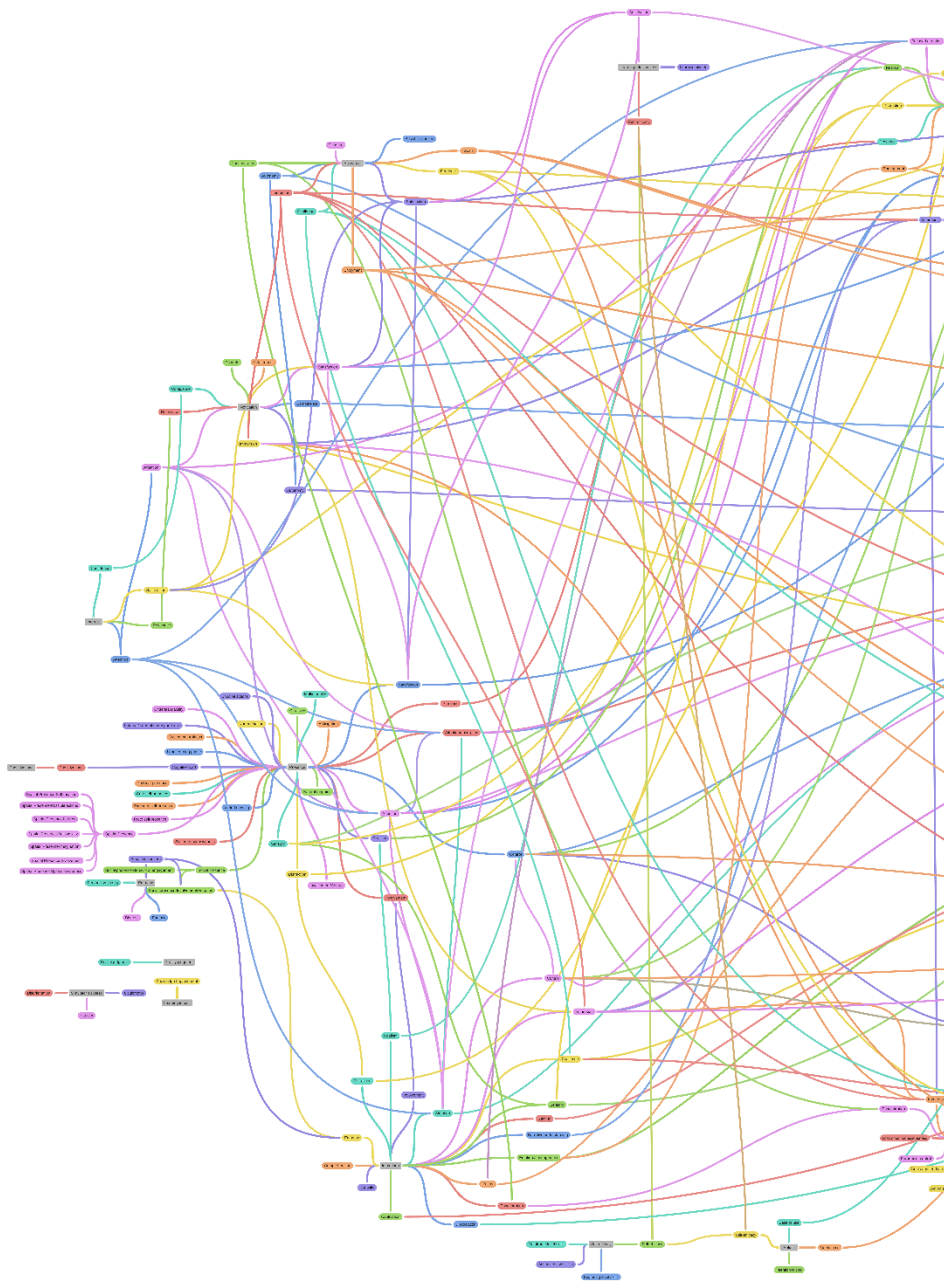
Η Εικόνα 21 οπτικοποιεί τους πιο συχνά εμφανιζόμενους παράγοντες, ενώ το Σχήμα 15, επιχειρεί να παρουσιάσει την περιπλοκότητα των σχέσεων μεταξύ των εννοιών και των παραγόντων, έτσι όπως αυτή προέκυψε από το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις όμοιοι ή παρόμοιοι παράγοντες χρησιμοποιήθηκαν για να εξετάσουν διαφορετικές έννοιες.

Η εικόνα καταδεικνύει με τον πιο γλαφυρό τρόπο τη δυσκολία που υπάρχει να προσδιοριστούν οι έννοιες όπως η εμπειρία και τα συναισθήματα που προκαλούνται στους χρήστες από τη χρήση ψηφιακών μέσων, παρότι, φαινομενικά, αυτό μοιάζει σχετικά απλό. Επίσης, γίνεται κατανοητό ότι δεν είναι εφικτό να εξεταστούν ταυτόχρονα όλοι οι παραπάνω παράγοντες.

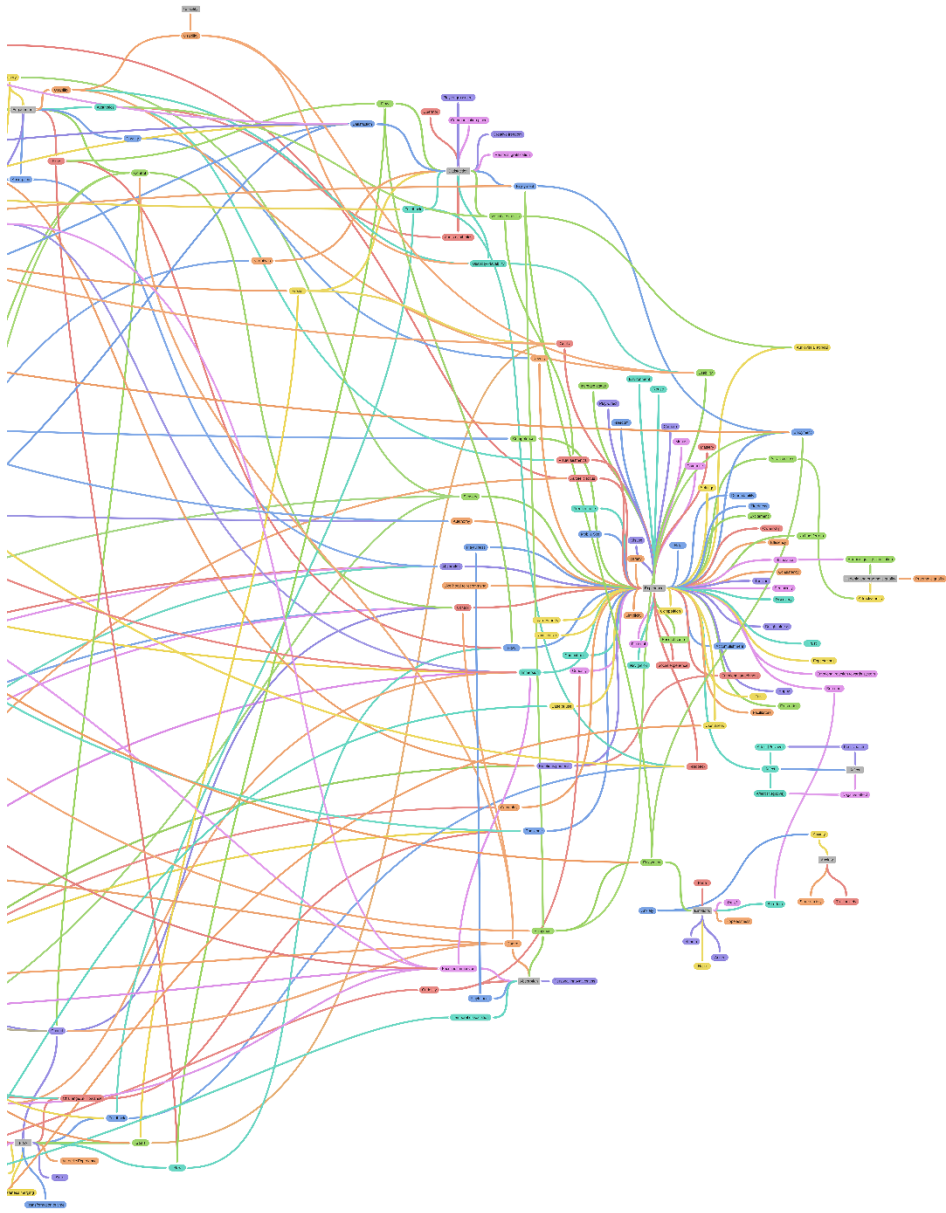
Έτσι, αναγνώστηκαν εκ νέου οι έρευνες που είχαν εντοπιστεί και τα ερωτηματολόγια που χρησιμοποίησαν, ώστε να διαπιστωθεί εάν κάποιοι παράγοντες ταυτίζονται ή αν κάποιοι από αυτούς μπορούσαν να ενταχθούν κάτω από την ίδια ομπρέλα. Πράγματι, αυτό οδήγησε στο σημαντικό περιορισμό των παραγόντων που πιθανώς θα έπρεπε να εξεταστούν. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι οι έννοιες Ροή-Flow, Εμβύθιση-Immersion και Παρουσία-Presence, ήταν εξαιρετικά δύσκολο να διαχωριστούν, καθώς σημαντικός αριθμός ερευνών είτε τις θεωρούσε συνώνυμες-παρόμοιες έννοιες είτε χρησιμοποιούσε παρόμοια ερωτηματολόγια για να τις εξετάσει. Ως εκ τούτου, αποφασίστηκε η προσωρινή-ενοποίησή τους







Σχήμα 15. Οι σχέσεις μεταξύ εννοιών και των παραγόντων τους



Ο Πίνακας 12 παρουσιάζει τους αρχικούς παράγοντες και την ενοποίησή τους σε ευρύτερους.

**Πίνακας 12.** Ενοποίηση παραγόντων

Αρχικός παράγοντας	Νέος παράγοντας	Αρχικός παράγοντας	Νέος παράγοντας
Aesthetics		Absorption	
Attractiveness		Action awareness	
Audio aesthetics		Action awareness	
Audiovisual appeal		merging	
Environment	Aesthetics/ appeal	Attention	
Realism		Autotelic experience	
Variety		Autotelic focus	
Visual aesthetics		Behavioral engagement	
Cognitive load		Concentration	
No extrinsic	Cognitive load	Core self	
Autonomy		Core self-presence	
Control		Dissociation	
Mastery	Control	Distraction	
Misuse		Emotional attachment	
Ownership		Empathic concerns	
Play-direct		Engagement	
Expectations		Extended self	
Relevance	Relevance to personal interests	Extended self- presence	
Camera		External correspondence	Flow/Immersion/ Presence
Consistency		Fantasy	
Controls		Flow	
Dependability		Focus	
Ease of control		Focused attention	
Ease of use		Focused immersion	
Gameplay		Immersion	
Gaming		Internal/external correspondence	
Long learning phase		Involvement	
Narrative		Loss of self	
understanding	Ease of use/Usability	Loss of self- consciousness	
Navigation		Non-mediation	
No bugs/errors		Perspicuity	
Operator		Physical presence	
Play engrossment		Presence	
Playability		Proto self-presence	
Pragmatic quality		Reality judgment	
Simplicity		Relatedness	
System naturalness		Sensory	
System		Skill balance	
responsiveness		Social presence	
Understandability		Spatial awareness	
Usability		Spatial presence	
Enjoyment	Enjoyment		

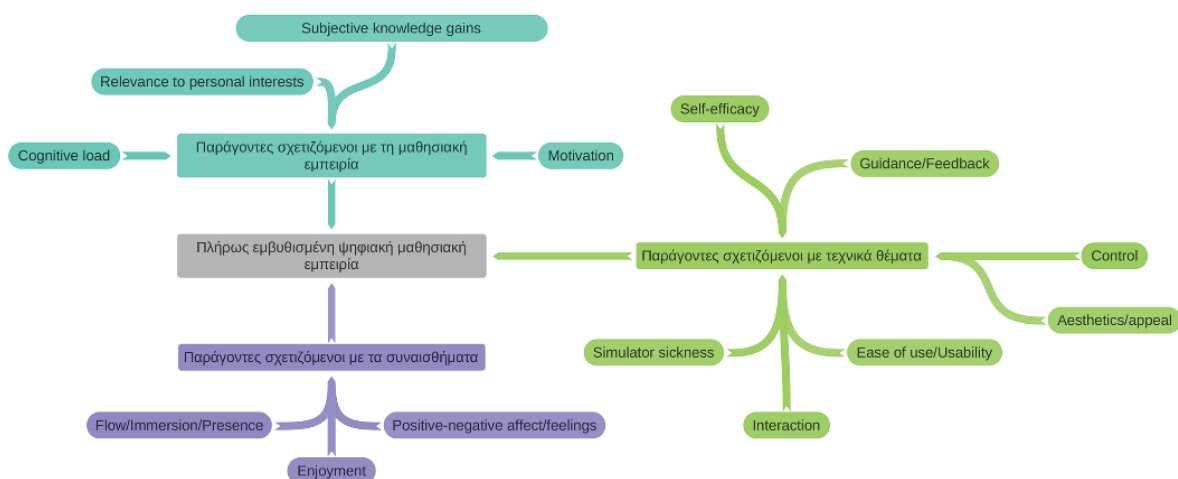
Fun		Temporal dissociation	
Hedonic quality		Transformation of time	
Hedonic quality-stimulation		Commitment	
Novelty		Frequent use	
Playfulness		Intention to use	
Pleasure		Likelihood to recommend	Motivation
Stimulation		Personal innovativeness	
Facilitators		Reuse	
Feedback		Accomplishment	
Goals		Affect (positive/negative)	
Guidance	Guidance/feedback	Anger	
Help		Anticipation	
Menus		Anxiety	
Narratives		Boredom	
Natural mapping		Captivation	
Settings		Challenge	
Creative freedom		Confidence	
Freedom	Interaction	Curiosity	
Paradox of control		Delightfulness	
Possible action		Distress	
Competence		Emotional engagement	
Efficacy		Emotional reaction	
Efficiency	Self-efficacy	Emotional reaction towards system	
Self-efficacy		Emotions personal	Positive-negative affect/feelings
Skills (advanced, mainframe, beginning)		Empathy	
Disorientation	Simulator sickness	Excitement	
Nausea		Frustration	
Oculomotor		Happy	
Comprehension		Hope	
Creativity		Hopelessness	
Discovery	Subjective knowledge gains	Increase status	
Knowledge improvement		Personal gratification	
Usefulness		Pride	
Communication place*		Relief	
Competition*		Satisfaction	
Fictional		Shame	
Learn friends*	Εξαιρέθηκαν (δεν στάθηκε δυνατή η κατάταξή τους)	State anxiety	
Multimodality		Tension	
Perspective-taking		Tiredness	
Social experience*		Traits anxiety	
Social interaction*		Trust	
Unusual actions			
Varied drawing			

*Σημείωση.* Οι παράγοντες που σημειώνονται με αστερίσκο (\*) αφορούν συνεργατικά περιβάλλοντα, κάτι που δεν ισχύει για όλες τις εφαρμογές.

Από την παραπάνω επεξεργασία προέκυψαν 14 παράγοντες που μπορούν με τη σειρά τους να ενταχθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Παράγοντες που σχετίζονται με συναισθήματα: ροή/εμβύθιση/παρουσία (flow/immersion/presence), διασκέδαση (enjoyment) και θετικά/αρνητικά συναισθήματα (positive-negative affect/feelings).
- Παράγοντες που σχετίζονται με τη μαθησιακή εμπειρία: υποκειμενική αντίληψη για τα μαθησιακά οφέλη (subjective knowledge gains), σχέση με τα προσωπικά ενδιαφέροντα (domain specific interest), γνωστικό φορτίο (cognitive load) και κίνητρα για μάθηση (motivation).
- Παράγοντες που σχετίζονται με τεχνικά θέματα: αυτεπάρκεια (self-efficacy), καθοδήγηση/ανατροφοδότηση (guidance/feedback), έλεγχος (control), αισθητική/ελκυστικότητα (aesthetics/appeal), αλληλεπίδραση (interaction), ευκολία χρήσης (ease of use/usability) και simulator sickness.

Έτσι, μπορεί να διαμορφωθεί ένα μοντέλο παραγόντων που περιγράφει την ΠΕΨΜΕ (Σχήμα 16).



**Σχήμα 16.** Το προτεινόμενο μοντέλο παραγόντων της ΠΕΨΜΕ

Στην προηγούμενη ενότητα, ως θετική πλήρως εμβυθιστική ψηφιακή μαθησιακή εμπειρία θεωρήθηκε αυτή που χαρακτηρίζεται από εξαιρετική σχεδίαση, άψογη λειτουργικότητα και προσαρμοστικότητα του περιεχομένου, η οποία επιτρέπει την ενεργό δράση/συμμετοχή αυτού που μαθαίνει, ο οποίος αποκομίζει (πέρα από γνώσεις, δεξιότητες, στάσεις και συμπεριφορές) θετικά συναισθήματα και εμπειρίες, λόγω της εμβύθισής του στο περιεχόμενο/εφαρμογή, του αισθήματος της παρουσίας και της αλληλεπίδρασής του με το περιεχόμενο. Στο παραπάνω μοντέλο διαπιστώνεται πως όλα αυτά τα στοιχεία είναι παρόντα. Συνεπώς, το μοντέλο αυτό και μπορεί να περιγράψει την ΠΕΨΜΕ, αλλά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ερευνητικών εργαλείων για την εξέτασή της.



## Κεφάλαιο 9. Εικονική Πραγματικότητα και Εποικοδομισμός

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται το γιατί η ΕΠ και, κατ' επέκταση, η ΠΕΕΠ, μπορούν να υλοποιήσουν πιο αποτελεσματικά τις αρχές του εποικοδομισμού, βοηθώντας κατά αυτόν τον τρόπο τον ουσιαστικό μετασχηματισμό της εκπαιδευτικής διαδικασίας.

### **9.1. Οι γενιές εκπαιδευτικής χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών**

Από τα πρώτα στάδια της εξέλιξής τους, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές θεωρήθηκαν ένα ιδανικό διδακτικό εργαλείο. Τα χαρακτηριστικά που επέτρεψαν και επιτρέπουν αυτή την πεποίθηση συμβαδίζουν με τις τεχνολογικές εξελίξεις και κυρίως με την αυξανόμενη υπολογιστική τους ισχύ, την ταχύτητα, τα γραφικά περιβάλλοντα, τη δυνατότητα ενσωμάτωσης εικόνας, ήχου και βίντεο και, φυσικά, το Διαδίκτυο.

Έτσι, οι πρώτες εκπαιδευτικές εφαρμογές των ηλεκτρονικών υπολογιστών υλοποιούσαν συμπεριφοριστικές αντιλήψεις και έδιναν μεγάλη βαρύτητα στο περιεχόμενο. Ανέλυαν τις γνώσεις και τις δεξιότητες που πρέπει να αποκτηθούν από τους μαθητές σε επιμέρους συστατικά στοιχεία, όπου η κατάκτησή τους, αθροιστικά, οδηγούσε στο προσδοκώμενο γνωστικό αποτέλεσμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της άποψης ήταν η υποβοηθούμενη από υπολογιστές διδασκαλία (Computer Assisted Instruction), που είχε τη μορφή εφαρμογών δοκιμής και εξάσκησης (drill and practice), με τον μαθητευόμενο να έχει ελάχιστο έλεγχο στο τι μαθαίνει. Όλα ήταν προκαθορισμένα από τον κατασκευαστή της εφαρμογής, αν και σε κάποιες περιπτώσεις δινόταν η δυνατότητα να παραλειφθούν από τον μαθητευόμενο ορισμένα θέματα (Saettler, 2004). Παρά τη σοβαρή κριτική που δέχτηκαν αυτού του είδους οι εφαρμογές, εξακολουθεί, ακόμα και σήμερα, να υπάρχει σημαντικός αριθμός εφαρμογών που ανήκουν σε αυτή την παραδοσιακή αντιμετώπιση του εκπαιδευτικού σχεδιασμού και διδασκαλίας.

Στη δεύτερη γενιά εκπαιδευτικών εφαρμογών στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, υπήρξε μία μεταστροφή στη στόχευση· η έμφαση μετατοπίστηκε από το περιεχόμενο στον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζεται το περιεχόμενο στους μαθητές. Αυτό προέκυψε από τη συνειδητοποίηση ότι η διαδικασία με την οποία οι μαθητές επεξεργάζονται τις πληροφορίες μπορεί να είναι πιο σημαντική από την ίδια την πληροφορία. Στο πεδίο αυτό ο συμπεριφορισμός αποδείχθηκε ανεπαρκής, ενώ οι γνωστικές θεωρίες προσέφεραν κατάλληλο έδαφος στο οποίο μπόρεσαν να στηριχτούν οι σχεδιαστές εκπαιδευτικών εφαρμογών. Επειδή όμως ο συμπεριφορισμός και οι γνωστικές θεωρίες αντιμετωπίζουν τη μάθηση με αντικειμενιστικό (objectivistic) τρόπο (Jonassen, 1991), η μετάβαση από τη μία γενιά στην άλλη δεν ήταν δύσκολη. Ο στόχος παρέμεινε η μεταφορά γνώσης στον μαθητευόμενο με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (Bednar et al., 1992). Και στις δύο περιπτώσεις ο σχεδιαστής ανέλυε την ύλη σε μικρά κομμάτια. Στην μεν συμπεριφοριστική θεώρηση αναζητούσε την καλύτερη μέθοδο ώστε να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη συμπεριφορά, στη δε γνωστική θεώρηση αναζητούσε τρόπους και συστήματα μετάβασης από το απλό στο σύνθετο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της γενιάς εκπαιδευτικών εφαρμογών σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι προσπάθεια προγραμματισμού τους με τέτοιο τρόπο ώστε να "σκέφτονται" και να απαντούν "έξυπνα" στην είσοδο δεδομένων από τον μαθητή, χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, μία βάση δεδομένων.

Η τρίτη γενιά εκπαιδευτικής χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών στηρίζεται στις αρχές του εποικοδομισμού. Η μεταστροφή στον σχεδιασμό εφαρμογών είναι σημαντική, εξαιτίας του ότι ο

εποικοδομισμός δεν αντιμετωπίζει τη μάθηση αντικειμενιστικά. Παρά το γεγονός ότι έχουν καταβληθεί προσπάθειες ώστε οι εφαρμογές των ηλεκτρονικών υπολογιστών να συνδυάσουν στοιχεία και από τις γνωστικές θεωρίες επεξεργασίας πληροφοριών και από τον εποικοδομισμό (ενδεικτικά Dede, 1992· Spiro et al., 1991· Tolhurst, 1992), οι διαφορές είναι σημαντικές. Η αντικειμενιστική προσέγγιση της μάθησης επιδιώκει η διδασκαλία να έχει προκαθορισμένα αποτελέσματα και να παρεμβάλλεται στη μαθησιακή διαδικασία με τέτοιον τρόπο, ώστε να αποτυπώσει την πραγματικότητα στο μυαλό του μαθητευομένου. Αντίθετα, η εποικοδομική προσέγγιση, επειδή ακριβώς υποστηρίζει ότι δεν υπάρχουν προκαθορισμένα και προβλέψιμα αποτελέσματα, θεωρεί ότι η διδασκαλία θα πρέπει να ενθαρρύνει και όχι να καθοδηγεί τη μάθηση. Όπως επισημαίνει ο Jonassen (1994), το πρόβλημα που θέτει ο εποικοδομισμός στους σχεδιαστές εκπαιδευτικών προγραμμάτων είναι ότι, εφόσον το κάθε άτομο είναι υπεύθυνο για τη δόμηση της γνώσης, δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί και να εξασφαλιστεί ένα σύνολο μαθησιακών αποτελεσμάτων κοινό για όλους.

Στο ίδιο άρθρο, παραθέτει τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει ο γενικός διδακτικός σχεδιασμός σύμφωνα με τη θεώρηση του εποικοδομισμού, όπως:

- Να παρέχει πολλαπλές αναπαραστάσεις της πραγματικότητας και να αποφεύγει τις απλουστεύσεις, παρουσιάζοντας τη φυσική πολυπλοκότητα του κόσμου.
- Να παρέχει στους μαθητές αυθεντικές εργασίες.
- Να παρέχει διδακτικά περιβάλλοντα που να στηρίζονται στη μελέτη πραγματικών περιπτώσεων, παρά να είναι μία προκαθορισμένη διδακτική αλληλουχία.
- Η γνώση να δομείται σε σχέση με το πλαίσιο και το περιεχόμενο που εφαρμόζεται.
- Να ενθαρρύνει τις πρακτικές που στηρίζονται στον συλλογισμό.
- Να υποστηρίζει τη συνεργατική δόμηση της γνώσης και όχι τον ανταγωνισμό μεταξύ των μαθητών.

Τα πολυμέσα και τα υπερμέσα ικανοποιούν σε μεγάλο βαθμό τις παραπάνω προϋποθέσεις και επιτρέπουν μία μη γραμμική πορεία στη διδασκαλία, αφήνοντας την επιλογή της πορείας στον μαθητευόμενο. Έτσι χρησιμοποιούνται κατεξοχήν για την υλοποίηση εποικοδομικών αντιλήψεων. Ωστόσο, από τον φόβο μήπως τελικά ο μαθητευόμενος αποπροσανατολιστεί, μήπως "χαθεί" στον κυκεώνα υπερσυνδέσμων και επιλογών, αρκετοί προτείνουν ένα συνδυασμό παλιών και νέων διδακτικών μεθόδων και σταδιακή αύξηση του ελέγχου που έχει ο μαθητευόμενος στη διδακτική διαδικασία (ενδεικτικά, Jonassen et al., 1993).

Από την παραπάνω συνοπτική παρουσίαση των τριών πρώτων γενιών εκπαιδευτικής χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, είναι εύκολο να διαπιστωθούν οι ατέλειές τους. Η πρώτη γενιά θεώρησε τη μάθηση ως μονόδρομο, ως κάτι που εύκολα μπορεί να περιγραφεί, να καταταμηθεί και να αποκτηθεί. Δεν λαμβάνει υπόψη τις ιδιαίτερες (ατομικές) ανάγκες των μαθητών και αποκόπτει τη μάθηση από την κοινωνική της διάσταση, θεωρώντας την ως κάτι ανεξάρτητο. Η δεύτερη και τρίτη γενιά αντιμετώπισαν τη μάθηση πιο σφαιρικά. Ωστόσο, στη δεύτερη γενιά οι αλληλεπιδράσεις μαθητή-υπολογιστή είναι σε μεγάλο βαθμό εκ των προτέρων σχεδιασμένες, πράγμα που σημαίνει ότι τελικά οδηγούν τη μάθηση σε συγκεκριμένα κανάλια. Η τρίτη γενιά πλησιάζει πολύ στο να δώσει τον έλεγχο της μαθησιακής πορείας στον εκπαιδευόμενο και να του επιτρέψει να δομήσει ο ίδιος, με τον δικό του ρυθμό, τη μάθησή του. Ωστόσο, οι αντιρρήσεις στον εντελώς "ανοικτό" σχεδιασμό, οδηγούν στο να τίθενται αρκετοί περιορισμοί.

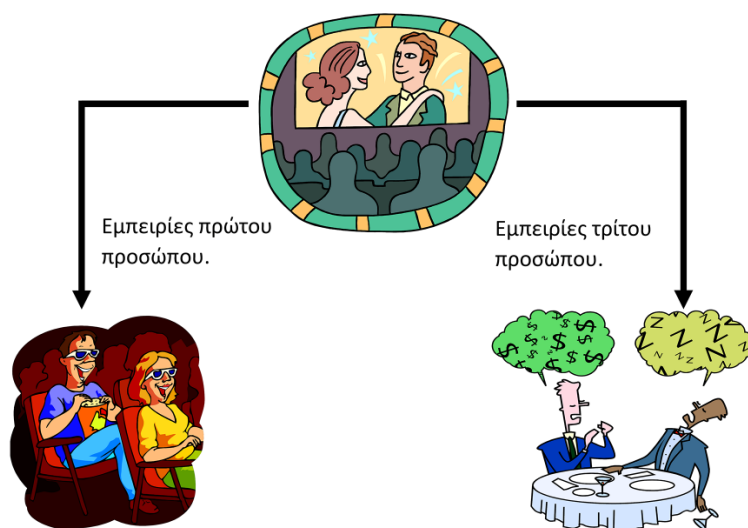


## 9.2. Η τέταρτη γενιά εκπαιδευτικής χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών

Η τέταρτη γενιά εκπαιδευτικής χρήσης των υπολογιστών, στην οποία ανήκουν οι εφαρμογές ΕΠ, υλοποιεί και αυτή όπως και η προηγούμενη τις βασικές αρχές του εποικοδομισμού. Σύμφωνα όμως με τον Winn (1993) η γενιά αυτή προχωρά ένα βήμα παραπέρα. Ο Winn, ασκώντας έντονη κριτική στις γνωστικές θεωρίες, σημειώνει ότι στις εφαρμογές ΕΠ δεν είναι απαραίτητη η χρήση συμβόλων.

Αυτό το σημείο αξίζει να αναλυθεί παραπάνω. Οι γνωστικές θεωρίες αντιμετωπίζουν τον ανθρώπινο εγκέφαλο σαν έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή που η βασική του λειτουργία είναι ο πνευματικός χειρισμός συμβόλων (Johnson-Laird, 1988· Munakata, 2006). Η γνώση δεν είναι παρά ο αποτελεσματικός χειρισμός αυτών των συμβόλων. Ωστόσο έτσι δεν εξηγούνται πλήρως όλες οι πνευματικές διεργασίες, ούτε και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται χειρισμός και αντιμετώπιση καταστάσεων όπου δε γίνεται χρήση συμβόλων. Σε ποιες όμως περιπτώσεις γίνεται και σε ποιες δε γίνεται χρήση συμβόλων;

Στο Κεφάλαιο "6.1. Η Εικονική Πραγματικότητα ως γνωστικό εργαλείο", αναφέρθηκε ότι οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται τον κόσμο με δύο τρόπους, από εμπειρίες "πρώτου προσώπου" και από εμπειρίες "τρίτου προσώπου". Οι πρώτες προέρχονται από την καθημερινή επαφή με τον κόσμο που περιβάλλει το άτομο, είναι άμεσες, προσωπικές, υποκειμενικές, κατά κάποιον τρόπο "αθόρυβες", γιατί δε γίνεται αντιληπτό ότι αποκτήθηκε κάποια μορφή γνώσης. Κυρίως όμως λόγω της αμεσότητάς τους με το περιβάλλον, δεν απαιτούν την ύπαρξη συμβόλων. Οι δεύτερες προέρχονται από την περιγραφή κάποιου άλλου, είναι έμμεσες, ρητές και πάντα το άτομο γνωρίζει ότι έμαθε κάτι γιατί του το δίδαξαν. Για να γίνει ωστόσο εφικτή η επικοινωνία μεταξύ αυτού που εξηγεί και αυτού που μαθαίνει, είναι απαραίτητη η ύπαρξη συμβόλων, όπως ο προφορικός λόγος, τα γράμματα και οι αριθμοί. Για παράδειγμα, εμπειρίες "πρώτου προσώπου" είναι τα συναισθήματα που νιώθει κάποιος όταν παρακολουθεί μία κινηματογραφική ταινία. Εμπειρίες "τρίτου προσώπου" είναι όταν του εξηγούν, για παράδειγμα, την υπόθεση και τον ρόλο των πρωταγωνιστών σε μία σκηνή. Η εμπειρία που βιώνει το άτομο δεν είναι ίδια με την πρώτη περίπτωση, αφού "φιλτράρεται" από κάποιον τρίτο (Σχήμα 17).



Σχήμα 17. Εμπειρίες "πρώτου" και "τρίτου" προσώπου

Οι εμπειρίες "πρώτου προσώπου" δεν απαιτούν ιδιαίτερη και συντονισμένη σκέψη από το άτομο. Στην πραγματικότητα οι περισσότερες ενέργειες στην καθημερινή ζωή γίνονται έτσι. Κάποιος δε σχεδιάζει εκ των προτέρων πώς θα πλυθεί, πώς θα ντυθεί, πώς θα φάει, πώς θα κοιμηθεί. Απλά το κάνει. Η δράση πηγάζει άμεσα από την αντίληψη που έχει το άτομο για τον κόσμο, χωρίς την παρεμβολή έντονης και συνειδητής σκέψης. Η σκέψη παρεμβάλλεται στη δράση όταν υπάρχει κάποιο δίλημμα ή όταν κάτι πάει λάθος ή όταν χρειάζεται προσοχή για να αντιμετωπιστεί μία κατάσταση.

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και στις τρεις πρώτες γενιές προσφέρουν εμπειρίες "τρίτου προσώπου" και αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους:

- Ο υπολογιστής παρεμβάλλεται μεταξύ του ατόμου και των πληροφοριών που περιέχει.
- Οι πληροφορίες αυτές προέρχονται από κάποιον τρίτο, κάποιος τις έχει εισαγάγει στον υπολογιστή.
- Οι πληροφορίες δεν είναι άμεσα διαθέσιμες, αλλά μέσω του περιβάλλοντος διεπαφής (interface), της οθόνης, του ποντικιού, του πληκτρολογίου, που όλα χρησιμοποιούν συστήματα συμβόλων.
- Τα σύμβολα αυτά απαιτούν κάποια σκέψη από τον χρήστη, ώστε να μπορεί να τα χρησιμοποιεί αποτελεσματικά.

Συνεπώς, όσο σημαντικός και αν είναι ο ρόλος του τρόπου που παρουσιάζεται η πληροφορία (δεύτερη γενιά), όσο σημαντική και αν είναι η αλληλεπίδραση με αυτή (τρίτη γενιά), οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές δεν προσφέρουν εμπειρίες "πρώτου προσώπου", που, όπως έγινε σαφές, καταλαμβάνουν σημαντικό μέρος της καθημερινής ζωής. Ο εποικοδομισμός, κατά τον Winn (1993), παρέχει αρκετές ιδέες για το πώς θα μπορούσαν να αποκτηθούν εμπειρίες "πρώτου προσώπου" με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Δύο είναι τα κυριότερα σημεία στα οποία επικεντρώνεται το ενδιαφέρον [39]:

- Πρέπει να απουσιάζει το περιβάλλον διεπαφής υπολογιστή-μαθητή, κατά κάποιον τρόπο ο ηλεκτρονικός υπολογιστής πρέπει να είναι "αόρατος". Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης-μαθητής θα πρέπει να χρησιμοποιεί για την επικοινωνία του με τον υπολογιστή όχι τις παραδοσιακές συσκευές (ποντίκι, πληκτρολόγιο, οθόνη), αλλά άλλες που να μη χρησιμοποιούν σύμβολα.
- Στις εφαρμογές αυτές η αλληλεπίδραση μεταξύ ατόμου και υπολογιστή ή μεταξύ ατόμων δεν πρέπει να είναι προσχεδιασμένη, αλλά πρέπει εν δυνάμει να είναι δυνατή κάθε είδους αλληλεπίδραση.

Τέτοια περιβάλλοντα ανήκουν στον χώρο της ΕΠ. Όπως αναφέρθηκε σε αρκετά σημεία αυτού του εγγράφου, σκοπός της ΕΠ είναι, μέσω της εμπύθισης, της παρουσίας και τη αλληλεπίδρασης, η δημιουργία μη διαμεσολαβημένων εμπειριών (Schafar, 2016), που, στην ουσία, σημαίνει ότι απουσιάζει η ανάγκη χρήσης συμβόλων. Έτσι, μπορεί να υποστηριχθεί ότι τα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα ΕΠ επιτρέπουν αλληλεπιδράσεις στις οποίες δεν χρησιμοποιούνται σύμβολα, με αποτέλεσμα οι εμπειρίες να είναι πιο άμεσες σε ατομικό επίπεδο, και εξαιτίας του ανοιχτού σχεδιασμού και των μη προκαθορισμένων αλληλεπιδράσεων, η πορεία της μάθησης και τα αποτελέσματά της να μην είναι προκαθορισμένα. Ως εκ τούτου, η μάθηση σε ένα περιβάλλον ΕΠ είναι μία δυναμική διαδικασία καθοριζόμενη από τον χρήστη που θέτει τους στόχους και τους μεταβάλλει κατά βούληση.

### 9.3. Περισσότερα για τον εποικοδομισμό

Όπως έχει ήδη διαφανεί από την ανάλυση που προηγήθηκε για τις γενιές εκπαιδευτικής χρήσης των υπολογιστών, η ΕΠ είναι πολύ κοντά στις αρχές του εποικοδομισμού. Η ανάλυση που ακολουθεί ερμηνεύει γιατί η ΕΠ είναι ιδιαίτερα συμβατή με τη μαθησιακή διαδικασία έτσι όπως την προσεγγίζει ο αυτή η θεωρία μάθησης.

Όσον αφορά τη μαθησιακή διαδικασία, ο εποικοδομισμός γενικά υποστηρίζει ότι η νέα γνώση που αποκτά το άτομο στηρίζεται στις προηγούμενες γνώσεις και εμπειρίες του. Όταν αντιμετωπίζει μία νέα κατάσταση, αυτή είτε πρέπει να συμφιλιωθεί με τις προηγούμενες γνώσεις και εμπειρίες είτε να τις αλλάξει. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η γνώση και η εικόνα για τον κόσμο δομείται ενεργητικά από το άτομο μέσω της εμπειρίας και του συλλογισμού πάνω σε αυτή την εμπειρία (Colburn, 2000). Επίσης, οι εκπαιδευόμενοι χρειάζονται περιβάλλοντα πλούσια σε κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, ώστε να εξερευνούν διάφορα θέματα με τους διδάσκοντες και τους συμμαθητές τους. Ευκαιρίες για συνεργασία με πιο έμπειρους καθοδηγητές είναι ιδιαίτερα κρίσιμες για την ανάπτυξη ανώτερων γνωστικών λειτουργιών (Ertmer & Newby, 2013).

Επιπρόσθετα, η προσέγγιση της ανακαλυπτικής μάθησης, που σχετίζεται άμεσα με τον εποικοδομισμό, ενδιαφέρεται για το πώς μπορεί να γίνει η εκπαίδευση πιο προσαρμοσμένη στις ανάγκες αυτού που μαθαίνει και θεωρεί ότι η μάθηση είναι μία ενεργός διαδικασία κατά την οποία τα άτομα κάνουν ερωτήσεις και δίνουν τις δικές τους δοκιμαστικές απαντήσεις. Η ενεργός συμμετοχή επιτυγχάνεται μέσω της ανακαλυπτικής μάθησης, που επιτρέπει στα άτομα να εξερευνήσουν εναλλακτικές λύσεις και να κατανοήσουν τις σχέσεις μεταξύ διαφόρων ιδεών (Bruner, 1961, 1966, 2009). Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι να καθοδηγεί με διάλογο, έτσι ώστε να υποβοηθά το χτίσιμο της γνώσης πάνω σε προϋπάρχουσες δομές. Αρκετοί άλλοι ερευνητές, όπως ο Papert (1980, 1991) συνεισέφεραν σημαντικά στην ανάπτυξη της θεωρίας του εποικοδομισμού, ειδικά στον τομέα των εκπαιδευτικών εφαρμογών της τεχνολογίας. Το σημείο συμφωνίας των ερευνητών είναι ότι επιδιώκουν να προσφέρουν σε όσους μαθαίνουν ευκαιρίες για γνωστική ανάπτυξη μέσω της εξερεύνησης, της μη δομημένης μάθησης (unstructured learning), της ενεργού συμμετοχής και της επίλυσης προβλημάτων.

Γενικά, ως εκπαιδευτική πρακτική ο εποικοδομισμός περιλαμβάνει την ενθάρρυνση του μαθητή να αναλάβει δράση, να ασχοληθεί με την επίλυση πραγματικών προβλημάτων, να πειραματιστεί και στη συνέχεια να συζητήσει πώς η αντίληψη που είχε για τα πράγματα άλλαξε. Ο εκπαιδευτικός, από την άλλη πλευρά, φροντίζει έτσι ώστε κάθε δραστηριότητα να δομείται πάνω σε προηγούμενες γνώσεις του μαθητή και γενικά ο ρόλος του είναι να υποβοηθά την όλη διαδικασία, δεν είναι ο ίδιος φορέας και μεταδότης της γνώσης.

Όπως υπογραμμίζουν οι Brooks και Brooks (1999), σε μία τάξη οργανωμένη με τα εποικοδομιστικά πρότυπα:

- Ενθαρρύνεται η αυτονομία και η πρωτοβουλία των μαθητών.
- Οι ερωτήσεις προς τους μαθητές είναι ανοικτού τύπου και δίνεται αρκετός χρόνος για να απαντηθούν. Ενθαρρύνεται η κριτική σκέψη.
- Οι μαθητές συνομιλούν μεταξύ τους ή με τον εκπαιδευτικό.

- Οι δραστηριότητες στην τάξη προκρίνουν τη διατύπωση υποθέσεων και τη συζήτηση. Ως διδακτικό υλικό χρησιμοποιούνται πρωτογενείς πηγές πληροφοριών, ανεπεξέργαστα δεδομένα και αλληλεπιδραστικό υλικό.

Στα παραπάνω, οι Roblyer και Doering (2012) συμπληρώνουν:

- Οι δραστηριότητες δίνουν έμφαση στην εξερεύνηση, στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων σε τεχνολογικά πλούσια περιβάλλοντα.
- Χρησιμοποιείται η συνεργασία σε ομάδες.
- Η αξιολόγηση στηρίζεται στην παρουσίαση εργασιών και projects.

Ωστόσο, έχει ασκηθεί κριτική στον εποικοδομιστικό για ορισμένα θέματα. Ένα τέτοιο θέμα αφορά την προηγούμενη γνώση των μαθητών. Σε ένα εποικοδομικό διδακτικό περιβάλλον, ο εκπαιδευτικός θα πρέπει να προσδιορίσει αρχικά τι γνωρίζει ο μαθητής και ποια είναι τα ενδιαφέροντά του και από εκείνο το σημείο να αρχίσει η σταδιακή δόμηση της γνώσης. Συχνά όμως οι εποικοδομικές στρατηγικές στηρίζουν τη μάθηση στην επίλυση προβλημάτων που αφορούν σε περίπλοκες καταστάσεις, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους τις δεξιότητες που απαιτούνται για την αντιμετώπισή τους. Αναμφίβολα κάποιοι μαθητές μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτές τις καταστάσεις. Τι γίνεται όμως με αυτούς που δεν μπορούν; Πόση και τι είδους προϋπάρχουσα γνώση απαιτείται ώστε να αντιμετωπίζουν όλοι οι μαθητές αυτά τα θέματα (Dick, 1991); Σε αυτή την περίπτωση, ο εκπαιδευτικός ή η τεχνολογία πρέπει να είναι σε θέση να προσφέρουν βοήθεια στους μαθητές που την έχουν ανάγκη, ακόμα και αν αυτό πρέπει να γίνει σε μεγάλη κλίμακα.

Αρκετοί είναι αυτοί που υποστηρίζουν ότι ο εποικοδομισμός αντιμετωπίζει καλύτερα ορισμένα γνωστικά θέματα συγκριτικά με άλλα (Ertmer & Newby, 2013· Jonassen et al., 1993). Γενικά οι εποικοδομικές στρατηγικές επιδιώκουν να διδάξουν επίλυση προβλημάτων σε όχι καλά δομημένα (ill-structured) γνωστικά πεδία. Επίσης, αντί να καλύπτεται σε βάθος ένα θέμα, προτιμάται να καλύπτεται ένα ευρύ πεδίο θεμάτων ταυτόχρονα. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις που είναι πιο επιθυμητή η απόκτηση γνώσης σε ένα και μόνο γνωστικό πεδίο.

Αρκετή κριτική έχει ασκηθεί στον εποικοδομιστικό για την απόρριψη της αξιολόγησης μέσω αντικειμενικών μεθόδων και κριτηρίων. Αν και αξιολόγηση γίνεται μέσω άλλων μεθόδων (ομαδικές εργασίες, projects, κτλ.), αυτές δεν προσφέρουν στοιχεία για την ατομική επίδοση. Δεν δείχνουν δηλαδή κατά πόσο ένας μαθητής έμαθε κάτι ή απέκτησε κάποιες δεξιότητες.

#### **9.4. Η σχέση εποικοδομισμού και τεχνολογίας**

Τα παιδιά του σήμερα ζουν σε ένα περιβάλλον πολύ διαφορετικό από αυτό που ζούσαν τα παιδιά του χθες. Οι συνθήκες ήταν τέτοιες, που ένα ξύλινο σπαθί, ένα κομμάτι χαρτόνι, μία σκούπα και πολλή φαντασία αρκούσαν για να μετατραπούν τα παιδιά σε ιππότες, να πολεμήσουν σε μαγικούς κόσμους. Η επικοινωνία γινόταν είτε πρόσωπο με πρόσωπο είτε με αλληλογραφία. Τα παιδιά του σήμερα από τη γέννησή τους βρίσκονται μέσα σε έναν κόσμο τεχνολογίας. Παίζουν ηλεκτρονικά παιχνίδια, χειρίζονται με μεγάλη άνεση κάθε είδος ηλεκτρονικής συσκευής.

Η τεχνολογία σε ένα εποικοδομικό εκπαιδευτικό περιβάλλον έχει ένα σημαντικό ρόλο στις καθημερινές δραστηριότητες, αλλά δε γίνεται η ίδια αντικείμενο της διδασκαλίας. Ένα τεχνολογικό περιβάλλον λειτουργεί σαν ένα εργαστήριο μέσα στο οποίο οι μαθητές μπορούν να παρατηρήσουν,

να εξασκηθούν, να θέσουν ερωτήσεις και να αξιολογήσουν τη γνώση (Boethel & Dimock, 1999). Υπάρχουν δύο σημαντικά πλεονεκτήματα στην εφαρμογή εποικοδομικών μεθόδων μέσω της τεχνολογίας. Πρώτον, εκπαιδευτικά περιβάλλοντα που στηρίζονται στην τεχνολογία μπορούν και παρέχουν γνωστικές καταστάσεις που απαιτούν επίλυση προβλημάτων και λήψη αποφάσεων (Tam, 2000). Δεύτερον, επειδή για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ψηφιακά μέσα, αυτά είναι απόλυτα συμβατά με την ηλεκτρονική καθημερινότητα των παιδιών, μέσα και έξω από την τάξη.

Η τεχνολογία παρέχει εργαλεία που προηγουμένως δεν ήταν διαθέσιμα. Όσοι μαθαίνουν έχουν τη δυνατότητα να αντλούν πληροφορίες με διάφορες μορφές (κείμενο, εικόνες, ήχος) και να εξετάζουν διαφορετικές απόψεις καθώς δομούν τη γνώση σε κάποιο θέμα. Η τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα να αφιερώνουν περισσότερη ώρα στην παραπάνω εργασία, αλλά και να συνεργάζονται με τους ομότιμους τους αλλά και με τους εκπαιδευτικούς (Boethel & Dimock, 1999). Στα παλαιότερα χρόνια, ο χώρος από όπου μπορούσαν να αντληθούν πληροφορίες ήταν περιορισμένος. Η κοινωνική αλληλεπίδραση και η συνεργασία, που ενθαρρύνονται από το εποικοδομικό μοντέλο, ενισχύονται από τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο, που επιτρέπει κυριολεκτικά την επικοινωνία με κάθε περιοχή του κόσμου (Tam, 2000). Αντίστοιχα, τα πολυμέσα και τα υπερμέσα ενθαρρύνουν τη δημιουργικότητα. Εφαρμογές πολυμέσων που παρέχουν καταστάσεις επίλυσης προβλημάτων βοηθούν τα άτομα να αναγνωρίσουν και να βελτιώσουν τις στρατηγικές επίλυσης προβλημάτων και να μεταφέρουν τη γνώση σε υψηλές πνευματικές δεξιότητες (higher-order skills) (Roblyer & Doering, 2012).

Όμως πρέπει να σημειωθεί ότι η επιτυχία ή η αποτυχία των τεχνολογικά πλούσιων εποικοδομικών περιβαλλόντων εξαρτάται σε τελική ανάλυση από τους εκπαιδευτικούς. Αυτοί έχουν να αντιμετωπίσουν σε καθημερινή βάση το έργο της διδασκαλίας των μαθημάτων. Η εφαρμογή της τεχνολογίας και του εποικοδομισμού στην τάξη απαιτεί καλό σχεδιασμό και άνεση χρόνου. Δυστυχώς, ούτε τα μέσα είναι πολλές φορές διαθέσιμα ούτε ο χρόνος. Όταν μάλιστα υπάρχει πίεση χρόνου, τελικά θα επιστρέψουν στους παλιούς τρόπους διδασκαλίας, σε αυτούς που και οι ίδιοι διδάχθηκαν. Για να υπάρξει αλλαγή στον τρόπο που διδάσκονται οι μαθητές, πρέπει να υπάρξει αλλαγή στην εκπαίδευση των εκπαιδευτικών. Πρέπει και αυτοί να βιώσουν, ως μαθητές, τα νέα μαθησιακά περιβάλλοντα (Fokides et al., 2019).

## **9.5. Η σχέση Εικονικής Πραγματικότητας και εποικοδομισμού**

Η ΕΠ συγκεντρώνει τα παραπάνω πλεονεκτήματα των πολυμέσων και υπερμέσων, αλλά επειδή χρησιμοποιεί μία διαφορετική τεχνολογία, προσθέτει επιπλέον χαρακτηριστικά. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο "6.2. Οι εκπαιδευτικές δυνατότητες της Εικονικής Πραγματικότητας", οι εφαρμογές ΕΠ επιτρέπουν στους χρήστες να:

- Μεταχειρίζονται και να αλληλεπιδρούν με αντικείμενα όπως και στον φυσικό κόσμο, αλλά και να μπορούν να αλλάζουν τα σχετικά τους μεγέθη, να εφαρμόζουν ή να ανατρέπουν τους φυσικούς νόμους.
- Ελέγχουν τον χρόνο. Μπορεί να μελετήσουν μέσα σε λίγα λεπτά την εξέλιξη ενός φαινομένου το οποίο στην πραγματικότητα απαιτεί εκατοντάδες, χιλιάδες ή ακόμα και εκατομμύρια χρόνια για να ολοκληρωθεί, αλλά και το αντίστροφο, να μελετήσουν δηλαδή ένα φαινόμενο που στην πραγματικότητα συμβαίνει σε απειροελάχιστο χρόνο.

- Δέχονται πληροφορίες που κάτω από άλλες συνθήκες δε θα ήταν διαθέσιμες στις ανθρώπινες αισθήσεις.
- Απεικονίζουν και να μεταχειρίζονται αντικείμενα και γεγονότα που δεν έχουν φυσική μορφή, όπως οι μαθηματικές εξισώσεις.
- Αλληλεπιδρούν με άλλους χρήστες παρόντες στον εικονικό κόσμο.

Η εμπύθιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον, η παρουσία, η αλληλεπίδραση, η απουσία περιβάλλοντος διεπαφής και κυρίως η μη-συμβολική επικοινωνία και οι εμπειρίες "πρώτου προσώπου" είναι τα κλειδιά για τη συμβατότητα της ΕΠ με τη θεωρία του εποικοδομισμού. Συνεπώς, με την ΕΠ είναι δυνατό να διδαχθούν κανόνες και αφηρημένες έννοιες χωρίς τη χρήση της γλώσσας και άλλων συμβόλων. Η εμπειρία (πραγματική ή εικονική) με την οποία συνδέεται μία ιδέα ή έννοια είναι σημαντική τόσο για την κατανόηση της έννοιας όσο και για τη μετέπειτα χρήση της (Jonassen, 1991). Με άλλα λόγια, η εμπειρία είναι το "όχημα" για τη δόμηση και τη χρήση της γνώσης. Όπως σημειώθηκε, επειδή η ΕΠ χρησιμοποιεί μη-συμβολική αλληλεπίδραση, μπορεί να δώσει τη δυνατότητα στους εκπαιδευόμενους να κατανοήσουν διαισθητικά, χωρίς τη χρήση των συμβολικών αναπαραστάσεων του αντίστοιχου γνωστικού πεδίου, ακόμα και αφηρημένες έννοιες, δίνοντας έτσι εμπειρίες σε πρωτογενές επίπεδο.

Η ΕΠ δίνει εμπειρίες μέσω της "πραγματικής" χρήσης αντικειμένων. Έτσι, απαιτεί αλληλεπίδραση και κατά συνέπεια ενθαρρύνεται η ενεργός συμμετοχή. Έτσι, όσοι μαθαίνουν έχουν τη δυνατότητα ελέγχου της μαθησιακής διαδικασίας (Pantelidis, 1993). Αντικατοπτρίζοντας τον πραγματικό κόσμο, τους δίνεται η ευκαιρία να μάθουν από τα ίδια τους τα λάθη χωρίς να υπάρχουν συνέπειες και χωρίς να κινδυνεύουν. Μάλιστα, αυτό μπορεί να γίνει με τη μορφή παιχνιδιού, ο ρόλος του οποίου είναι καθοριστικός (Bruner, 1961, 1966, 2009). Η ΕΠ παρέχει τη δυνατότητα προσαρμογής του διδακτικού υλικού στις ατομικές ανάγκες και το γνωστικό ύψος του καθένα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορούν να βιώσουν μία εμπειρία με τον δικό τους βηματισμό, αργό ή γρήγορο, χωρίς να περιορίζονται από τα χρονικά πλαίσια του συμβατικού ωρολογίου προγράμματος (Salzman et al., 1999). Λύνεται, με τον τρόπο αυτό, το πρόβλημα του πόση προηγούμενη γνώση χρειάζεται κάποιος ώστε να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις ενός εποικοδομικού διδακτικού περιβάλλοντος.

Όσον αφορά τη δυνατότητα ομαδικής εργασίας, υπάρχει η γενική αίσθηση ότι όταν τα άτομα εργάζονται ομαδικά πετυχαίνουν καλύτερα γνωστικά αποτελέσματα, επειδή υπάρχουν περισσότεροι γνωστικοί πόροι (Slavin, 1980). Ωστόσο, στις περισσότερες εφαρμογές το πρόβλημα είναι η ανάπτυξη δεξιοτήτων που ευνοούν τη συνεργασία, όπως η αίσθηση της ατομικής ευθύνης μέσα στην ομάδα, το ομαδικό πνεύμα, η ανάληψη πρωτοβουλιών και ευθυνών. Επιπλέον, δεν είναι εξασφαλισμένη η ίση προσπάθεια και επίδοση στα μέλη της ομάδας. Συνεπώς χρειάζεται αρκετή προσοχή στον σχεδιασμό και την υλοποίηση πρακτικών συνεργατικής μάθησης, ειδικά σε περιβάλλοντα ΕΠ. Είναι ωστόσο γεγονός ότι ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον ΕΠ υποστηρίζει την ομαδική εργασία με πληρέστερο τρόπο συγκριτικά με τα υπερμέσα και τα πολυμέσα. Αυτό γιατί σε ένα συνεργατικό περιβάλλον ΕΠ μπορούν να συνυπάρχουν πολλοί χρήστες στον ίδιο εικονικό χώρο, να έχουν τα ίδια οπτικοακουστικά ερεθίσματα, να μοιράζονται τον έλεγχο της ροής των πραγμάτων και, παράλληλα, να επικοινωνούν και να συζητούν μεταξύ τους. Τα εικονικά διαμοιραζόμενα περιβάλλοντα, η εικονική τάξη και η χρήση τρισδιάστατων μορφών που αντικαθιστούν τη φυσική παρουσία σε ένα δικτυακό περιβάλλον (avatars) είναι μερικοί τρόποι με τους οποίους η ΕΠ υλοποιεί τις αντιλήψεις της συνεργατικής μάθησης.

Τα κίνητρα για μάθηση παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκπαιδευτική διαδικασία και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό ενός εκπαιδευτικού περιβάλλοντος. Στα κίνητρα για μάθηση το ενδιαφέρον εστιάζεται πλέον όχι στο αν κάποιος μπορεί να μάθει, αλλά στο τον κάνει να θέλει να μάθει (Fokides, 2020). Το περιβάλλον πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να παρέχει στοιχεία που κεντρίζουν το ενδιαφέρον, και μάλιστα με μεγάλη χρονική διάρκεια, πράγμα που δεν είναι πάντοτε εξασφαλισμένο. Τα κίνητρα για μάθηση εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το ενδιαφέρον και οι περισσότεροι άνθρωποι βρίσκουν την ΕΠ μία εξαιρετικά ενδιαφέρουσα εμπειρία (ενδεικτικά, Bertrand et al., 2017· Fabola & Miller, 2016· Ritter et al., 2018· Rupp et al., 2019). Δεν είναι όμως μόνο το ενδιαφέρον που παρέχει κίνητρα για μάθηση στην ΕΠ. Είναι ο ευρύτερος συνδυασμός αλληλεπίδρασης, ρεαλισμού, το κέντρισμα της φαντασίας, η πρόκληση, το παιχνίδι (Psothka, 1996). Όπως μάλιστα σημειώνει ο Psothka (1996), δεν είναι μόνο το καινούργιο και το άγνωστο που συγκινεί τους χρήστες, η ΕΠ είναι μία τεχνολογία που ανοίγει πολλά νέα μονοπάτια και ενδυναμώνει τη μάθηση.

Τέλος, όσον αφορά το θέμα της αξιολόγησης, η ΕΠ έχει τις δυνατότητες ενός πολύ ισχυρού εργαλείου αξιολόγησης και ελέγχου της επίδοσης των εκπαιδευομένων, γιατί επιτρέπει την καταγραφή της κάθε συνεδρίας σε ένα εικονικό περιβάλλον (Fokides & Atsikrasi, 2018). Έτσι, πέρα από τον τυπική αξιολόγηση, που μπορεί να περιλαμβάνει τον έλεγχο των γνώσεων που αποκτήθηκαν, εκπαιδευτές και εκπαιδευόμενοι μπορούν να μελετήσουν αναλυτικά τις ενέργειες που έκαναν μέσα στον εικονικό κόσμο και να εξάγουν χρήσιμα συμπεράσματα.



## Κεφάλαιο 10. Εικονική Πραγματικότητα και Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση



Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται ένα παράδειγμα για το πώς μπορεί η ΕΠ να αναδιαμορφώσει την εκπαίδευση. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε η εξ αποστάσεως εκπαίδευση (ΕΞΑΕ) ως ένας τομέας που η ΕΠ μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο. Με δεδομένο ότι οι τεχνολογικές εξελίξεις είναι διαρκείς και ότι υπάρχει η ανάγκη η ΕΞΑΕ και να προσαρμοστεί σε αυτές, αλλά και να αυξήσει τόσο την αποτελεσματικότητά της όσο και την απήχησή της, θα είχε ενδιαφέρον να εξεταστεί ο ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει η ΕΠ σε αυτή την αναπροσαρμογή.

### **10.1. Προβλήματα στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση**

Οι ΤΠΕ παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκπαίδευση. Μάλιστα, η σπουδαιότητα του ρόλου τους τονίστηκε ακόμα περισσότερο λόγω των σημαντικών ανατροπών, σε παγκόσμιο επίπεδο, που προκάλεσε η πανδημία του Covid-19 που ξεκίνησε στα τέλη του 2019. Αυτή, είχε ως αποτέλεσμα η ΕΞΑΕ με τη χρήση εργαλείων της τεχνολογίας να αποδειχθεί μονόδρομος.

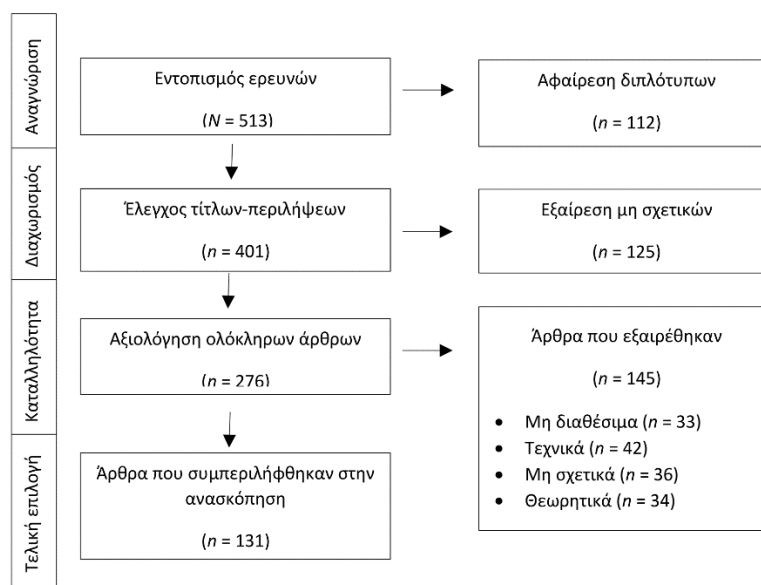
Ένας σύντομος ορισμός για την ΕΞΑΕ θα την περιέγραφε ως την εκπαίδευση ατόμων που δεν έχουν φυσική παρουσία σε ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα (Kaplan & Haenlein, 2016). Γενικά, η ΕΞΑΕ στοχεύει στη συνδεδεμένη και συνεργατική μάθηση μέσα από εμπλουτισμένα προγράμματα που χαρακτηρίζονται από τη μαζικότητα και την ελεύθερη -συνήθως- πρόσβασή τους από τους εκπαιδευόμενους (Siemens, 2005). Υπάρχουν διάφορα είδη της, όπως σύγχρονη, ασύγχρονη και υβριδική. Τα MOOCs είναι μία σχετικά πρόσφατη μορφή ΕΞΑΕ που προσφέρει αλληλεπιδραστικά μαθήματα σε μεγάλη κλίμακα, συχνά, με ελεύθερη πρόσβαση. Η παροχή του εκπαιδευτικού υλικού (εγγενώς πολυμεσικού, αφού περιλαμβάνει κείμενα, ηχητικά αρχεία, εικόνες και βίντεο) μπορεί να γίνεται σύγχρονα (για παράδειγμα, με τηλεδιάσκεψη), ασύγχρονα (για παράδειγμα, μέσα από μια πλατφόρμα διαχείρισης υλικού, Learning Management System), ή συνδυαστικά. Τέλος, όλα τα παραπάνω μπορούν να έχουν τη μορφή εικονικής κοινότητας, το αντίστοιχο δηλαδή, της φυσικής τάξης.

Παρόλα αυτά, η ΕΞΑΕ δεν είναι απαλλαγμένη από προβλήματα. Μερικά από αυτά είναι περιορισμοί στον αριθμό των ατόμων που μπορούν να εισέρχονται ταυτόχρονα σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα και η έλλειψη αλληλεπίδρασης μεταξύ των εκπαιδευομένων (El Kabtane et al., 2020). Το πιο σημαντικό ίσως πρόβλημα είναι η εγκατάλειψη των μαθημάτων από αρκετούς εκπαιδευόμενους, εξαιτίας έλλειψης ενδιαφέροντος, μη καλής επικοινωνίας με τον διδάσκοντα, ή του όγκου της ύλης που ο εκπαιδευόμενος πρέπει να καλύψει μόνος του (Yousef et al., 2014). Άλλα ζητήματα που καλείται να ξεπεράσει η ΕΞΑΕ είναι η ανάγκη για συχνή επικοινωνία μεταξύ εκπαιδευτή και εκπαιδευομένου και η ανάγκη για συχνή καθοδήγηση του πρώτου από τον δεύτερο. Όταν δεν συμβαίνουν αυτά, τα μαθησιακά αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά και το όλο σχήμα μπορεί να οδηγηθεί στην αποτυχία (Garrison, 2011). Άλλα εμπόδια, από τη μεριά του μαθητευόμενου, είναι η απόσπασή του από εξωγενείς παράγοντες, τεχνικά προβλήματα και η ανάγκη για κάποια σχετική εμπειρία στη χρήση εργαλείων ΤΠΕ. Συνολικά, μελέτες έχουν δείξει ότι οι συμμετέχοντες σε προγράμματα ΕΞΑΕ εγκαταλείπουν τις σπουδές τους πολύ πιο συχνά από ότι σε προγράμματα δια ζώσης εκπαίδευσης, εξαιτίας προβλημάτων στη γλώσσα, στη διαχείριση του χρόνου, των ικανοτήτων που απαιτούνται στον χειρισμό εργαλείων των ΤΠΕ και της απουσίας φυσικής αλληλεπίδρασης μεταξύ εκπαιδευτή και εκπαιδευόμενου (Xu & Jaggars, 2011).

## 10.2. Σύνομη ανασκόπηση πεδίου για τη σχέση ΕΠ και ΕΞΑΕ

Επιδιώκοντας έναν (σχετικά σύντομο) προσδιορισμό της έκτασης και των θεμάτων που απασχόλησαν τους ερευνητές σχετικά με τη σχέση μεταξύ ΕΠ και ΕΞΑΕ και των ευρημάτων που υπήρξαν, διενεργήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση πεδίου. Η ανασκόπηση πεδίου είναι μία δημοφιλής προσέγγιση για τη σύνθεση ερευνητικών στοιχείων (Daudt et al., 2013) και κατάλληλη για τον προσδιορισμό της έκτασης της βιβλιογραφίας σε ένα θέμα, δίνοντας μία σαφή ιδέα για τον όγκο των διαθέσιμων μελετών και των στοιχείων τους, ειδικά στις περιπτώσεις αναδυόμενων ερευνητικών πεδίων (Munn et al., 2018).

Η αναζήτηση έγινε στις βάσεις ERIC, LearnTechLib και Scopus και αφορούσε τα έτη 2010-2020. Ως όροι αναζήτησης χρησιμοποιήθηκαν οι λέξεις "virtual reality" και ("distance education", ή "distance learning", ή "remote learning", ή "e-learning"). Εντοπίστηκαν συνολικά 513 άρθρα, εκ των οποίων τελικά αναλύθηκαν τα 131. Για την καλύτερη οπτικοποίηση της όλης διαδικασίας, χρησιμοποιήθηκε ένα διάγραμμα ροής τύπου Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Moher et al., 2009) (Σχήμα 18). Αυτό, παρουσιάζει τα αριθμητικά δεδομένα από τον εντοπισμό των αρχικών ερευνών και την αφαίρεση των διπλότυπων, τον έλεγχο των τίτλων/περιλήψεων και την εξαίρεση εκείνων που ήταν μη σχετικά με το θέμα, τα πλήρη άρθρα που αναγνώστηκαν και είτε αιτιολογημένα εξαιρέθηκαν είτε κρίθηκαν κατάλληλα και συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση. Επισημαίνεται ότι στη συνέχεια παρουσιάζονται μόνο τα κυριότερα ευρήματα, καθώς ο σκοπός του κεφαλαίου δεν είναι η σε βάθος ανάλυση της σχέσης ΕΠ και ΕΞΑΕ.



Σχήμα 18. Διάγραμμα PRISMA για τη σχέση ΕΠ και ΕΞΑΕ  
(Moher et al., 2009)

Ένα πρώτο ενδιαφέρον στοιχείο που προέκυψε είναι ο μικρός σχετικά αριθμός άρθρων που ικανοποιούσαν τα κριτήρια αναζήτησης, κάτι που δείχνει ότι το τομέας αυτός δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως ακόμα. Η κατανομή τους ανά έτος είναι σχετικά σταθερή (10-12 άρθρα) με μια σχετική κορύφωση να παρατηρείται το 2018 (20 άρθρα). Περίπου τα μισά άρθρα δημοσιεύτηκαν σε πρακτικά συνεδρίων (n = 60, 46%)· σε επιστημονικά περιοδικά δημοσιεύτηκε ένα 30%, ενώ τα υπόλοιπα ήταν κεφάλαια σε συλλογικούς τόμους, βιβλία, ή αναφορές προγραμμάτων σε εξέλιξη. Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στην πλειοψηφία τους τα άρθρα αφορούσαν

παρεμβάσεις/εφαρμογές στη τριτοβάθμια εκπαίδευση ( $n = 76$ , 58%). Με τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και την εκπαίδευση μιας ποικιλίας επαγγελματικών ομάδων ασχολήθηκαν 24 και 23 άρθρα αντίστοιχα (περίπου 18% και στις δύο περιπτώσεις), αφήνοντας, τελικά, έναν πολύ μικρό αριθμό άρθρων που αφορούσαν την πρωτοβάθμια εκπαίδευση.

Τα ευρύτερα θέματα που απασχόλησαν τα άρθρα ήταν ο σχεδιασμός περιβαλλόντων ΕΠ ( $n = 91$ ), ο σχεδιασμός του γνωστικού υλικού/περιεχομένου ( $n = 45$ ), θέματα χρηστικότητας ( $n = 40$ ), η αλληλεπίδραση των χρηστών ( $n = 32$ ), η εμπύθισή ( $n = 30$ ), το αίσθημα της παρουσίας ( $n = 25$ ), τα κίνητρα για μάθηση ( $n = 23$ ), η διαχείριση χρόνου ( $n = 18$ ) και το γνωστικό φορτίο ( $n = 12$ ). Να σημειωθεί ότι κάποιες έρευνες εξέτασαν περισσότερα του ενός από τα παραπάνω θέματα. Αναφορικά με την τεχνολογία ΕΠ που χρησιμοποιήθηκε, οι περισσότερες εφαρμογές εκτελούνταν σε απλούς υπολογιστές (που ήταν είτε το μόνο μέσο που χρησιμοποιήθηκε είτε έγινε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ΕΠ,  $n = 88$ ). Η χρήση των HMDs εξετάστηκε σε λιγότερες περιπτώσεις ( $n = 34$ ), ίσως γιατί ακόμα δεν έχουν γνωρίσει μεγάλη διάδοση ή για τεχνικούς/οργανωτικούς λόγους.

Τρεις θεματολογίες ήταν ευδιάκριτες και σχεδόν ισόποσα κατανεμημένες, αναφορικά με τη χρήση της ΕΠ σε σχέση με την ΕξΑΕ: (α) για την πραγματοποίηση διαλέξεων (ανεξαρτήτως γνωστικού αντικειμένου,  $n = 36$ ), (β) εικονικά εργαστήρια ( $n = 40$ ) και (γ) προσομοιώσεις λειτουργίας μηχανημάτων/συσκευών/οργάνων του σώματος ( $n = 38$ ). Σε λίγο πάνω από τα μισά άρθρα ( $n = 70$ , 53%) υπήρξε κάποια μορφή έλεγχος για το κατά πόσο υπήρξε απόκτηση γνώσεων ή/και δεξιοτήτων. Επικεντρώνοντας στα άρθρα αυτά, διαπιστώθηκε ότι στην πλειοψηφία τους ανέφεραν θετικά αποτελέσματα ( $n = 49$ , 70%). Πρέπει να επισημανθεί ότι το στοιχείο αυτό αναφέρεται με επιφύλαξη, καθώς στα περισσότερα ο αριθμός των παρεμβάσεων ήταν μικρός. Μάλιστα, σε αρκετές περιπτώσεις είτε ο έλεγχος έγινε αποκλειστικά με τη χρήση pre- και post-tests είτε συλλέχθηκαν ποιοτικά στοιχεία, χωρίς να υπάρχει κάποια ομάδα ελέγχου ή σύγκριση με κάποιο άλλο μέσο. Εστιάζοντας, ακόμα περισσότερο, στις περιπτώσεις εκείνες όπου υπήρξε σύγκριση με άλλο μέσο ή μέσα ( $n = 51$ ), διαπιστώθηκε ότι ναι μεν και πάλι τα θετικά αποτελέσματα ήταν στην πλειοψηφία τους θετικά, αλλά το ποσοστό μειώθηκε αρκετά ( $n = 28$ , 55%).

Τέλος, διαπιστώθηκε πως, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ερευνητές ανέφεραν ότι τόσο η εμπύθιση όσο η παρουσία και η αλληλεπίδραση ήταν αυξημένες και μάλιστα είχαν θετική επίπτωση στην απόκτηση γνώσεων ή/και δεξιοτήτων.

### 10.3. Διαπιστώσεις

Η ΕΠ έχει φανεί ότι δίνει λύσεις σε καταστάσεις όπου η δια ζώσης διδασκαλία δεν μπορεί να υποστηρίξει, είτε γιατί είναι αδύνατον να υπάρξουν στην πραγματικότητα είτε γιατί υπάρχει υψηλό κόστος είτε γιατί υπάρχουν κίνδυνοι για την υγεία (Buttussi & Chittaro, 2017). Πράγματι, όπως φάνηκε και από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση πεδίου, συστήματα και εφαρμογές της ΕΠ ήδη χρησιμοποιούνται για την παροχή εκπαιδευτικών εμπειριών, αν και όχι με συστηματικό τρόπο ακόμα. Παρόλα αυτά, μπορεί να ειπωθεί ότι η ΕΠ καλύπτει άτομα που το προφίλ τους είναι παρόμοιο με αυτό των ατόμων που συμμετέχουν σε προγράμματα ΕξΑΕ, δηλαδή, που δεν βρίσκονται παρόντα στον ίδιο φυσικό χώρο και που ενδιαφέρονται να μάθουν κάτι με συστηματικό τρόπο. Επιπλέον, φάνηκε ότι η χρήση συστημάτων ΕΠ στην ΕξΑΕ έχει θετικά αποτελέσματα σε επίπεδο απόκτησης γνώσεων ή/και δεξιοτήτων (ενδεικτικά, Chang et al., 2016· Penland et al., 2019).

Αυτό γεννά τον προβληματισμό για το ποια ακριβώς είναι η προστιθέμενη αξία που μπορεί να δώσει η ΕΠ στην ΕξΑΕ. Η απάντηση βρίσκεται στην ποιότητα των μαθησιακών εμπειριών που δίνει η ΕΠ και που οφείλονται στην εμπύθιση, την παρουσία και την αλληλεπίδραση, που είναι μεταξύ των βασικών χαρακτηριστικών της ΕΠ, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο "3. Τα βασικά χαρακτηριστικά της Εικονικής Πραγματικότητας"). Μάλιστα, από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση φάνηκε ότι πράγματι οι παράγοντες αυτοί παίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη ικανοποιητικών μαθησιακών αποτελεσμάτων (ενδεικτικά Krassmann et al., 2020· Liu et al., 2019· Zikky et al., 2018). Από την άλλη, αυτοί οι παράγοντες δεν είναι ιδιαίτερα τονισμένοι στην ΕξΑΕ (Chen, 2018· El Kabtane et al., 2020). Έτσι, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η ΕΠ προσφέρει στους χρήστες μαθησιακές εμπειρίες που ο πλούτος τους υπερβαίνει αυτών που προσφέρει η τρέχουσα μορφή της ΕξΑΕ.

Αν και στη συμβατική ΕξΑΕ οι χρήστες έχουν επαφή με πλούσιο οπτικοακουστικό υλικό (όπως τα βίντεο), με την ΕΠ μπορούν να περιηγηθούν σε έναν τρισδιάστατο εικονικό χώρο, έχοντας ελευθερία κινήσεων, επιλογών και πιο άμεση επαφή με το υλικό. Αυτό, τους εμπυθίζει στη μαθησιακή εμπειρία (Rupp et al., 2019· Wu et al., 2020) και τους κάνει να νιώθουν ότι πραγματικά "ζουν" μέσα σε αυτό που τους προβάλλεται (Slater & Sanchez-Vives, 2014). Με άλλα λόγια, με την ΕΠ, το γνωστικό υλικό παρουσιάζεται με πιο "πλούσιο" τρόπο· οι χρήστες λαμβάνουν πολύ πιο σύνθετες αισθητηριακές πληροφορίες και αυτό, πιθανότατα, επιδρά θετικά στη μάθηση (Wu et al., 2020).

Εκτός αυτού, η ΕΠ μπορεί να έχει επίδραση και σε άλλους τομείς, πέρα από την απλή απόκτηση γνώσεων. Για παράδειγμα, μπορεί να δώσει στους χρήστες καινοτόμες δυνατότητες ανάπτυξης της δημιουργικότητάς τους. Για παράδειγμα, η ΕΠ έδωσε στους συμμετέχοντες νέες δυνατότητες καλλιτεχνικής έκφρασης, διαμοιρασμού των έργων τους και συνεργασίας εκπαιδευτή-εκπαιδευόμενων, με άλλα λόγια παιδαγωγικά οφέλη που ξεπερνούν σε μεγάλο βαθμό ένα απλό πρόγραμμα ζωγραφικής (So & Lu, 2019).

Όσον αφορά την επικοινωνία, συνεργασία και αλληλεπίδραση με άλλους, στη συμβατική ΕξΑΕ αυτή περιορίζεται στην ανταλλαγή κειμένων ή στην τηλεδιάσκεψη. Αντίθετα, με την ΕΠ οι χρήστες μπορούν να συζητήσουν σε έναν εικονικό χώρο (που μπορεί να προσομοιώνει ένα γραφείο ή τάξη), με άλλους χαρακτήρες οι οποίοι μοιάζουν πολύ αληθινοί ή με τις αναπαραστάσεις άλλων ατόμων που έχουν συνδεθεί στο ίδιο περιβάλλον (Gugenheimer et al., 2017· Liang et al., 2019). Επιπλέον, η ΕΠ δίνει στους χρήστες μια μεγάλη ποικιλία από συνεργατικά εργαλεία. Για παράδειγμα, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να σχεδιάσουν τρισδιάστατα αντικείμενα (χρησιμοποιώντας εφαρμογές όπως το Tilt VR και το Spatial), να κάνουν εικονικές παρουσιάσεις (για παράδειγμα, με το MeetinVR), να γράψουν με το χέρι τους σε έναν εικονικό πίνακα (με εφαρμογές όπως το Glue). Με λίγα λόγια, οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδράσουν με εικονικά αντικείμενα του χώρου ή να εισάγουν "εκεί" ένα δικό τους, με το οποίο οι ίδιοι αλλά και οι "γύρω" τους να το επεξεργαστούν. Αυτό, εκτός του ότι τονίζει την αίσθηση της κοινωνικής παρουσίας, επιδρά θετικά τόσο στη συνεργασία μεταξύ των συμμετεχόντων όσο και στα μαθησιακά αποτελέσματα (Barker et al., 2018· Yassien, 2020). Συνεπώς, η έννοια των συνεργατικών περιβαλλόντων μάθησης, αποκτά μια νέα διάσταση.

Από την παραπάνω, σύντομη, συγκριτική παρουσίαση των εργαλείων/μέσων της ΕξΑΕ και ΕΠ, εξάγεται το συμπέρασμα ίσως θα έπρεπε να επαναπροσδιοριστεί η μορφή που έχει σήμερα η ΕξΑΕ, ώστε να υλοποιείται με μέσα που εμπύθουν στην ΕΠ ή την ΠΕΕΠ. Κάτι τέτοιο θα εντείνει την εμπύθιση, την παρουσία και την αλληλεπίδραση των χρηστών. Έτσι, η ΕξΑΕ v2.0 θα μπορούσε να συμβάλλει σε καλύτερη επικοινωνία μεταξύ εκπαιδευόμενων με τους ομότιμους τους ή με τους

εκπαιδευτές τους, σε βελτιωμένη αλληλεπίδραση με τα το γνωστικό υλικό, στην αύξηση της δημιουργικότητάς τους, και, τελικά, σε πλούσιες μαθησιακές εμπειρίες.



# Επίλογος

Για αρκετό καιρό, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και άλλα παρεμφερή τεχνολογικά μέσα, περιγράφονταν με τον όρο "Νέες Τεχνολογίες". Με τον όρο αυτό, επιδιωκόταν να καταδειχθεί η καινοτόμος και πρωτοποριακή φύση τους. Στις μέρες μας, η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι κοινός τόπος. Κάτω από αυτό το πρίσμα, ο όρος "Νέες Τεχνολογίες" είναι, πλέον, μάλλον άστοχος. Ο όρος "αναδυόμενες τεχνολογίες" ίσως να είναι πιο εύστοχος, μιας και περιγράφει τεχνολογίες που τώρα εμφανίζονται ή τεχνολογίες που ενώ έχουν εμφανιστεί εδώ και κάποια χρόνια, τώρα άρχισε να αξιοποιείται το δυναμικό τους.

Η ΕΠ και, κατ' επέκταση, η ΠΕΕΠ, που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, μπορούν να χαρακτηριστούν ως αναδυόμενες τεχνολογίες. Από την ιστορική αναδρομή που παρουσιάστηκε, φάνηκε ότι τα πρώτα βήματα της ΕΠ έγιναν περίπου στη δεκαετία του '50 και για τα HMDs περίπου στη δεκαετία του '60. Όμως, παρά τον ενθουσιασμό που υπήρχε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '90, η ΕΠ δεν πέτυχε να γίνει mainstream τεχνολογία, προσιτή στο ευρύ κοινό. Έτσι, η χρήση της περιορίστηκε σε ερευνητικά κέντρα και σε συγκεκριμένες επαγγελματικές ομάδες. Εντούτοις, από τη δεύτερη δεκαετία του 21<sup>ου</sup> αιώνα, η κατάσταση φαίνεται να αλλάζει δραματικά. Η κινητήρια δύναμη πίσω από αυτή την εξέλιξη είναι η παντοδύναμη βιομηχανία της ψυχαγωγίας, που αναζητά διαρκώς νέους τρόπους για να προσελκύσει το ενδιαφέρον των καταναλωτών. Έτσι, έκανε την εμφάνισή της μία σειρά από HMDs τα οποία και έχουν ικανοποιητικές τεχνικές προδιαγραφές και η τιμή τους κυμαίνεται σε προσιτά, για το ευρύ κοινό, επίπεδα. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να υποστηριχθεί ότι από αυτό το σημείο και μετά, οι τεχνολογικές εξελίξεις αρχίζουν να επιτρέπουν την (μαζική) αξιοποίηση του δυναμικού της ΕΠ.

Αναφορικά με το πώς ορίζεται η ΕΠ, αξίζει να σημειωθεί ότι ο όρος μπορεί να προσεγγιστεί τόσο καθαρά τεχνολογικά όσο και ψυχολογικά-γνωστικά. Από τη μία, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο υλικού και λογισμικού με το οποίο τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να οπτικοποιούν και να αλληλεπιδρούν με εξαιρετικά περίπλοκα δεδομένα στις τρεις διαστάσεις. Από την άλλη, η ΕΠ μπορεί να θεωρηθεί ως μία κατάσταση που δημιουργείται στο μυαλό και που μπορεί, με μεταβαλλόμενο ποσοστό επιτυχίας, να απασχολεί την προσοχή ενός ανθρώπου, με τρόπο παρόμοιο με αυτόν στο πραγματικό περιβάλλον.

Σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν, η ΕΠ τοποθετεί τον χρήστη σε ένα συνθετικό περιβάλλον, ίδιο ή εντελώς διαφορετικό από το πραγματικό. Στο περιβάλλον αυτό, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη διαδρομή που επιθυμεί, να εξερευνήσει τα πάντα, όποτε και με όποιον τρόπο εκείνος θέλει και, τέλος, μπορεί να αλληλεπιδράσει με τα αντικείμενα που υπάρχουν στον κόσμο αυτό. Έτσι, προκύπτουν τα τρία βασικά χαρακτηριστικά της ΕΠ που είναι η εμπύθιση, η παρουσία και η αλληλεπίδραση. Η εμπύθιση είναι περισσότερο ένα αντικειμενικό/τεχνικό φαινόμενο και αφορά το πόσο πλήρεις/πλούσιες είναι οι αισθητηριακές πληροφορίες που παρέχονται στον χρήστη από το εικονικό περιβάλλον. Από την άλλη, η παρουσία αφορά τον βαθμό στον οποίο ένας χρήστης αισθάνεται ότι βρίσκεται μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον, ότι "ζει" σε αυτό και έχει την ψευδαίσθηση της μη διαμεσολάβησης. Συνεπώς, είναι περισσότερο ένα υποκειμενικό φαινόμενο. Τέλος, η αλληλεπίδραση αφορά την επικοινωνία και σύνδεση μεταξύ χρήστη και εικονικού περιβάλλοντος (ή μεταξύ χρηστών). Αυτή θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στον τρόπο με τον οποίο τα άτομα αλληλεπιδρούν με τον πραγματικό κόσμο.

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά και, κυρίως, χρησιμοποιώντας ως αφετηρία την εμπύθιση, επανακαθορίστηκαν οι διάφορες παραλλαγές της ΕΠ, ταξινομώντας τα διάφορα συστήματα σε τρεις

κατηγορίες (χαμηλής εμπύθισης, ημι-εμπυθισμένα και πλήρους εμπύθισης-ΠΕΕΠ). Στην τελευταία κατηγορία, με τα υπάρχοντα δεδομένα, περιλήφθηκαν μόνο εκείνα τα συστήματα που χρησιμοποιούν 6DoF HMDs, καθώς με αυτά επιτυγχάνεται ο υψηλότερος βαθμός εμπύθισης, παρουσίας, αλλά και αλληλεπίδρασης. Εστιάζοντας στα HMDs, έγινε αναλυτική παρουσίαση των αρχών λειτουργίας και των τεχνικών χαρακτηριστικών τους, έτσι ώστε να γίνουν πιο κατανοητά τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα τεχνικά εμπόδια που μένει να ξεπεραστούν. Σε γενικές γραμμές, φάνηκε ότι ο ρυθμός εξέλιξής τους είναι ικανοποιητικός και συμβαδίζει με την πτώση του κόστους απόκτησής τους. Αυτά τα δύο στοιχεία επιτρέπουν μεγαλύτερη αισιοδοξία αναφορικά με τη διάδοση που θα έχει η ΠΕΕΠ στο κοντινό μέλλον.

Από την παράθεση ερευνών που έχουν γίνει σε διάφορα επιστημονικά πεδία, φάνηκε η ευρύτητα των εφαρμογών που έχει η ΕΠ. Εστιάζοντας στη χρήση της ΕΠ ως μαθησιακού/γνωστικού εργαλείου, διαπιστώθηκε ότι αυτή έχει βρει πεδίο εφαρμογής στα περισσότερα γνωστικά αντικείμενα και βαθμίδες της εκπαίδευσης. Οι σχετικές μελέτες παραθέτουν θετικά ευρήματα, όπως αυξημένη εμπλοκή με το γνωστικό υλικό, διασκέδαση, αυξημένα κίνητρα για μάθηση και διατήρηση των γνώσεων.

Κάποιοι αποδίδουν τα παραπάνω αποτελέσματα στο ότι η ΕΠ προσφέρει στους χρήστες εμπειρίες "πρώτου προσώπου". Όπως αναλύθηκε, οι εμπειρίες πρώτου προσώπου είναι άμεσες, δεν απαιτούν τη χρήση συμβόλων (γράμματα, αριθμούς και γλώσσα) και είναι καθαρά υποκειμενικές. Από την άλλη, οι εμπειρίες τρίτου προσώπου είναι έμμεσες, είναι απαραίτητη η χρήση συμβόλων και προβάλλουν την άποψη και τα πιστεύω αυτού που επικοινωνεί τη γνώση. Το πρόβλημα είναι ότι η διδασκαλία, και, ευρύτερα, η εκπαίδευση, προσφέρει εμπειρίες "τρίτου προσώπου" στους εκπαιδευόμενους. Αυτό, έγινε αντιληπτό εδώ και αρκετό καιρό. Πολλοί επιστήμονες που ασχολούνται με τις θεωρίες μάθησης πρότειναν πρακτικές σύμφωνα με τις οποίες οι μαθητές μπορούν να έχουν εμπράγματα εμπειρίες (δηλαδή εμπειρίες πρώτου προσώπου) σε όσο το δυνατόν περισσότερα γνωστικά αντικείμενα. Φυσικά και υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί. Οι μαθητές δεν είναι λογικό να εκτεθούν σε κίνδυνο μόνο και μόνο για να αποκτήσουν εμπειρίες πρώτου προσώπου, για παράδειγμα, για τις εκρήξεις ηφαιστειών. Δεν μπορούν να ταξιδέψουν πίσω στον χρόνο για να δουν τη ζωή των δεινοσαύρων. Ούτε μπορούν να χρησιμοποιήσουν το τηλεσκόπιο Hubble για να δουν τα άστρα, ούτε ηλεκτρονικά μικροσκόπια για να δουν τα μικρόβια. Όχι μόνο οι εκπαιδευόμενοι, αλλά όλοι οι άνθρωποι είναι "παγιδευμένοι" στις εμπειρίες τρίτου προσώπου που παρέχει η βασισμένη στην τεχνολογία και η παραδοσιακή εκπαίδευση.

Αντίθετα, η ΕΠ φαίνεται ότι δίνει λύση στα παραπάνω προβλήματα. Εικάζεται ότι τα τρισδιάστατα αντικείμενα που υπάρχουν σε ένα περιβάλλον ΕΠ, δίνουν στον χρήστη την αίσθηση του "πραγματικού", προάγοντας τη δημιουργία ποικίλων γνωστικών αναπαραστάσεων για το ίδιο αντικείμενο και διευκολύνοντας την ανάπτυξη ολοκληρωμένων νοητικών μοντέλων. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο χρήστης αποκτά εμπειρίες πρώτου προσώπου σχετικά με το γνωστικό αντικείμενο της εφαρμογής και δημιουργεί καθαρά προσωπικές αναπαραστάσεις του συνθετικού κόσμου που βρίσκεται. Η μάθηση σε ένα τέτοιο περιβάλλον είναι σίγουρα μία δυναμική διαδικασία, πλήρως καθορισμένη από τον χρήστη, που μόνος του θέτει τους στόχους και τους αλλάζει κατά βούληση. Επιπρόσθετα, η ΕΠ μπορεί να παρέχει και εμπειρίες τρίτου προσώπου εάν, για παράδειγμα, ο προγραμματιστής θέσει περιορισμούς στο τι μπορεί να κάνει ο χρήστης.



Αναλύοντας ακόμα περισσότερο τους λόγους για τους οποίους η ΕΠ προσφέρει εμπειρίες "πρώτου προσώπου" και γιατί μπορεί να είναι αποτελεσματικό γνωστικό εργαλείο, διαπιστώθηκε ότι αυτό μπορεί να αποδοθεί στα τρία βασικά χαρακτηριστικά της που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Συγκεκριμένα, η εμπύθιση μπορεί να βελτιώσει τη μάθηση καθώς παρέχει πολλαπλές οπτικές, πλαισιώνει θεματικά ένα περιβάλλον και υποστηρίζει τη δυνατότητα μεταφοράς της γνώσης που έχει αποκτηθεί. Η παρουσία δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να έχουν βιωματικές εμπειρίες και να εμπλακούν συναισθηματικά. Τέλος, η αλληλεπίδραση δημιουργεί και αυτή διαδραστικές και βιωματικές μαθησιακές εμπειρίες, μετατρέποντας τους χρήστες από παθητικούς παρατηρητές σε ενεργούς στοχαστές. Μάλιστα, ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά της ΕΠ είναι η δυνατότητα να συνυπάρχουν στην εφαρμογή περισσότεροι του ενός χρήστες. Έτσι, αυτοί δεν αλληλεπιδρούν μόνο με τα αντικείμενα του συνθετικού περιβάλλοντος αλλά και μεταξύ τους, έχοντας τη δυνατότητα να συνομιλήσουν, να ανταλλάξουν απόψεις και να καθοδηγήσουν ο ένας τον άλλο.

Καθώς φάνηκε ότι η ΕΠ και, κυρίως, η ΠΕΕΠ διαφοροποιούνται σημαντικά από τα άλλα ψηφιακά μέσα αναφορικά με το είδος των μαθησιακών εμπειριών που προσφέρουν στους χρήστες, επιχειρήθηκε η εισαγωγή ενός νέου όρου που να περιγράφει αυτό ακριβώς το στοιχείο. Έτσι, ως "πλήρως εμπυθιστική ψηφιακή μαθησιακή εμπειρία-ΠΕΨΜΕ" ορίστηκε η πνευματική κατάσταση που προκύπτει εξαιτίας της αλληλεπίδρασης αυτού που μαθαίνει με οποιασδήποτε μορφής γνωστικό υλικό που προσφέρεται από μέσα (υλικά ή άυλα) που ανήκουν στην ΠΕΕΠ. Αποτελεί το συνδυαστικό αποτέλεσμα των δράσεων που αναλαμβάνει το άτομο, των εμπειριών που βιώνει και των συναισθημάτων που του προκαλούνται εξαιτίας αυτής της αλληλεπίδρασης. Εξαρτάται ευθέως από τη σχεδίαση, τη λειτουργικότητα, την προσαρμοστικότητα του ψηφιακού μέσου, καθώς επίσης και από τον βαθμό εμπύθισης, παρουσίας και αλληλεπίδρασης που αυτό προσφέρει. Το (επιθυμητό) τελικό αποτέλεσμα είναι η απόκτηση γνώσεων ή/και πείρας (που περιλαμβάνει δεξιότητες και στάσεις).

Προχωρώντας ένα βήμα παραπάνω, προτάθηκε ένα μοντέλο που περιλαμβάνει τους παράγοντες που διαμορφώνουν την ΠΕΨΜΕ, αποδελτιώνοντας ερωτηματολόγια και κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν σε έρευνες που εξέτασαν τη μάθηση με τη χρήση ΕΠ και ΠΕΕΠ. Έτσι, το προτεινόμενο μοντέλο περιλαμβάνει τρεις ομάδες παραγόντων: (α) παράγοντες που σχετίζονται με συναισθήματα (ροή/εμπύθιση/παρουσία, διασκέδαση και θετικά/αρνητικά συναισθήματα), (β) παράγοντες που σχετίζονται με τη μαθησιακή εμπειρία (υποκειμενική αντίληψη για τα μαθησιακά οφέλη, σχέση με τα προσωπικά ενδιαφέροντα, γνωστικό φορτίο και κίνητρα για μάθηση και (γ) παράγοντες που σχετίζονται με τεχνικά θέματα (αυτεπάρκεια, αισθητική/ελκυστικότητα, καθοδήγηση/ανατροφοδότηση, έλεγχος, ευκολία χρήσης, αλληλεπίδραση και simulator sickness).

Το τελευταίο θέμα που εξετάστηκε ήταν το κατά πόσο η ΕΠ μπορεί να υλοποιηθεί με καλύτερο τρόπο τις σύγχρονες αντιλήψεις για τη μάθηση, και, συγκεκριμένα, του εποικοδομισμού. Παρότι από τα πρώτα στάδια της εξέλιξής τους, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές θεωρήθηκαν ένα ιδανικό διδακτικό εργαλείο, η πρώτη γενιά εκπαιδευτικών εφαρμογών υλοποιούσε συμπεριφοριστικές αντιλήψεις και η δεύτερη γενιά στηρίχθηκε στις γνωστικές θεωρίες. Από την τρίτη γενιά, με κυρίαρχες τις εφαρμογές πολυμέσων και υπερμέσων, υπήρξε μία μεταστροφή στις αρχές του εποικοδομισμού. Όμως, από τον φόβο μήπως τελικά οι μαθητές αποπροσανατολιστούν, λόγω του κυκεώνα υπερσυνδέσμων και επιλογών, οι αρχές αυτές δεν υλοποιήθηκαν στην πλήρη τους έκταση. Όχι μόνο αυτό, αλλά όλες οι εφαρμογές των τριών πρώτων γενεών, προσέφεραν, λίγο έως πολύ, εμπειρίες "τρίτου προσώπου".

Από την άλλη, η εμπύθιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον, η παρουσία, η αλληλεπίδραση, η απουσία περιβάλλοντος διεπαφής και κυρίως η μη-συμβολική επικοινωνία και οι εμπειρίες "πρώτου προσώπου" είναι τα κλειδιά για τη συμβατότητα της ΕΠ με τον εποικοδομισμό, αλλά και για τη δυνατότητα που αυτή έχει να ξεπεραστούν τα παραπάνω προβλήματα. Με την ΕΠ είναι δυνατόν να διδαχθούν κανόνες και αφηρημένες έννοιες χωρίς τη χρήση της γλώσσας και άλλων συμβόλων, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα σε όσους μαθαίνουν να κατανοήσουν διαισθητικά ακόμα και περίπλοκες έννοιες, παρέχοντας εμπειρίες σε πρωτογενές επίπεδο. Επιπρόσθετα, η ΕΠ δίνει εμπειρίες μέσω της "πραγματικής" χρήσης αντικειμένων. Υπάρχει αλληλεπίδραση και ενεργός συμμετοχή, χωρίς όμως να υπάρχουν συνέπειες από τυχόν λάθη. Η προσαρμογή του διδακτικού υλικού στις ατομικές ανάγκες και το γνωστικό ύψος του καθενός είναι μία ακόμα δυνατότητα της ΕΠ, κάτι που επιτρέπει στους χρήστες να βιώσουν μία εμπειρία με το δικό τους βηματισμό. Όσον αφορά τη δυνατότητα ομαδικής εργασίας, είναι γεγονός ότι ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον ΕΠ υποστηρίζει την ομαδική εργασία με πληρέστερο τρόπο σε σχέση με τα υπερμέσα και τα πολυμέσα, εφόσον επιτρέπει στους χρήστες να έχουν κοινά οπτικοακουστικά ερεθίσματα, να μοιράζονται τον έλεγχο της ροής των πραγμάτων και, παράλληλα, να επικοινωνούν και να συζητούν μεταξύ τους. Όσον αφορά τα κίνητρα για μάθηση, που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το πόσο ενδιαφέρουσα είναι μία μαθησιακή εμπειρία, αξίζει να αναφερθεί ότι η ΕΠ φαίνεται να προσφέρει εξαιρετικά ενδιαφέρουσες εμπειρίες, που λειτουργούν συνδυαστικά με την εμπύθιση, την παρουσία, την αλληλεπίδραση, τον ρεαλισμό των εφαρμογών, το κέντρισμα της φαντασίας, την πρόκληση και τον "παιχνιδικό" χαρακτήρα των εφαρμογών ΕΠ.

Συμπερασματικά, παρά τα προβλήματα που μένει να ξεπεραστούν, οι σημαντικές εξελίξεις που σημειώνονται τα τελευταία χρόνια στον χώρο της ΕΠ (με αιχμή του δόρατος τις εξελίξεις στην ΠΕΕΠ), αφήνουν το περιθώριο να υποστηριχθεί ότι η τεχνολογία αυτή, στο κοντινό μέλλον, θα μπορούσε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον επαναπροσδιορισμό του εκπαιδευτικού τοπίου.



# Βιβλιογραφία

## Ελληνόγλωσση

- Μικρόπουλος, Α. (2016). *Πανεπιστημιακές σημειώσεις*. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Νάτσος, Α., & Ζαχαρής, Γ. (2008). Ιδιότητες εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων 2: Συστήματα εμπύθισης. *Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνέδριου με Διεθνή Συμμετοχή "Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση"*, 145-152.
- Φωκίδης, Ε., & Τσολακίδης, Κ. (2011). *Εικονική πραγματικότητα στην εκπαίδευση: Θεωρία και πράξη*. Διάδραση.

## Ξενόγλωσση

- Abulrub, A.-H. G., Attridge, A. N., & Williams, M. (2011). Virtual reality in engineering education: the future of creative learning. *Proceedings of the Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 751-757. IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2011.5773223>
- Acar, C., & Shkel, A. (2008). *MEMS vibratory gyroscopes: structural approaches to improve robustness*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09536-3>
- Adams, E. (2004). *Postmodernism and the three types of immersion*. [http://www.designersnotebook.com/Columns/063\\_Postmodernism/063\\_postmodernism.htm](http://www.designersnotebook.com/Columns/063_Postmodernism/063_postmodernism.htm)
- Adelman, J. S., & Estes, Z. (2013). Emotion and memory: A recognition advantage for positive and negative words independent of arousal. *Cognition*, 129(3), 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.08.014>
- Agiledrop (2020). *Customer experience, user experience & digital experience: Basics & useful terms*. <https://www.agiledrop.com/blog/customer-experience-user-experience-digital-experience-basics-useful-terms>
- Ahn, S. J., Le, A. M. T., & Bailenson, J. (2013). The effect of embodied experiences on self-other merging, attitude, and helping behavior. *Media Psychology*, 16, 7-38. <https://doi.org/10.1080/15213269.2012.755877>
- Ahn, S. J. G., Bailenson, J. N., & Park, D. (2014). Short- and long-term effects of embodied experiences in immersive virtual environments on environmental locus of control and behavior. *Computers in Human Behavior*, 39, 235-245. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.07.025>
- Al-Kadi, A. S., Donnon, T., Paolucci, E. O., Mitchell, P., Debru, E., & Church, N. (2012). The effect of simulation in improving students' performance in laparoscopic surgery: a meta-analysis. *Surgical Endoscopy*, 26, 3215-3224. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2327-z>
- Alaraj, A., Lemole, M. G., Finkle, J. H., Yudkowsky, R., Wallace, A., Luciano, C., Banerjee, P. P., Rizzi, S. H., & Charbel, F. T. (2011). Virtual reality training in neurosurgery: review of current status and future applications. *Surgical Neurology International*, 2, 52. <https://doi.org/10.4103/2152-7806.80117>
- Alawadhi, S., AlHabib, N., Murad, D., AlDeei, F., AlHouti, M., Beyrouthy, T., & Al-Kork, S. (2017). Virtual reality application for interactive and informative learning. *Proceedings of the 2nd International Conference on Bio-engineering for Smart Technologies (BioSMART) 2017*, 1-4. IEEE. <https://doi.org/10.1109/BIOSMART.2017.8095336>
- Alhalabi, W. S. (2016). Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. *Behaviour & Information Technology*, 35(11), 919-925. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1212931>

- Alqahtani, A. S., Daghestani, L. F., & Ibrahim, L. F. (2017). Environments and system types of virtual reality technology in STEM: A survey. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 8(6), 77-89. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.080610>
- Almoussa, O., Prates, J., Yeslam, N., Mac Gregor, D., Zhang, J., Phan, V., Nielsen, M., Smith, R., & Qayumi, K. (2019). Virtual reality simulation technology for cardiopulmonary resuscitation training: An innovative hybrid system with haptic feedback. *Simulation and Gaming*, 50(1), 6-22. <https://doi.org/10.1177/1046878118820905>
- Anderson, P. L., Price, M., Edwards, S. M., Obasaju, M. A., Schmertz, S. K., Zimand, E., & Calamaras, M. R. (2013). Virtual reality exposure therapy for social anxiety disorder: A randomized controlled trial. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 81(5), 751-760. <https://doi.org/10.1037/a0033559>
- Anderson, S., Allen, P., Peckham, S., & Goodwin, N. (2008). Asking the right questions: scoping studies in the commissioning of research on the organisation and delivery of health services. *Health Research Policy and Systems*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.1186/1478-4505-6-7>
- Anderson-Hanley, C., Arciero, P. J., Brickman, A. M., Nimon, J. P., Okuma, N., Westen, S. C., Merz, M. E., Pence, B. D., Woods, J. A., Kramer, A. F., & Zimmerman, E. A. (2012). Exergaming and older adult cognition: a cluster randomized clinical trial. *American Journal of Preventive Medicine*, 42(2), 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.10.016>
- Anderson-Hanley, C., Snyder, A. L., Nimon, J. P., & Arciero, P. J. (2011). Social facilitation in virtual reality-enhanced exercise: competitiveness moderates exercise effort of older adults. *Clinical Interventions in Aging*, 6, 275-280. <https://doi.org/10.2147/CIA.S25337>
- Antonacci, D., & Modaress, N. (2005). Second life: The educational possibilities of a massively multiplayer virtual world (MMVW). *Proceedings of the EDUCAUSE Western Regional Conference-Winds of Change: Charting the Course for Technology in Challenging Times* (vol. 28).
- Aprile, I., Ferrarin, M., Padua, L., Di Sipio, E., Simbolotti, C., Petroni, S., Tredici, C., & Dickmann, A. (2014). Walking strategies in subjects with congenital or early onset strabismus. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 484. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00484>
- AR VR Journey (2017). *Binaural audio: How 3D audio hacks your brain*. <https://arvrjourney.com/binaural-audio-how-3d-audio-hacks-your-brain-a3de0ceb4196>
- Araullo, J., & Potter, L. E. (2015). The emerging technology consumer: Designing NUI interaction for learning and retention. *Proceedings of the OzCHI 2015: Being Human*, 78-82. <https://doi.org/10.1145/2838739.2838830>
- Argelaguet Sanz, F., Multon, F., & Lécuyer, A. (2015). A methodology for introducing competitive anxiety and pressure in VR sports training. *Frontiers in Robotics and AI*, 2, 10. <https://doi.org/10.3389/frobt.2015.00010>
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19-32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Aromataris, E., & Pearson, A. (2014). The systematic review: an overview. *AJN the American Journal of Nursing*, 114(3), 53-8. <https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0000444496.24228.2c>
- Arora, A., Lau, L. Y., Awad, Z., Darzi, A., Singh, A., & Tolley, N. (2014). Virtual reality simulation training in Otolaryngology. *International Journal of Surgery*, 12(2), 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2013.11.007>
- Artino, A. R. (2012). Emotions in online learning environments: Introduction to the special issue. *The Internet and Higher Education*, 15(3), 137-140. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2012.04.001>

- Atmatzidou, S., & Demetriadis, S. (2016). Advancing students' computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 661-670. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.10.008>
- Aukstakalnis, S., & Blatner, D. (1992). *Silicon Mirage: The art and science of Virtual Reality*. Peach Pit Press.
- Bailenson, J. N., Blascovich, J., & Beall, A. C. (2001). Equilibrium theory revisited: mutual gaze and personal space in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 10(6), 583-598. <https://doi.org/10.1162/105474601753272844>
- Bailenson, J. N., Blascovich, J., Beall, A. C., & Loomis, J. (2003). Interpersonal distance in immersive virtual environments. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(7), 819-833. <https://doi.org/10.1177/0146167203029007002>
- Bailenson, J. N., Yee, N., Blascovich, J., Beall, A. C., Lundblad, N., & Jin, M. (2008). The use of immersive virtual reality in the learning sciences: digital transformations of teachers, students, and social context. *The Journal of the Learning Sciences*, 17(1), 102-141. <https://doi.org/10.1080/10508400701793141>
- Bailenson, J. N., Yee, N., Brave, S., Merget, D., & Koslow, D. (2007). Virtual interpersonal touch: expressing and recognizing emotions through haptic devices. *Human-Computer Interaction*, 22(3), 325-353.
- Bainbridge, W. S. (2004). *Berkshire encyclopedia of human-computer interaction* (vol. 1). Berkshire Publishing Group LLC.
- Balakrishnan, B., & Sundar, S. (2011). Where am I? How can I get there? Impact of navigability and narrative transportation on spatial presence. *Human-Computer Interaction*, 26(3), 161-204.
- Banakou, D., Groten, R., & Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12846-12851. <https://doi.org/10.1073/pnas.1306779110>
- Barfield, W., & Hendrix, C. (1995). The effect of update rate on the sense of presence within virtual environments. *Virtual Reality*, 1(1), 3-15. <https://doi.org/10.1007/BF02009709>
- Barker, B., Valentine, D., Grandgenett, N., Keshwani, J., & Burnett, A. (2018). Using Virtual Reality and Telepresence Robotics in Making. *Proceedings of the E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2018*, 564-568. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Barlow, J., Dyson, E., Leary, T., Bricken, W., Robinett, W., & Lanier, J. (1990). Hip, hype and hope-the three faces of virtual worlds (panel session). *Proceedings of the ACM SIGGRAPH 90 Panel*, 1001-1029. ACM. <https://doi.org/10.1145/328750.328798>
- Basdogan, C., Ho, C.-H., Srinivasan, M. A., & Slater, M. (2000). An experimental study on the role of touch in shared virtual environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(4), 443-460. <https://doi.org/10.1145/365058.365082>
- Bednar, A. K., Cunningham, D., Duffy, T. M., & Perry, J. D. (1992). Theory into practice: How do we link. *Constructivism and the Technology of Instruction: A Conversation*, 8(1), 17-34.
- Bellotti, F., Berta, R., & De Gloria, A. (2010). Designing effective serious games: opportunities and challenges for research. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 5(2010). <https://doi.org/10.3991/ijet.v5s3.1500>
- Bem, D. J. (1972). Self-perception theory. *Advances in Experimental Social Psychology*, 6, 1-62. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60024-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60024-6)

- Bertella, L., Marchi, S., & Riva, G. (2001). Virtual environment for topographical orientation (VETO): clinical rationale and technical characteristics. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 10(4), 440-449. <https://doi.org/10.1162/1054746011470280>
- Bertrand, J., Bhargava, A., Madathil, K. C., Gramopadhye, A., & Babu, S. V. (2017). The effects of presentation method and simulation fidelity on psychomotor education in a bimanual metrology training simulation. *Proceedings of the 2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 3DUI 2017*, 59-68. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2017.7893318>
- Beti, R. A., Al-Khatib, F., & Cook, D. M. (2018). The efficacy of using virtual reality for job interviews and its effects on mitigating discrimination. *Proceedings of the International Conference on Computing and Information Technology*, 43-52. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93692-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93692-5_5)
- Bibic, L., Druskis, J., Walpole, S., Angulo, J., & Stokes, L. (2019). Bug off pain: An educational virtual reality game on spider venoms and chronic pain for public engagement. *Journal of Chemical Education*, 96, 1486-1490. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00905>
- Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., & Craig, C. (2010). Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 30(2), 14-21. <https://doi.org/10.1109/MCG.2009.134>
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94(2), 115-147. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.94.2.115>
- Bindman, S. W., Castaneda, L. M., Scanlon, M., & Cechony, A. (2018). Am I a bunny? The impact of high and low immersion platforms and viewers' perceptions of role on presence, narrative engagement, and empathy during an animated 360° video. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-11. <https://doi.org/10.1145/3173574.3174031>
- Biondi, R., Pagnotta, P., Trentini, G., Cirotti, T., & Parrettini, C. (2015). The wow effect. *Proceedings of the EGU General Assembly 2015*.
- Bioulac, S., Micoulaud-Franchi, J.-A., Maire, J., Bouvard, M. P., Rizzo, A. A., Sagaspe, P., & Philip, P. (2018). Virtual Remediation versus methylphenidate to improve distractibility in children with ADHD: A controlled randomized clinical trial study. *Journal of Attention Disorders*, 24(2), 326-335. <https://doi.org/10.1177/1087054718759751>
- Bjork, S., & Holopainen, J. (2004). *Patterns in game design (Game development series)*. Charles River Media Inc.
- Blackler, A., Desai, S., McEwan, M., Popovic, V., & Diefenbach, S. (2019). Perspectives on the nature of intuitive interaction. In A. Blackler (Ed.), *Intuitive interaction: Research and application* (pp. 19-39). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22191-2>
- Blanchard, C., Burgess, S., Harvill, Y., Lanier, J., Lasko, A., & Oberman, M. (1990). Reality built for two: a virtual reality tool. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 24, 35-36. <https://doi.org/10.1145/91394.91409>
- Blanke, O. (2012). Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(8), 556-571. <https://doi.org/10.1038/nrn3292>
- Blanke, O., Slater, M., & Serino, A. (2015). Behavioral, neural, and computational principles of bodily self-consciousness. *Neuron*, 88(1), 145-166. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.029>
- Blasovich, J., Loomis, J., Beall, A., Swinth, K., Hoyt, C., & Bailenson, J.N. (2002). Immersive virtual environment technology as a methodological tool for social psychology. *Psychological Inquiry*, 13(2), 103-124. [https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1302\\_01](https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1302_01)

- Blom, K. J., Arroyo-Palacios, J., & Slater, M. (2014). The effects of rotating the self out of the body in the full virtual body ownership illusion. *Perception, 43*(4), 275-294. <https://doi.org/10.1068/p7618>
- Blurbusters (2019). *VR guide 2019: Compare popular virtual reality headsets*. <https://blurbusters.com/best-vr-guide-2019-compare-popular-virtual-reality-headsets/>
- Boe, A. & Prasolova-Forland, E. (2015). Teaching and learning aquaculture in virtual reality with Oculus Rift. *Proceedings of the E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2015*, 1426-1435. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Boethel, M., & Dimock, K. V. (1999). *Constructing knowledge with technology: A review of the literature*. Southwest Educational Development Laboratory.
- Bonde, M. T., Makransky, G., Wandall, J., Larsen, M. V., Morsing, M., Jarmer, H., Sommer, M. O. A. (2014). Improving biotech education through gamified laboratory simulations. *Nature Biotechnology, 32*(7), 694-697. <https://doi.org/10.1038/nbt.2955>
- Borland, D., Peck, T., & Slater, M. (2013). An evaluation of self-avatar eye movement for virtual embodiment. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 19*(4), 591-596. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.24>
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands "feel" touch that eyes see. *Nature, 391*(6669), 756-756. <https://doi.org/10.1038/35784>
- Bourdin, P., Sanahuja, J. M. T., Moya, C. C., Haggard, P., & Slater, M. (2013). Persuading people in a remote destination to sing by beaming there. *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 123-132. ACM. <https://doi.org/10.1145/2503713.2503724>
- Brooks, J. G., & Brooks, M. G. (1999). *In search of understanding: The case for constructivist classrooms*. AscD.
- Brown, E., Hobbs, M., & Gordon, M. (2008). A virtual world environment for group work. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT), 3*(1), 1-12. <https://doi.org/10.4018/jwlтт.2008010101>
- Brown, J. (2019). *How gender questioning and transgender gamers found a safe space in VR*. [www.digitaltrends.com](http://www.digitaltrends.com)
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: how much immersion is enough? *Computer, 40*(7), 36-43. <https://doi.org/10.1109/MC.2007.257>
- Bowman, D. A., McMahan, R. P., & Ragan, E. D. (2012). Questioning naturalism in 3D user interfaces. *Communications of the ACM, 55*(9), 78-88. <https://doi.org/10.1145/2330667.2330687>
- Bradley, R., & Newbutt, N. (2018). Autism and virtual reality head-mounted displays: A state of the art systematic review. *Journal of Enabling Technologies, 12*(3), 101-113. <https://doi.org/10.1108/JET-01-2018-0004>
- Brand, S., Reimer, T., & Opwis, K. (2007). How do we learn in a negative mood? Effects of a negative mood on transfer and learning. *Learning and Instruction, 17*(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.11.002>
- Brault, S., Bideau, B., Kulpa, R., & Craig, C. (2009). Detecting deceptive movement in 1 vs. 1 based on global body displacement of a rugby player. *International Journal of Virtual Reality, 8*(4) 31-36. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2009.8.4.2746>
- Bric, J. D., Lumbard, D. C., Frelich, M. J., & Gould, J. C. (2016). Current state of virtual reality simulation in robotic surgery training: a review. *Surgical Endoscopy, 30*, 2169–2178. <https://doi.org/10.1007/s00464-015-4517-y>



- Brien, S., Lorenzetti, D., Lewis, S., Kennedy, J., & Ghali, W. (2010). Overview of a formal scoping review on health system report cards. *Implementation Science*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-2>
- Briscoe, F. M. (2012). Anarchist, neoliberal & democratic decision-making: Deepening the joy in learning and teaching. *Educational Studies*, 48(1), 76-102. <https://doi.org/10.1080/00131946.2011.637257>
- Brotos-Mas, J. R., O'Mara, S., & Sanchez-Vives, M. V. (2006). Neural processing of spatial information: what we know about place cells and what they can tell us about presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 15(5), 485-499. <https://doi.org/10.1162/pres.15.5.485>
- Brown, K. W., Ryan, R. M., & Creswell, J. D. (2007). Mindfulness: Theoretical foundations and evidence for its salutary effects. *Psychological Inquiry*, 18(4), 211-237. <https://doi.org/10.1080/10478400701598298>
- Bruner, J. S. (1961). *The act of discovery*. Harvard Educational Review.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction*. Belkapp.
- Bruner, J. S. (2009). *The process of education*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvk12qst>
- Buckley, C. E., Kavanagh, D. O., Traynor, O., & Neary, P. C. (2014). Is the skillset obtained in surgical simulation transferable to the operating theatre? *The American Journal of Surgery*, 207(1), 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2013.06.017>
- Bulu, S. T. (2012). Place presence, social presence, co-presence, and satisfaction in virtual worlds. *Computers & Education*, 58(1), 154-161. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.08.024>
- Buń, P., Górski, F., Wichniarek, R., Kuczko, W., Hamrol, A., & Zawadzki, P. (2015). Application of professional and low-cost head mounted devices in immersive educational application. *Procedia Computer Science*, 75, 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.235>
- Burdea, G. (2002). Keynote address: Virtual rehabilitation-benefits and challenges. *Proceedings of the 1st International Workshop on Virtual Reality Rehabilitation (Mental Health, Neurological, Physical, Vocational) VRMHR (vol. 2002)*, 1-11.
- Burdea, G., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology* (2nd ed.). John Wiley. <https://doi.org/10.1162/105474603322955950>
- Bush, J. (2008). Viability of virtual reality exposure therapy as a treatment alternative. *Computers in Human Behavior*, 24(3), 1032-1040. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2007.03.006>
- Buttussi, F., & Chittaro, L. (2017). Effects of different types of virtual reality display on presence and learning in a safety training scenario. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(2), 1063-1076. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2653117>
- Cali, C., Baghabra, J., Boges, D. J., Holst, G. R., Kreshuk, A., Hamprecht, F. A., Srinivasan, M., Lehvälaiho, H., & Magistretti, P. J. (2015). Three-dimensional immersive virtual reality for studying cellular compartments in 3D models from EM preparations of neural tissues. *Journal of Comparative Neurology*, 524(1), 23-38. <https://doi.org/10.1002/cne.23852>
- Çaliskan, O. (2011). Virtual field trips in education of earth and environmental sciences. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 3239-3243. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.278>
- Callieri, M., Chica, A., Dellepiane, M., Besora, I., Corsini, M., Moyés, J., Ranzuglia, G., Moyés, J., & Brunet, P. (2011). Multiscale acquisition and presentation of very large artifacts: the case of portalada. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 3(4), 1-20. <https://doi.org/10.1145/1957825.1957827>

- Carlson, J. R., & George, J. F. (2004). Media appropriateness in the conduct and discovery of deceptive communication: The relative influence of richness and synchronicity. *Group Decision and Negotiation*, 13(2), 191-210. <https://doi.org/10.1023/B:GRUP.0000021841.01346.35>
- Carnegie, K., & Rhee, T. (2015). Reducing visual discomfort with HMDs using dynamic depth of field. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(5), 34-41. <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.98>
- Carrozzino, M., & Bergamasco, M. (2010). Beyond virtual museums: experiencing immersive virtual reality in real museums. *Journal of Cultural Heritage*, 11(4), 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.04.001>
- Castaneda, L. & Pacampara, M. (2016). Virtual Reality in the classroom-An exploration of hardware, management, content and pedagogy. In G. Chamblee & L. Langub (Eds.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2016* (pp. 527-534). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Casu, A., Spano, L. D., Sorrentino, F., & Scateni, R. (2015). RiftArt: bringing masterpieces in the classroom through immersive virtual reality. *Proceedings of the Smart Tools and Apps for Graphics-Eurographics Italian Chapter Conference*. Eurographics Association.
- Cendan, J., & Lok, B. (2012). The use of virtual patients in medical school curricula. *Advances in Physiology Education*, 36, 48-53. <https://doi.org/10.1152/advan.00054.2011>
- Chang, X. Q., Zhang, D. H., & Jin, X. X. (2016). Application of virtual reality technology in distance learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 11(11). <https://doi.org/10.3991/ijet.v11i11.6257>
- Chen, S. (2018). Research on the application of virtual reality in remote education based on the example of MOOC. *Proceedings of the 2018 15th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 1-4. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2018.8465027>
- Chen, X., Chen, Z., Li, Y., He, T., Hou, J., Liu, S., & He, Y. (2019). ImmerTai: Immersive motion learning in VR environments. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 58, 416-427. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2018.11.039>
- Chen, Y. L. (2016). The effects of virtual reality learning environment on student cognitive and linguistic development. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 25(4), 637-646. <https://doi.org/10.1007/s40299-016-0293-2>
- Cheng, A., Yang, L., & Andersen, E. (2017). Teaching language and culture with a virtual reality game. *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems, 2017*, 541-549. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025857>
- Cheng, M. T., She, H. C., & Annetta, L. A. (2015). Game immersion experience: its hierarchical structure and impact on game-based science learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(3), 232-253. <https://doi.org/10.1111/jcal.12066>
- Cheong, R. (1995). The virtual threat to travel and tourism. *Tourism Management*, 16(6), 417-422. [https://doi.org/10.1016/0261-5177\(95\)00049-T](https://doi.org/10.1016/0261-5177(95)00049-T)
- Chernyak, D., & Stark, L. W. (2001). Top-down guided eye movements. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 31(4), 514-522. <https://doi.org/10.1109/3477.938257>
- Cheung, S. K. S., Fong, J., Fong, W., Wang, F. L., & Kwok, L. F. (Eds.). (2013). *Hybrid learning and continuing education, Proceedings of the 6th International Conference* (vol. 8038). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39750-9>
- Chittaro, L., & Buttussi, F. (2015). Assessing knowledge retention of an immersive serious game vs. A traditional education method in aviation safety. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(4), 529-538. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2015.2391853>

- Choi, J. I., & Hannafin, M. (1995). Situated cognition and learning environments: Roles, structures, and implications for design. *Educational Technology Research and Development*, 43(2), 53-69. <https://doi.org/10.1007/BF02300472>
- Christiansen, K. R., & Shalamov, A. (2017). *Motion sensors explainer*. World Wide Web Consortium, Technical Report.
- Chu, P. Y., Chen, L. C., Kung, H. W., & Su, S. J. (2017). A study on the differences among M3D, S3D and HMD for students with different degrees of spatial ability in design education. *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction*, 293-299. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58750-9\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58750-9_41)
- Claessen, M. H., van Der Ham, I. J., Jagersma, E., & Visser-Meily, J. M. (2015). Navigation strategy training using virtual reality in six chronic stroke patients: a novel and explorative approach to the rehabilitation of navigation impairment. *Neuropsychological Rehabilitation*, 26(5-6), 822-846. <https://doi.org/10.1080/09602011.2015.1045910>
- Clarke, P. (2016). Smart MEMS microphones market emerges. *EE News Analog*. <https://www.eenewsanalog.com/news/smart-mems-microphones-market-emerges>
- Cockton, G. (2006). Valuing user experience. In E. Law, E. Hvannberg & M. Hassenzahl (Eds.), *Proceedings of the NordiCHI 2006 Workshop: User Experience: Towards a Unified View*, 100-105. COST294-MAUSE.
- Codd, A. M., & Choudhury, B. (2011). Virtual reality anatomy: is it comparable with traditional methods in the teaching of human forearm musculoskeletal anatomy? *Anatomical Sciences Education*, 4(3), 119-125. <https://doi.org/10.1002/ase.214>
- Cohen, J. (2001). Defining identification: A theoretical look at the identification of audiences with media characters. *Mass Communication & Society*, 4(3), 245-264. [https://doi.org/10.1207/S15327825MCS0403\\_01](https://doi.org/10.1207/S15327825MCS0403_01)
- Colburn, A. (2000). Constructivism: Science education's "grand unifying theory." *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 74(1), 9-12. <https://doi.org/10.1080/00098655.2000.11478630>
- Computer Discount Warehouse-Government, CDW-G (2010). *21st-century classroom report: Key findings*. <http://newsroom.cdw.com/features/feature-06-28-10.html> \
- Conn, C., Lanier, J., Minsky, M., Fisher, S., & Druin, A. (1989). Virtual environments and interactivity: windows to the future. *Proceedings of the ACM SIGGRAPH 89 Panel*, 7-18. ACM. <https://doi.org/10.1145/77276.77278>
- Connolly, M., Seligman, J., Kastenmeier, A., Goldblatt, M., & Gould, J. C. (2014). Validation of a virtual reality-based robotic surgical skills curriculum. *Surgical Endoscopy*, 28(5), 1691-1694. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-3373-x>
- Cook, D. A., Erwin, P. J., & Triola, M. M. (2010). Computerized virtual patients in health professions education: a systematic review and meta-analysis. *Academic Medicine*, 85(10), 1589-1602. <https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3181edfe13>
- Corbetta, D., Imeri, F., & Gatti, R. (2015). Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*, 61(3), 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.05.017> 181b33350
- Crescentini, C., Chittaro, L., Capurso, V., Sioni, R., & Fabbro, F. (2016). Psychological and physiological responses to stressful situations in immersive virtual reality: Differences between users who

- practice mindfulness meditation and controls. *Computers in Human Behavior*, 59, 304-316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.02.031>
- Crook, C. (1991). Computers in the zone of proximal development: implications for evaluation. *Computers & Education*, 17(1), 81-91. [https://doi.org/10.1016/0360-1315\(91\)90075-3](https://doi.org/10.1016/0360-1315(91)90075-3)
- Crook, C., & Lewthwaite, S. (2010). Technologies for formal and informal learning. *International Handbook of Psychology in Education*, 435-461. Emerald
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V., & Hart, J. C. (1992). The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment. *Communications of the ACM*, 35(6), 64-73. <https://doi.org/10.1145/129888.129892>
- Csikszentmihályi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Haper and Row.
- Csikszentmihályi, M. (2017). *Finding flow*. Hachette Audio.
- Cushman, L. A., Stein, K., & Duffy, C. J. (2008). Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality. *Neurology*, 71(12), 888-895. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000326262.67613.fe>
- Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10-32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>
- Dalgarno, B., Lee, M. J., Carlson, L., Gregory, S., & Tynan, B. (2011). An Australian and New Zealand scoping study on the use of 3D immersive virtual worlds in higher education. *Australasian Journal of Educational Technology*, 27(1). <https://doi.org/10.14742/ajet.978>
- Darken, R., & Goerger, S. R. (1999). The transfer of strategies from virtual to real environments: an explanation for performance differences? *Simulation Series*, 31, 159-164.
- Daudt, H. M., Van Mossel, C., & Scott, S. J. (2013). Enhancing the scoping study methodology: A large, inter-professional team's experience with Arksey and O'Malley's framework. *BMC Medical Research Methodology*, 13(1), 48. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-13-48>
- Davis, A. & Kühnlenz, F. (2017). Optical design using Fresnel lenses: basic principles and some practical examples. *Optik & Photonik*, 4, 52-55. <https://doi.org/10.1002/opph.201190287>
- Davis, D., & Hayes, J. (2012). What are the benefits of mindfulness: A wealth of new research has explored this age-old practice. Here's a look at its benefits for both clients and psychologists. *Monitor on Psychology*, 43, 198-208. <https://doi.org/10.1037/e584442012-022>
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science*, 35(8), 982-1003. <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982>
- Dawson, D. L. (2006). Training in carotid artery stenting: do carotid simulation systems really help? *Vascular*, 14(5), 256-263. <https://doi.org/10.2310/6670.2006.00045>
- De la Peña, N., Weil, P., Llobera, J., Giannopoulos, E., Pomés, A., Spanlang, B., Friedman, D., Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2010). Immersive journalism: immersive virtual reality for the first-person experience of news. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 19(4), 291-301. [https://doi.org/10.1162/PRES\\_a\\_00005](https://doi.org/10.1162/PRES_a_00005)
- De Lucia, A., Francese, R., Passero, I., & Tortora, G. (2009). Development and evaluation of a virtual campus on Second Life: The case of Second DMI. *Computers & Education*, 52(1), 220-233. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.08.001>
- De Oliveira, E. C., Bertrand, P., Lesur, M. E. R., Palomo, P., Demarzo, M., Cebolla, A., Baños, R., & Tori, R. (2016). Virtual body swap: A new feasible tool to be explored in health and education.

- Proceedings of the 18th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2016*, 81-89.  
<https://doi.org/10.1109/SVR.2016.23>
- De Rooij, I. J. M., van de Port, I. G. L., & Meijer, J.-W. G. (2016). Effect of virtual reality training on balance and gait ability in patients with stroke: Systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy*, 96(12), 1905-1918. <https://doi.org/10.2522/ptj.20160054>
- De Villiers, P. & Blignaut, S. (2016). Readiness of forklift operators to train with serious games. In J. Johnston (Ed.), *Proceedings of the EdMedia + Innovate Learning 2016*, 1696-1704. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Dede, C. J. (1992). The future of multimedia: Bridging to virtual worlds. *Educational Technology*, 32(5), 54-60.
- Dede, C. J. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science*, 323, 66-69.  
<https://doi.org/10.1126/science.1167311>
- Dede, C., Salzman, M., Loftin, R. B., & Ash, K. (1997). Using virtual reality technology to convey abstract scientific concepts. In M. J. Jacobson, R. B. Kozma, & L. Erlbaum (Eds.), *Learning the sciences of the 21st century: research, design, and implementing advanced technology learning environments* (pp. 1-44). Lawrence Erlbaum.
- Dede, C., Salzman, M. C., Loftin, R. B., & Sprague, D. (1999). Multisensory immersion as a modeling environment for learning complex scientific concepts. In W. Feurzeig & N. Roberts (Eds.), *Computer modeling and simulation in science education* (pp. 282-319). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1414-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1414-4_12)
- Dennis, A. R., & Valacich, J. S. (1999). Rethinking media richness: Towards a theory of media synchronicity. *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on Systems Sciences*, 1-10. <https://doi.org/10.1109/HICSS.1999.772701>
- Derry, S. J. (1990). *Flexible cognitive tools for problem solving instruction*. Paper presented at the American Educational Research Association.
- Dick, W. (1991). An instructional designer's view of constructivism. *Educational Technology*, 31(5), 41-44.
- Dickey, M. D. (2005). Brave new (interactive) worlds: A review of the design affordances and constraints of two 3D virtual worlds as interactive learning environments. *Interactive Learning Environments*, 13(1-2), 121-137. <https://doi.org/10.1080/10494820500173714>
- Diemer, J., Alpers, G. W., Peperkorn, H. M., Shibani, Y., & Mühlberger, A. (2015). The impact of perception and presence on emotional reactions: a review of research in virtual reality. *Frontiers in Psychology*, 6(26), 1-9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00026>
- Dodds, T. J., Mohler, B. J., & Bühlhoff, H. H. (2011). Talk to the virtual hands: self-animated avatars improve communication in head-mounted display virtual environments. *PLoS One*, 6(10), e25759. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025759>
- Doherty, M. E., Jr. (1994). Marshall McLuhan meets William Gibson in "Cyberspace". *CMC Magazine*, 4-5.
- Dolgunsoz, E., Yildirim, G., & Yildirim, S. (2018). The effect of virtual reality on EFT writing performance. *Journal of Language and Linguistic Studies*, 14, 278-292.
- Dourish, P. (2004). *Where the action is: the foundations of embodied interaction*. MIT press.
- Duchowski, A. T., House, D. H., Gestring, J., Wang, R. I., Krejtz, K., Krejtz, I., Mantiuk, R., & Bazyluk, B. (2014). Reducing visual discomfort of 3D stereoscopic displays with gaze-contingent depth-of-field. *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception* (pp. 39-46). ACM.  
<https://doi.org/10.1145/2628257.2628259>

- Ducoffe, R. H. (1996). Advertising value and advertising on the web-Blog@ management. *Journal of advertising research*, 36(5), 21-32.
- Dunn, S., Woolford, K., Norman, S.-J., White, M., & Barker, L. (2012). Motion in place: a case study of archaeological reconstruction using motion capture. *Revive the Past: Proceedings of the 39th Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, 98-106. Amsterdam University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1zrvhmr.14>
- Edmund Optics (n. d.). *Advantages of Fresnel lenses*. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/advantages-of-fresnel-lenses/>
- Edwards, S. (2013). *By-passing the debate: Beyond the "technology question" in the early years*. TACTYC Reflections. <http://tactyc.org.uk/pdfs/Reflection-Edwards.pdf>
- Ehrsson, H. H. (2009). How many arms make a pair? Perceptual illusion of having an additional limb. *Perception*, 38(2), 310-312. <https://doi.org/10.1068/p6304>
- Ehrsson, H. H. (2012). The concept of body ownership and its relation to multisensory integration. In B. E. Stein (Ed.), *The new handbook of multisensory processes* (pp. 775-792). MIT Press. <https://doi.org/10.1162/pres.1996.5.2.247>
- Eichenberg, C. (2011). Application of virtual realities in psychotherapy: possibilities, limitations and effectiveness. In J.-J. Kim (Ed.), *Virtual reality* (pp. 469-484). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/12914>
- El Kabtane, H., El Adnani, M., Sadgal, M., & Mourdi, Y. (2020). Virtual reality and augmented reality at the service of increasing interactivity in MOOCs. *Education and Information Technologies*, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10054-w>
- El-Mounayri, H. A., Rogers, C., Fernandez, E., & Satterwhite, J. C. (2016). Assessment of STEM e-learning in an immersive virtual reality (VR) environment. *Proceedings of the ASEE Annual Conference and Exposition*. <https://doi.org/10.18260/p.26336>
- Elliman, J., Loizou, M., & Loizides, F. (2016). Virtual reality simulation training for student nurse education. *Proceedings of the 2016 8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications, VS-Games 2016*. <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2016.7590377>
- Ellis, S. R. (1996). Presence of mind: a reaction to Thomas Sheridan's "further musings on the psychophysics of presence". *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 5(2), 247-259. <https://doi.org/10.1162/pres.1996.5.2.247>
- Elmezeny, A., Edenhofer, N., & Wimmer, J. (2018). Immersive storytelling in 360-degree videos: An analysis of interplay between narrative and technical immersion. *Journal for Virtual Worlds Research*, 11(1). <https://doi.org/10.4101/jvwr.v11i1.7298>
- Encyclopaedia Britannica (2020). *Snell's law*. <https://www.britannica.com/science/Snells-law>
- Engadget (2017). *Chinese startup's '8K' VR headset is surprisingly advanced*. <https://www.engadget.com/2017-10-12-pimax-8k-vr-headset.html>
- Engelbrecht, H., Lindeman, R. W., & Hoermann, S. (2019). A SWOT analysis of the field of virtual reality for firefighter training. *Frontiers in Robotics and AI* 6(101), 1-14. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00101>
- Entwistle, N. & Ramsden, P. (2015). *Understanding student learning*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315718637>
- Ermj, L., & Mäyrä, F. (2005). Fundamental components of the gameplay experience: Analysing immersion. *Worlds in Play: International Perspectives on Digital Games Research*, 37(2), 37-53.

- Ertmer, P. A., & Newby, T. J. (2013). Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design perspective. *Performance Improvement Quarterly*, 26(2), 43-71. <https://doi.org/10.1002/piq.21143>
- Ezawa, K., Bazinet, J. B., Danely, C., Gursky, J., Homan, D. F., Kim, H. H., May, M., Pritchard, W. H., Rollins, M., Singlehurst, T. A., Wong, K., Yoshida, R., Chan, D., Goyal, S., Harchandani, A. B., Iyer, R. V., Malik, A., Michaeli, I., Raviv, J., ... & Yang, W. (2016). *Virtual & Augmented Reality. Are you sure it isn't real?* Citi GPS: Global Perspectives & Solutions. <https://www.citibank.com/commercialbank/insights/assets/docs/virtual-and-augmented-reality.pdf>
- Fabola, A., & Miller, A. (2016). Virtual Reality for early education: A study. *Proceedings of the International Conference on Immersive Learning*, 59-72. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41769-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41769-1_5)
- Falah, J., Khan, S., Alfalah, T., Alfalah, S. F. M., Chan, W., Harrison, D. K., & Charissis, V. (2014). Virtual reality medical training system for anatomy education. *Proceedings of the 2014 Science and Information Conference*, 752-758. IEEE. <https://doi.org/10.1109/SAI.2014.6918271>
- Falloon, G. (2010). Using avatars and virtual environments in learning: What do they have to offer?. *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 108-122. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.00991.x>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Ferguson, C., Van den Broek, E. L., & Van Oostendorp, H. (2020). On the role of interaction mode and story structure in virtual reality serious games. *Computers & Education*, 143, 103671. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103671>
- Ferracani, A., Pezzatini, D., & Del Bimbo, A. (2014). A natural and immersive virtual interface for the surgical safety checklist training. *Proceedings of the ACM International Workshop on Serious Games-Serious Games '14*, 27-32. ACM. <https://doi.org/10.1145/2656719.2656725>
- Fokides, E. (2017a). A model for explaining primary school students' learning outcomes when they use multi-user virtual environments. *Journal of Computers in Education*, 4(3), 225-250. <https://doi.org/10.1007/s40692-017-0080-y>
- Fokides, E. (2017b). Pre-service teachers' intention to use MUVES as practitioners. A structural equation modeling approach. *Journal of Information Technology Education: Research*, 16, 47-68. <https://doi.org/10.28945/3645>
- Fokides, E. (2020). Digital educational games in primary education. Revisiting the results of the research projects of the ETiE initiative. In L. Daniela (Ed.), *Epistemological approaches to digital learning in educational contexts* (pp. 54-68). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429319501-4>
- Fokides, E., & Atsikpasi, P. (2018). Development of a model for explaining the learning outcomes when using 3D virtual environments in informal learning settings. *Education and Information Technologies*, 25(3), 2265-2287. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9719-1>
- Fokides, E., Atsikpasi, P., Kaimara, P., & Deliyannis, I. (2019). Factors influencing the subjective learning effectiveness of serious games. *Journal of Information Technology Education: Research*, 18, 437-466. <https://doi.org/10.28945/44411>

- Fokides, E., Chronopoulou, M.-I., & Kaimara, P. (2019). Comparing videos and a 3D virtual environment for teaching school-related functional skills and behaviors to students with ADHD or developmental dyslexia, displaying challenging behaviors: a case study. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 14, 22. <https://doi.org/10.1186/s41039-019-0117-0>
- Fokides, E., & Zampouli, C. (2017). Content and Language Integrated Learning in OpenSimulator Project. Results of a pilot implementation in Greece. *Education and Information Technologies*, 22(4), 1479-1496. <https://doi.org/10.1007/s10639-016-9503-z>
- Foley, J. D., & Van Dam, A. (1982). *Fundamentals of interactive computer graphics* (vol. 2). Addison-Wesley
- Fominykh, M., Prasolova-Førland, E., Stiles, T.C., Krogh, A.B. & Linde, M. (2018). Conceptual framework for therapeutic training with biofeedback in virtual reality: First evaluation of a relaxation simulator. *Journal of Interactive Learning Research*, 29(1), 51-75.
- Forlizzi, J., & Battarbee, K. (2004). Understanding experience in interactive systems. *Proceedings of the 5th Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques*, 261-268. <https://doi.org/10.1145/1013115.1013152>
- Fowler, C. (2015). Virtual reality and learning: where is the pedagogy? *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 412-422. <https://doi.org/10.1111/bjet.12135>
- Fox, J., & Bailenson, J. N. (2009). Virtual self-modeling: the effects of vicarious reinforcement and identification on exercise behaviors. *Media Psychology*, 12(1), 1-25. <https://doi.org/10.1080/15213260802669474>
- Freina, L., Bottino, R. & Tavella, M. (2016). From e-learning to VR-learning: An example of learning in an immersive virtual world. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 12(2), 101-113.
- Freina, L., & Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives. *Proceedings of the International Scientific Conference Elearning and Software for Education*, 1-8.
- Friedman, D., Pizarro, R., Or-Berkers, K., Neyret, S., Pan, X., & Slater, M. (2014). A method for generating an illusion of backwards time travel using immersive virtual reality - an exploratory study. *Frontiers in Psychology*, 5, 943. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00943>
- Friedman, D., Steed, A., & Slater, M. (2007). Spatial social behavior in second life. In C. Pelachaud, J.-C. Martin, E. André, G. Chollet, K. Karpouzis, & D. Pelé (Eds.), *Proceedings of the Intelligent Virtual Agents 7th International Conference, IVA 2007*, 252-263. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74997-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74997-4_23)
- Furrer, C., & Skinner, E. (2003). Sense of relatedness as a factor in children's academic engagement and performance. *Journal of Educational Psychology*, 95(1), 148. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.1.148>
- Gabriel, K., Jarvis, J., & Trimmer, W. (1988). *Small machines, large opportunities: A report on the emerging field of microdynamics*. Report of the Workshop on Microelectromechanical Systems Research. AT&T Bell Laboratories.
- Gaitatzes, A., Christopoulos, D., & Roussou, M. (2001). Reviving the past: cultural heritage meets virtual reality. *Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*, 103-110. ACM. <https://doi.org/10.1145/584993.585011>
- Garcia, S., Laesker, D., Andujar, M., Kauer, R., & Nguyen, J. (2019). A virtual reality experience for learning languages. *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems, 2019*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3290607.3313253>



- Garrison, D. R. (2011). *E-Learning in the 21st century: A framework for research and practice*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203838761>
- Gartner Glossary (n. d.). *Head-mounted Displays (HMDs)*. <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/head-mounted-displays-hmd>
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U. & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778-798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>
- Gavish, N., Gutierrez, T., Webel, S., Rodriguez, J., & Tecchia, F. (2011). Design guidelines for the development of virtual reality and augmented reality training systems for maintenance and assembly tasks. *Proceedings of the International Conference SKILLS 2011*. BIO Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20110100029>
- Gerjets, P., Walter, W., Rosenstiel, W., Bogdan, M., & Zander, T. O. (2014). Cognitive state monitoring and the design of adaptive instruction in digital environments: Lessons learned from cognitive workload assessment using a passive brain-computer interface approach. *Frontiers in Neuroscience*, 8, 386. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00385>
- Giannopoulos, E., Wang, Z., Peer, A., Buss, M., & Slater, M. (2011). Comparison of people's responses to real and virtual handshakes within a virtual environment. *Brain Research Bulletin*, 85(5), 276-282. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2010.11.012>
- Gibson, J., J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Psychology Press.
- Glaser, N. J., & Schmidt, M. (2018). Usage considerations of 3D collaborative virtual learning environments to promote development and transfer of knowledge and skills for individuals with autism. *Technology, Knowledge and Learning*, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9369-9>
- González-Franco, M., Peck, T. C., Rodríguez-Fornells, A., & Slater, M. (2013). A threat to a virtual hand elicits motor cortex activation. *Experimental Brain Research*, 232(3), 875-887. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3800-1>
- Górski, F., Buń, P., Wichniarek, R., Zawadzki, P., & Hamrol, A. (2015). Immersive city bus configuration system for marketing and sales education. *Procedia Computer Science*, 75, 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.230>
- Gould, N. F., Holmes, M. K., Fantie, B. D., Luckenbaugh, D. A., Pine, D. S., Gould, T. D., Burgess, N., Hussein, D., Manji, K., Carlos, D., & Zarate, A. (2007). Performance on a virtual reality spatial memory navigation task in depressed patients. *American Journal of Psychiatry*, 164(3), 516-519. <https://doi.org/10.1176/ajp.2007.164.3.516>
- Grant, M., J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2011.00939.x>
- Greenwald, S., Kulik, A., Kunert, A., Beck, S., Frohlich, B., Cobb, S., Parsons, S., Newbutt, N., Gouneia, C., Cook, C., Snyder, A., Payne, S., Holland, J., Buessing, S., Fields, G., Corning, W., Lee, V., Xia, L., & Maes, P. (2017). Technology and applications for collaborative learning in virtual reality. *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning (CSCL), Prioritizing Equity and Access in CSCL*.
- Groom, V., Bailenson, J. N., & Nass, C. (2009). The influence of racial embodiment on racial bias in immersive virtual environments. *Social Influence*, 4(3), 231-248. <https://doi.org/10.1080/15534510802643750>

- Gugenheimer, J., Stemasov, E., Frommel, J., & Rukzio, E. (2017). Sharevr: Enabling co-located experiences for virtual reality between HMD and non-HMD users. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 4021-4033. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025683>
- Gulikers, J. T., Bastiaens, T. J., & Martens, R. L. (2005). The surplus value of an authentic learning environment. *Computers in Human Behavior*, 21(3), 509-521. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2004.10.028>
- Gunawardena, C. N., & Zittle, F. J. (1997). Social presence as a predictor of satisfaction within a computer-mediated conferencing environment. *American Journal of Distance Education*, 11(3), 8-26. <https://doi.org/10.1080/08923649709526970>
- Gustafson, P. (2012). Managing business travel: developments and dilemmas in corporate travel management. *Tourism Management*, 33(2), 276-284. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.03.006>
- Guterstam, A., Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2011). The illusion of owning a third arm. *PloS One*, 6(2), e17208. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017208>
- Gutierrez-Maldonado, J., Andres-Pueyo, A., & Talarn-Caparros, A. (2015). Virtual reality to train teachers in ADHD detection. In D. Rutledge & D. Slykhuis (Eds.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2015* (pp. 769-772). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis: International version* (7th ed.) Pearson. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2009.12.014>
- Halabi, O., Abou El-Seoud, S., Alja'am, J., Alpona, H., Al-Hemadi, M., & Al-Hassan, D. (2017). Design of immersive virtual reality system to improve communication skills in individuals with autism. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 12(5), 50-64. <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i05.6766>
- Hall, E. T. (1969). *The hidden dimension*. Anchor Books.
- Hamurcu, A. (2018, October). User insights about using immersive virtual reality in industrial design studio courses. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 2018*, 1-8. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2018.8567058>
- Harrington, M. C. (2012). The virtual trillium trail and the empirical effects of freedom and fidelity on discovery-based learning. *Virtual Reality*, 16(2), 105-120. <https://doi.org/10.1007/s10055-011-0189-7>
- Hartley, T., Maguire, E. A., Spiers, H. J., & Burgess, N. (2003). The well-worn route and the path less traveled: distinct neural bases of route following and wayfinding in humans. *Neuron*, 37(5), 877-888. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(03\)00095-3](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(03)00095-3)
- Hartson, R. & Pyla, P. S. (2012). *The UX Book: Process and guidelines for ensuring a quality user experience*. Elsevier.
- Hassenzahl, M., Tractinsky, N. (2006). User experience-a research agenda. *Behaviour and Information Technology*, 25(2), 91-97. <https://doi.org/10.1080/01449290500330331>
- Hauser, M., Cushman, F., Young, L., Kang-Xing Jin, R., & Mikhail, J. (2007). A dissociation between moral judgments and justifications. *Mind & Language*, 22(1), 1-21. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.2006.00297.x>

- Hauswiesner, S., Straka, M., & Reitmayr, G. (2011). Free viewpoint virtual try-on with commodity depth cameras. *Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry*, 23-30. ACM. <https://doi.org/10.1145/2087756.2087759>
- Havig, P., McIntire, J., & Geiselman, E. (2011). Virtual reality in a cave: limitations and the need for HMDs? In *Head-and helmet-mounted displays XVI: Design and applications* (vol. 3), 8041-8046). International Society for Optics and Photonics. <https://doi.org/10.1117/12.883855>
- Haworth, M. B., Baljko, M., & Faloutsos, P. (2012). PhoVR. *Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry - VRCAI '12*. <https://doi.org/10.1145/2407516.2407560>
- Headphonezone (2020). *Understanding binaural audio*. <https://www.headphonezone.in/blogs/audiophile-guide/understanding-binaural-audio>
- Held, R. M., & Durlach, N. I. (1992). Telepresence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(1), 109-112. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.109>
- Heldal, I., Roberts, D., Bråthe, L., & Wolff, R. (2007). Presence, creativity and collaborative work in virtual environments. *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction*, 802-811. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-73105-4\\_88](https://doi.org/10.1007/978-3-540-73105-4_88)
- Heeter, C. (1992). Being there: The subjective experience of presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(2), 262-271. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.2.262>
- Hew, K. F., & Cheung, W. S. (2010). Use of three-dimensional (3-D) immersive virtual worlds in K-12 and higher education settings: A review of the research. *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 33-55. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00900.x>
- Higgins, J. P., & Green, S. (Eds.). (2011). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (vol. 4). John Wiley & Sons.
- Ho, L. H., Sun, H., & Tsai, T. H. (2019). Research on 3D painting in virtual reality to improve students' motivation of 3D animation learning. *Sustainability*, 11(6), 1605. <https://doi.org/10.3390/su11061605>
- Hong, S., & Tam, K. (2006). Understanding the adoption of multipurpose information appliances: The case of mobile data services. *Information Systems Research*, 17, 162-179. <https://doi.org/10.1287/isre.1060.0088>
- Huang, H.-M., Rauch, U., & Liaw, S.-S. (2010). Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, 55(3), 1171-1182. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014>
- Hutchins, H. M. (2003). Instructional immediacy and the seven principles: Strategies for facilitating online courses. *Online Journal of Distance Learning Administration*, 6(3), 1-11.
- Hwang, W. -Y., & Hu, S.-S. (2013). Analysis of peer learning behaviors using multiple representations in virtual reality and their impacts on geometry problem solving. *Computers & Education*, 62, 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.005>
- Ihlenfeldt, W. D. (1997). Virtual reality in chemistry. *Molecular Modeling Annual*, 3(9), 386-402. <https://doi.org/10.1007/s008940050056>
- Ilie, R., Shaffer, E., & D'Angelo, C. M. (2019). Learning by immersion: Developing virtual reality labs for electricity and magnetism courses. In *AGU fall meeting 2019*. AGU. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-6114>

- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in Computing Systems*, 234-241. <https://doi.org/10.1145/258549.258715>
- Jensen, K., Ringsted, C., Hansen, H. J., Petersen, R. H., & Konge, L. (2014). Simulation-based training for thoracoscopic lobectomy: a randomized controlled trial. *Surgical endoscopy*, 28(6), 1821-1829. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-3392-7>
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515-1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Jensen, M. T. (2014). Exploring business travel with work - family conflict and the emotional exhaustion component of burnout as outcome variables: the job demands-resources perspective. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 23(4), 497-510. <https://doi.org/10.1080/1359432X.2013.787183>
- Jha, M. (2018). *Spinning up in VR-Part 5: Human-computer interaction in virtual reality*. <https://medium.com/@mnrnja007/spinning-up-in-vr-part-5-human-computer-interaction-in-virtual-reality-757242a0751b>
- Johnson-Glenberg, M. C. (2017). Embodied education in mixed and mediated realities. In *Virtual, augmented, and mixed realities in education*, 193-217. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7_11)
- Johnson-Glenberg, M. C. (2019). The necessary nine: Design principles for embodied VR and active STEM education. In *Learning in a digital world*, 83-112. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9_5)
- Johnson-Glenberg, M. C., Birchfield, D. A., Tolentino, L., & Koziupa, T. (2014). Collaborative embodied learning in mixed reality motion-capture environments: Two science studies. *Journal of Educational Psychology*, 106(1), 86-104. <https://doi.org/10.1037/a0034008>
- Johnson-Laird, P. N. (1988). *The computer and the mind: An introduction to cognitive science*. Harvard University Press.
- Jonas, J. B., Rabethge, S., & Bender, H. J. (2003). Computer-assisted training system for pars plana vitrectomy. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 81(6), 600-604. <https://doi.org/10.1046/j.1395-3907.2003.0078.x>
- Jonassen, D. H. (1991). Evaluating constructivistic learning. *Educational technology*, 31(9), 28-33.
- Jonassen, D. H. (1994). Thinking technology: Toward a constructivist design model. *Educational technology*, 34(4), 34-37.
- Jonassen, D. H. (1995). Computers as cognitive tools learning with technology, not from technology. *Journal of Computing in Higher Education*, 6(2), 40-73. <https://doi.org/10.1007/BF02941038>
- Jonassen, D. H., & Carr, C. (2000). Mind tools: Affording multiple knowledge representations in learning. In S. P. Lajoie (Ed.), *Computers as cognitive tools: Volume ii, No more walls* (pp. 165-196). Lawrence Erlbaum Associates Inc. <https://doi.org/10.1201/9781315045337-8>
- Jonassen D. H., Mayes T., McAleese R. (1993) A manifesto for a constructivist approach to uses of technology in higher education. In T. M. Duffy, J. Lowyck, D. H. Jonassen, T. M. Welsh (Eds.), *Designing environments for constructive learning. NATO ASI Series (Series F: Computer and Systems Sciences)* (vol. 105, pp. 231-247). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-78069-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-78069-1_12)

- Juliano, J. M., Saldana, D., Schmiesing, A., & Liew, S. L. (2019). Experience with head-mounted virtual reality (HMD-VR) predicts transfer of HMD-VR motor skills. *Proceedings of the International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 1-2. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICVR46560.2019.8994345>
- Kalawsky, R. (1993). *The science of virtual reality and virtual environments: A technical, scientific and engineering reference on virtual environments*. Addison Wesley Publishing Company.
- Kalivarapu, V., Macallister, A., Hoover, M., Sridhar, S., Schlueter, J., Civitate, A., Thompkins, P., Smith, J., Hoyle, J., Oliver, J., Winer, E., & Chernoff, G. (2015). Game-day football visualization experience on dissimilar virtual reality platforms. *Proceedings of the Engineering Reality of Virtual Reality 2015, SPIE* (vol. 9392), 2-14. International Society for Optics and Photonics <https://doi.org/10.1117/12.2083250>
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 151(2), 362-367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>
- Kamstrupp, A. K. (2016). The wow-effect in science teacher education. *Cultural Studies of Science Education*, 11(4), 879-897. <https://doi.org/10.1007/s11422-015-9684-6>
- Kandalaft, M. R., Didehbani, N., Krawczyk, D. C., Allen, T. T., & Chapman, S. B. (2012). *Virtual reality social cognition training for young adults with high-functioning autism*. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(1), 34-44. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1544-6>
- Kaplan, A. M., & Haenlein, M. (2016). Higher education and the digital revolution: About MOOCs, SPOCs, social media, and the cookie monster. *Business Horizons*. 59(4), 441-50. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2016.03.008>
- Karageorgakis, T., & Nisiforou, E. A. (2018). Virtual reality in the EFL classroom. *The Cyprus Review*, 30(1), 381-396.
- Karray, F., Alemzadeh, M., Saleh, J. A., & Arab, M. N. (2008). *Human-computer interaction: Overview on state of the art*. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 1(1), 137-159. <https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-283>
- Kasahara, S., Nagai, S., & Rekimoto, J. (2014). LiveSphere: immersive experience sharing with 360 degrees head-mounted cameras. *Proceedings of the Adjunct Publication of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 61-62. ACM. <https://doi.org/10.1145/2658779.2659114>
- Kateros, S., Georgiou, S., Papaefthymiou, M., Papagiannakis, G., & Tsioumas, M. (2015). A comparison of gamified, immersive VR curation methods for enhanced presence and human-computer interaction in digital humanities. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 4(2), 221-233. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.4.2.221>
- Kaye, N., & Giannachi, G. (2011). Acts of presence: Performance, mediation, virtual reality. *The Drama Review*, 55(4), 88-95. [https://www.doi.org/10.1162/dram\\_a\\_00124](https://www.doi.org/10.1162/dram_a_00124)
- Kiefer, M., & Trumpp, N. M. (2012). Embodiment theory and education: The foundations of cognition in perception and action. *Trends in Neuroscience and Education*, 1(1), 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2012.07.002>
- Kilteni, K., Bergstrom, I., & Slater, M. (2013). Drumming in immersive virtual reality: the body shapes the way we play. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(4), 597-605. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.29>

- Kilteni, K., Normand, J.-M., Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2012). Extending body space in immersive virtual reality: a very long arm illusion. *PloS One*, 7(7), e40867. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040867>
- Kim, J. H., Jang, S. H., Kim, C. S., Jung, J. H., & You, J. H. (2009). Use of virtual reality to enhance balance and ambulation in chronic stroke: A double-blind, randomized controlled study. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 88(9), 693-701. <https://doi.org/10.1097/phm.0b013e3>
- Kim, J., Kim, H., Tay, B. K., Muniyandi, M., Srinivasan, M. A., Jordon, J., Mortensen, J., Oliveira, M., & Slater, M. (2004). Transatlantic touch: a study of haptic collaboration over long distance. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 13(3), 328-337. <https://doi.org/10.1162/1054746041422370>
- Kim, J. S. (1999). Physiology of eye movements. *Annals of Clinical Neurophysiology*, 1(2), 173-181.
- Kim, T., & Biocca, F. (1997). Telepresence via television: Two dimensions of telepresence may have different connections to memory and persuasion. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2), JCMC325. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00073.x>
- King, T. J., Warren, I., & Palmer, D. (2008). Would Kitty Genovese have been murdered in Second Life? Researching the "bystander effect" using online technologies. Proceedings of the *TASA 2008: Re-Imagining Sociology: The Annual Conference of the Australian Sociological Association*, 1-23. Australian Sociological Association.
- Kirschner, P., Strijbos, J. W., Kreijns, K., & Beers, P. J. (2004). Designing electronic collaborative learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 52(3), 47. <https://doi.org/10.1007/BF02504674>
- Kleinsmith, A., Rivera-Gutierrez, D., Finney, G., Cendan, J., & Lok, B. (2015). Understanding empathy training with virtual patients. *Computers in Human Behavior*, 52, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.05.033>
- Kline, R. B. (2015). *Principles and practice of structural equation modeling*. Guilford Publications.
- Klippel, A., Oprean, D., Zhao, J., Wallgrün, J. O., LaFemina, P., Jackson, K., & Gowen, E. (2019). Immersive learning in the wild: a progress report. *Proceedings of the International Conference on Immersive Learning*, 3-15. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23089-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23089-0_1)
- Kober, S. E., Wood, G., Hofer, D., Kreuzig, W., Kiefer, M., & Neuper, C. (2013). Virtual reality in neurologic rehabilitation of spatial disorientation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 10(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-17>
- Koenig, S. T., Crucian, G. P., Dalrymple-Alford, J. C., & Dunser, A. (2009). Virtual reality rehabilitation of spatial abilities after brain damage. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 105-107.
- Kohn, A. (2004). The cult of rigor and the loss of joy. *Education Week*, 24(3), 6-8.
- Kokkinara, E., & Slater, M. (2014). Measuring the effects through time of the influence of visuomotor and visuotactile synchronous stimulation on a virtual body ownership illusion. *Perception*, 43(1), 43-58. <https://doi.org/10.1068/p7545>
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2009). Experiential learning theory: A dynamic, holistic approach to management learning, education and development. *The SAGE handbook of management learning, education and development*, 42-68. <https://doi.org/10.4135/9780857021038.n3>
- Koleva, B., Taylor, I., Benford, S., Fraser, M., Greenhalgh, C., Schnadelbach, H., Lehn, D. v., Heath, C., Row-Far, J., & Adams, M. (2001). Orchestrating a mixed reality performance. *Proceedings of the*

- SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 38-45. SIGCHI  
<https://doi.org/10.1145/365024.365033>
- Kozlov, M. D., & Johansen, M. K. (2010). Real behavior in virtual environments: psychology experiments in a simple virtual-reality paradigm using video games. *Cyberpsychology, behavior, and social networking*, 13(6), 711-714. <https://doi.org/10.1089/cyber.2009.0310>
- Krassmann, A. L., da Rocha Mazzuco, A. E., Melo, M., Bessa, M., & Bercht, M. (2020). Usability and sense of presence in virtual worlds for distance education: A case study with virtual reality experts. *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU)*, 155-162). Science and Technology Publications. <https://doi.org/10.5220/0009350401550162>
- Krokos, E., Plaisant, C., & Varshney, A. (2019). Virtual memory palaces: Immersion aids recall. *Virtual Reality*, 23(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0346-3>
- Krueger, M. W., 1992. An Architecture for artificial realities. *Proceedings of the 37<sup>th</sup> IEEE Computer Society International Conference (COMPCON'92)*, 462-465. IEEE.
- Kucirkova, N. (2014). Kindle vs books? Children just don't see it that way. *The Conversation*, 18.
- Kwon, C. (2019). Verification of the possibility and effectiveness of experiential learning using HMD-based immersive VR technologies. *Virtual Reality*, 23(1), 101-118. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0364-1>
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh: the embodied mind and its challenge to Western thought*. Basic Books.
- Lakoff, G. & Núñez, R. E. (2000). *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*. Basic Books.
- Lamson, R. J. (1997). *Virtual therapy: prevention and treatment of psychiatric conditions by immersion in virtual reality environments*. Presses Polytechnique de Montréal.
- Lanier, J. (2006). Homuncular flexibility. *Edge*, 26. <https://www.edge.org/response-detail/11182>
- Lanier, J. (2010). *You are not a gadget: A manifesto*. Random House.
- Latane, B., & Darley, J. M. (1968). Group inhibition of bystander intervention in emergencies. *Journal of Personality and Social Psychology*, 10(3), 215. <https://doi.org/10.1037/h0026570>
- Lawson, G., Salanitri, D., & Waterfield, B. (2016). Future directions for the development of virtual reality within an automotive manufacturer. *Applied Ergonomics*, 53, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.06.024>
- Lee, B., & Wong, C. (2008). Transition to comprehensive student guidance service in Hong Kong. *Counselling, Psychotherapy, and Health, Counselling in the Asia Pacific Rim: A Coming Together of Neighbours Special Issue* 4(1), 17-23.
- Lee, E. A. L., Wong, K. W., & Fung, C. C. (2010). How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach. *Computers & Education*, 55(4), 1424-1442. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.06.006>
- Lee, H. J., Lee, K. H., & Choi, J. (2018). A structural model for Unity of experience: Connecting user experience, customer experience, and brand experience. *Journal of Usability Studies*, 14(1), 8-34.
- Lee, K. M. (2004). Presence, explicated. *Communication Theory*, 14(1), 27-50. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2004.tb00302.x>
- Leinen, P., Green, M. F., Esat, T., Wagner, C., Tautz, F. S., & Temirov, R. (2015). Virtual reality visual feedback for hand-controlled scanning probe microscopy manipulation of single molecules. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6(1), 2148-215. <https://doi.org/10.3762/bjnano.6.220>

- Levac, D., Colquhoun, H., & O'Brien, K. K. (2010). *Scoping studies: Advancing the methodology. Implementation Science, 5*(1), 69. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>
- Levin, M. F. (2011). Can virtual reality offer enriched environments for rehabilitation? *Expert Review of Neurotherapeutics, 11*(2), 153-155. <https://doi.org/10.1586/ern.10.201>
- Levoy, M., Pulli, K., Curless, B., Rusinkiewicz, S., Koller, D., Pereira, L., Ginzton, M., Anderson, S., Davis, J., Ginsberg, J., Shade, J. & Fulk, D. (2000). The digital Michelangelo project: 3D scanning of large statues. *Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 131-144. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. <https://doi.org/10.1145/344779.344849>
- Lewis, P. H., (1994, September). Sound Bytes; He added "Virtual" to "Reality." *The New York Times, 7*. <https://www.nytimes.com/1994/09/25/business/sound-bytes-he-added-virtual-to-reality.html>
- Liang, H. N., Lu, F., Shi, Y., Nanjappan, V., & Papangelis, K. (2019). Evaluating the effects of collaboration and competition in navigation tasks and spatial knowledge acquisition within virtual reality environments. *Future Generation Computer Systems, 95*, 855-866. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.02.029>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Medicine, 6*(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Limniou, M., Roberts, D., & Papadopoulos, N. (2008). Full immersive virtual environment CAVETM in Chemistry education. *Computer & Education, 51*, 584-593. <https://www.doi.org/10.1016/j.compedu.2007.06.014>
- Lin, H., Chen, M., Lu, G., Zhu, Q., Gong, J., You, X., Wen, Y., Xu, B., & Hu, M. (2013). Virtual Geographic Environments (VGEs): a new generation of geographic analysis tool. *Earth-Science Reviews, 126*, 74-84. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.001>
- Lin, S, Lee, T., Wang, H., & Chan, H. (2018). Developing the immersion virtual reality platform based on experiential learning cycle-using fire disaster prevention education as an example. *Proceedings of the 7th International Congress on Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI 2018*, 948-949. <https://doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2018.00195>
- Lindgren, R., & Johnson-Glenberg, M. (2013). Emboldened by embodiment: Six precepts for research on embodied learning and mixed reality. *Educational Researcher, 42*(8), 445-452. <https://doi.org/10.3102/0013189X13511661>
- Lindgren, R., Tscholl, M., Wang, S., & Johnson, E. (2016). Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation. *Computers & Education, 95*, 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.001>
- Linnenbrink, E. A., & Pintrich, P. R. (2002). Motivation as an enabler for academic success. *School Psychology Review, 31*(3), 313-327. <https://doi.org/10.1080/02796015.2002.12086158>
- Liu, D., Jenkins, S. A., Sanderson, P. M., Fabian, P., & Russell, W. J. (2010). Monitoring with head-mounted displays in general anesthesia: A clinical evaluation in the operating room. *Anesthesia & Analgesia, 110*(4), 1032-1038. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181d3e647>
- Liu, Y. (2017). Bringing VR to your class/school: Where to start. In J. Johnston (Ed.), *Proceedings of the EdMedia + Innovate Learning 2017* (pp. 963-967). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).



- Liu, Y., Fan, X., Zhou, X., Liu, M., Wang, J., & Liu, T. (2019). Application of virtual reality technology in distance higher education. *Proceedings of the 2019 4th International Conference on Distance Education and Learning*, 35-39. <https://doi.org/10.1145/3338147.3338174>
- Livingstone, S., Wijnen, C. W., Papaioannou, T., Costa, C., & del Mar Grandío, M. (2013). Situating media literacy in the changing media environment: critical insights from European research on audiences. In N. Carpentier, C. Schrøder, & L. Hallett (Eds.), *Audience transformations: shifting audience positions in late modernity, Vol. 1 Routledge studies in European communication research and education* (pp. 210-228). Routledge.
- Lombard, M., & Ditton, T. (1997). At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2), <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>
- Loizides, F., El Kater, A., Terlikas, C., Lanitis, A., & Michael, D. (2014). Presenting Cypriot cultural heritage in virtual reality: a user evaluation. *Proceedings of the Euro-Mediterranean Conference*, 572-579. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-13695-0\\_57](https://doi.org/10.1007/978-3-319-13695-0_57)
- Loomis, J. M. (1992). Distal attribution and presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(1), 113-119. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.113>
- Lorello, G., Cook, D., Johnson, R., & Brydges, R. (2014). Simulation-based training in anaesthesiology: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia*, 112(2), 231-245. <https://doi.org/10.1093/bja/aet414>
- Loup, G., Serna, A., Iksal, S., & George, S. (2016). Immersion and persistence: Improving learners' engagement in authentic learning situations. *Proceedings of the European Conference on Technology Enhanced Learning*, 410-415. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45153-4\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45153-4_35)
- Lovden, M., Schaefer, S., Noack, H., Bodammer, N. C., Kuhn, S., Heinze, H. J., Düzel, E., Bäckman, L., & Lindenberger, U. (2012). Spatial navigation training protects the hippocampus against age-related changes during early and late adulthood. *Neurobiology of Aging*, 33(3), 620-629. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2011.02.013>
- Macpherson, C., & Keppell, M. (1998). Virtual reality: What is the state of play in education? *Australasian Journal of Educational Technology*, 14(1), 60-74. <https://doi.org/10.14742/ajet.1929>
- MacLeod, M. A. M. D., & McLeod, D. B. (1996). *Immersed in technology: art and virtual environments*. MIT Press.
- Magenat-Thalmann, N., Kevelham, B., Volino, P., Kasap, M., & Lyard, E. (2011). 3D web-based virtual try on of physically simulated clothes. *Computer-Aided Design and Applications*, 8(2), 163-174. <https://doi.org/10.3722/cadaps.2011.163-174>
- Makransky, G., & Lilleholt, L. (2018). A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development*, 1(24). <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9581-2>
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2017). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225-236. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- Manches, A., O'Malley, C., & Benford, S. (2010). The role of physical representations in solving number problems: A comparison of young children's use of physical and virtual materials. *Computers & Education*, 54(3), 622-640. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.09.023>

- Marco, J. H., Perpiñá, C., & Botella, C. (2013). Effectiveness of cognitive behavioral therapy supported by virtual reality in the treatment of body image in eating disorders: One year follow-up. *Psychiatry Research*, 209(3), 619-625. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2013.02.023>
- Maselli, A., & Slater, M. (2014). Sliding perspectives: dissociating ownership from self-location during full body illusions in virtual reality. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 693. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00693>
- Mays, N., Roberts, E., & Popay, J. (2001). Synthesizing research evidence. In N. Fulop, P. Allen, A. Clarke, & N. Black (Eds.), *Studying the organisation and delivery of health services: Research methods* (pp. 188-219). Routledge.
- McIntire, J. P., Havig, P. R., & Geiselman, E. E. (2014). Stereoscopic 3D displays and human performance: A comprehensive review. *Displays*, 35(1), 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2013.10.004>
- McCall, C., Blascovich, J., Young, A., & Persky, S. (2009). Proxemic behaviors as predictors of aggression towards Black (but not White) males in an immersive virtual environment. *Social and Personality Psychology Compass*, 3(5), 744-758. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2009.00195.x>
- McIntosh, I. A. N., & Wright, S. (2019). Exploring what the notion of "lived experience" offers for social policy analysis. *Journal of Social Policy*, 48(3), 449-467. <https://doi.org/10.1017/S0047279418000570>
- McKenzie, S., Rough, J., Spence, A., & Patterson, N. (2019). Virtually there: The potential, process and problems of using 360 video in the classroom. *Issues in Informing Science and Information Technology*, 16, 211-219. <https://doi.org/10.28945/4318>
- McLellan, H. (2004). Virtual realities. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology*. Erlbaum Associates.
- McMahan, A. (2003). Immersion, engagement, and presence: A method for analyzing 3-D video games. In *The video game theory reader*, 67-86. Routledge.
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A metaanalysis. *Computers & Education*, 70, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>
- Merry, S. N., Stasiak, K., Shepherd, M., Frampton, C., Fleming, T., & Lucassen, M. F. G. (2012). The effectiveness of SPARX, a computerised self help intervention for adolescents seeking help for depression: randomised controlled non-inferiority trial. *BMJ*, 344(apr18 3), e2598-e2598. <https://doi.org/10.1136/bmj.e2598>
- Mikropoulos, T. A. (2006). Presence: a unique characteristic in educational virtual environments. *Virtual Reality*, 10(3), 197-206. <https://doi.org/10.1007/s10055-006-0039-1>
- Mikropoulos, T. A. & Bellou, J. (2006). The unique features of educational virtual environments. In P. Isaias, M. McPherson, & F. Banister (Eds.), *Proceedings of e-society 2006, International Association for Development of the Information Society* (vol. 1), 122-128. IADIS.
- Mikropoulos, T. A., & Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999-2009). *Computers & Education*, 56(3), 769-780. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>
- Miles, H. C., Pop, S. R., Watt, S. J., Lawrence, G. P., & John, N. W. (2012). A review of virtual environments for training in ball sports. *Computers & Graphics*, 36(6), 714-726. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2012.04.007>

- Milgram, P. & Kishino, A. F. (1994). Taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 1321-1329.
- Milgram, S. (1974). *Obedience to authority*. McGraw Hill.
- Mills, C., Fridman, I., Soussou, W., Waghray, D., Olney, A. M., & D'Mello, S. K. (2017). Put your thinking cap on: Detecting cognitive load using EEG during learning. *Proceedings of the 7th International Learning Analytics & Knowledge Conference*, 80-89. ACM. <https://doi.org/10.1145/3027385.3027431>
- Moesgaard, T., Fiss, J., Warming, C., Klubien, J., & Schoenau-Fog, H. (2015). Implicit and explicit information mediation in a virtual reality museum installation and its effects on retention and learning outcomes. *Proceedings of the European Conference on Games Based Learning*, 387-394.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. (2009). *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement*. *PLoS Med* 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Mollen, A., & Wilson, H. (2010). Engagement, telepresence and interactivity in online consumer experience: Reconciling scholastic and managerial perspectives. *Journal of Business Research*, 63(9-10), 919-925. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2009.05.014>
- Moon, J. A. (2013). *A handbook of reflective and experiential learning: Theory and practice*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203416150>
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2002). Learning science in virtual reality multimedia environments: Role of methods and media. *Journal of Educational Psychology*, 94(3), 598-610. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.3.598>
- Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2017a). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 10(6), 549-559. <https://doi.org/10.1002/ase.1696>
- Moro, C., Štromberga, Z., & Stirling, A. (2017b). Virtualisation devices for student learning: Comparison between desktop-based (Oculus Rift) and mobile-based (Gear VR) virtual reality in medical and health science education. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(6). <https://doi.org/10.14742/ajet.3840>
- Muhanna, M. A. (2015). Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 27(3), 344-361. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2014.03.023>
- Munakata, Y. (2006). Information processing approaches to development. In D. Kuhn, R. S. Siegler, W. Damon, & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology: Cognition, perception, and language* (pp. 426-463). John Wiley & Sons Inc.
- Munn, Z., Peters, M. D. J., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology*, 18(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>
- Müns, A., Meixensberger, J., & Lindner, D. (2014). Evaluation of a novel phantom-based neurosurgical training system. *Surgical Neurology International*, 5. <https://doi.org/10.4103/2152-7806.146346>
- Murray, J. H. (1997). *Hamlet on the holodeck: The future of narrative in cyberspace*. Free Press.
- Nakatsu, R., & Tosam N. (2005). Active immersion: the goal of communications with interactive agents. *Proceedings of the Fourth International Conference on Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems and Allied Technologies*, 85-89.

- Naumann, A., Hurtienne, J., Israel, J. H., Mohs, C., Kindsmüller, M. C., Meyer, H. A., & Hußlein, S. (2007). Intuitive use of user interfaces: defining a vague concept. *Proceedings of the International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, 128-136. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-73331-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-73331-7_14)
- Navarrete, C. D., McDonald, M. M., Mott, M. L., & Asher, B. (2012). Virtual morality: emotion and action in a simulated three-dimensional "trolley problem." *Emotion*, 12(2), 364. <https://doi.org/10.1037/a0025561>
- Normand, J. M., Giannopoulos, E., Spanlang, B., & Slater, M. (2011). Multisensory stimulation can induce an illusion of larger belly size in immersive virtual reality. *PloS One*, 6(1), e16128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016128>
- Norrby, M., Grebner, C., Eriksson, J., & Bostrom, J. (2015). Molecular rift: virtual reality for drug designers. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2015, 55(11), 2475-2484. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.5b00544>
- North, M. M., & North, S. M. (2016). A comparative study of sense of presence of traditional virtual reality and immersive environments. *Australasian Journal of Information Systems*, 20. <https://doi.org/10.3127/ajis.v20i0.1168>
- North, M. M., North, S. M., & Coble, J. R. (1996). *Virtual reality therapy: An innovative paradigm*. Ipi Press.
- Noton, D., & Stark, L. (1971). Eye movements and visual perception. *Scientific American*, 224(6), 34-43.
- Nowak, K. L., & Biocca, F. (2003). The effect of the agency and anthropomorphism on users' sense of telepresence, copresence, and social presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 12(5), 481-494. <https://www.doi.org/10.1162/105474603322761289>
- Nunez, D. (2004). How is presence in non-immersive, non-realistic virtual environments possible? *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa*, 83-86. ACM. <https://doi.org/10.1145/1029949.1029964>
- Olmos, E., Cavalcanti, J. F., Soler, J. L., Contero, M., & Alcañiz, M. (2018). Mobile virtual reality: A promising technology to change the way we learn and teach. *Mobile and Ubiquitous Learning*, 95-106. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6144-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6144-8_6)
- Olmos, H., Gómez, S., Alcañiz, M., Contero, M., Andrés-Sebastiá, M. P., & Martín-Dorta, N. (2015). Combining virtual reality and relaxation techniques to improve attention levels in students from an initial vocational qualification program. In G. Conole G., T. Klobučar, C. Rensing, J. Konert, & E. Lavoué (Eds.), *Design for teaching and learning in a networked world. EC-TEL 2015* (pp. 613-616). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24258-3\\_71](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24258-3_71)
- Oprean, D. (2014). *Understanding the immersive experience: Examining the influence of visual immersiveness and interactivity on spatial experiences and understanding* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Missouri.
- Organisation for Economic Co-operation and Development-OECD (2015). *Students, computers and learning: Making the connection*. OECD Publishing.
- Pagé, C., Bernier, P. M., & Trempe, M. (2019). Using video simulations and virtual reality to improve decision-making skills in basketball. *Journal of Sports Sciences*, 37(21), 2403-2410. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1638193>

- Palanque, P. (Ed.) (2001). Interactive systems. Design, specification, and verification. *Proceedings of the 7th International Workshop, DSV-IS 2000, Revised Papers*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/3-540-44675-3>
- Pan, Z., Cheok, A.D., Yang, H., Zhu, J., Shi, J. (2006). Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments. *Computers & Graphics*, 30(1), 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2005.10.004>
- Pan, X., & Slater, M. (2011). Confronting a moral dilemma in virtual reality: a pilot study. *Proceedings of the 25th BCS Conference on Human-Computer Interaction*, 46-51. BCS. <https://doi.org/10.14236/ewic/HCI2011.26>
- Pan, X., Slater, M., Beacco, A., Navarro, X., Bllido Rivas, A. I., Swapp, D., Hale, J., Fordes, P. A. G., Denvir, C., Hamilton A. F. de C., & Delacroix, S. (2016). The responses of medical general practitioners to unreasonable patient demand for antibiotics - a study of medical ethics using immersive virtual reality. *PloS One*, 11(2), e0146837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146837>
- Pantelidis, V. S. (1993). Virtual reality in the classroom. *Educational Technology*, 33(4), 23-27.
- Papachristos, N. M., Vrellis, I., & Mikropoulos, T. A. (2017). A comparison between oculus rift and a low-cost smartphone VR headset: immersive user experience and learning. *Proceedings of the IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2017)*, 477-481. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2017.145>
- Papadakis, G., Mania, K., & Koutroulis, E. (2011). A system to measure, control and minimize end-to-end head tracking latency in immersive simulations. *Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry*, 581-584. ACM. <https://doi.org/10.1145/2087756.2087869>
- Papert, S. (1980). *Mindstorm-children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Papert, S. (1991). Situating constructionism. In S. Papert & I. Harel (Eds.), *Constructionism*. Ablex.
- Park, B., Knörzer, L., Plass, J. L., & Brünken, R. (2015). Emotional design and positive emotions in multimedia learning: An eyetracking study on the use of anthropomorphisms. *Computers & Education*, 86, 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.02.016>
- Park, M. J., Kim, D. J., Lee, U., Na, E. J., & Jeon, H. J. (2019). A literature overview of virtual reality (VR) in treatment of psychiatric disorders: Recent advances and limitations. *Frontiers in Psychiatry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00505>
- Parmar, D., Bertrand, J., Babu, S. V., Madathil, K., Zelaya, M., Wang, T., Wagner, J., Gramopadhye, A. K., & Frady, K. (2016). A comparative evaluation of viewing metaphors on psychophysical skills education in an interactive virtual environment. *Virtual Reality*, 20(3), 141-157. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0287-7>
- Parsons, T. D., & Rizzo, A. A. (2008). Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: A meta-analysis. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 39(3), 250–261. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2007.07.007>
- Passig, D., Tzuriel, D., & Eshel-Kedmi, G. (2016). Improving children’s cognitive modifiability by dynamic assessment in 3D immersive virtual reality environments. *Computers & Education*, 95, 296-308. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.009>
- Pham, M. T., Rajić, A., Greig, J. D., Sargeant, J. M., Papadopoulos, A., & McEwen, S. A. (2014). A scoping review of scoping reviews: advancing the approach and enhancing the consistency. *Research Synthesis Methods*, 5(4), 371-385. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1123>
- Pearson, A. (2004). Balancing the evidence: incorporating the synthesis of qualitative data into systematic reviews. *JBIR Reports*, 2, 45-64. <https://doi.org/10.1111/j.1479-6988.2004.00008.x>

- Peck, T. C., Seinfeld, S., Aglioti, S. M., & Slater, M. (2013). Putting yourself in the skin of a black avatar reduces implicit racial bias. *Consciousness and Cognition*, 22(3), 779-787. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.04.016>
- Penland, J. L., Lavers, K., Bassham, E., & Nnochiri, V. (2019). Virtual learning: a study of virtual reality for distance education. In *Handbook of research on blended learning pedagogies and professional development in higher education*, 156-176. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5557-5.ch009>
- Pennestri, E., Cavacece, M., & Vita, L. (2005). On the computation of degrees-of-freedom: a didactic perspective. *Proceedings of the 2005 ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC'05)* (vol. 6), 1733-1741. <https://doi.org/10.1115/DETC2005-84109>
- Petrakou, A. (2010). Interacting through avatars: Virtual worlds as a context for online education. *Computers & Education*, 54(4), 1020-1027. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.10.007>
- Pimentel, K., & Teixeira, K. (1993). *Virtual Reality: Through the new looking glass*. Intel Windcrest.
- Pirker, J., Lesjak, I., & Guetl, C. (2017). Maroon VR: A room-scale physics laboratory experience. *Proceedings of the IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2017)*, 482-484. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2017.92>
- Pirker, J., Lesjak, I., Parger, M., & Gütl, C. (2018). An educational physics laboratory in mobile versus room scale virtual reality-A comparative study. In *Online engineering & Internet of things*, 1029-1043. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6\\_95](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6_95)
- Pizarro, R., Hall, M., Bermell-Garcia, P., & González-Franco, M. (2015). Augmenting remote presence for interactive dashboard collaborations. *Proceedings of the 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces*, 235-240. ACM. <https://doi.org/10.1145/2817721.2823486>
- Pollard, K. A., Oiknine, A. H., Files, B. T., Sinatra, A. M., Patton, D., Ericson, M., Thomas, J., & Khooshabeh, P. (2020). Level of immersion affects spatial learning in virtual environments: results of a three-condition within-subjects study with long intersession intervals. *Virtual Reality*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00411-y>
- Pomes, A., & Slater, M. (2013). Drift and ownership towards a distant virtual body. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 908. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00908>
- Porcino, T. M., Clua, E., Trevisan, D., Vasconcelos, C. N., & Valente, L. (2017). Minimizing cyber sickness in head mounted display systems: design guidelines and applications. *Proceedings of the 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SeGAH.2017.7939283>
- Prabhat, P., Forsberg, A., Katzourin, M., Wharton, K., & Slater, M. (2008). A comparative study of desktop, Fishtank, and CAVE systems for the exploration of volume rendered confocal data sets. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(3), 551-563. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.70433>
- Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. McGraw Hill
- Psotka J. (1996). *Immersive tutoring systems, virtual reality and education and training*. U.S. Army Research Institute, ATTN, PERI-IIC
- Pulijala, Y., Ma, M., Pears, M., Peebles, D., & Ayoub, A. (2018). An innovative virtual reality training tool for orthognathic surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 47(9), 1199-1205. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2018.01.005>

- Pulijala, Y., Ma, M., Pears, M., Peebles, D., & Ayoub, A. (2018). Effectiveness of immersive virtual reality in surgical training-A randomized control trial. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 76(5), 1065-1072. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.10.002>
- Qualcomm (n. d.). *Snapdragon XR1 platform*. <https://www.qualcomm.com/products/snapdragon-xr1-platform>
- Queiroz, A. C. M., Nascimento, A. M., Tori, R., & da Silva Leme, M. I. (2018). Using HMD-based immersive virtual environments in primary/K-12 education. *Proceedings of the International Conference on Immersive Learning*, 160-173. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93596-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93596-6_11)
- Quinn, F., & Lyons, T. (2013). Educating for sustainability in virtual worlds: Does the virtual have value? Strand 9 Environmental. *Health and Outdoor Science Education*, 118.
- Rauter, G., Sigrist, R., Koch, C., Crivelli, F., van Raai, M., Riener, R., & Wolf, P. (2013). Transfer of complex skill learning from virtual to real rowing. *PLoS One*, 8(12), e82145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082145>
- Rebelo, F., Noriega, P., Duarte, E., & Soares, M. (2012). Using virtual reality to assess user experience. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(6), 964-982. <https://www.doi.org/10.1177/0018720812465006>
- Reford, L., & Leston, J. (2011). *WWF UK policy position statement on business travel*. Worldwide Wildlife Foundation. [http://assets.wwf.org.uk/downloads/business\\_travel\\_ps\\_0709.pdf](http://assets.wwf.org.uk/downloads/business_travel_ps_0709.pdf)
- Reger, G. M., Gahm, G. A., Rizzo, A. A., Swanson, R., & Duma, S. (2009). Soldier evaluation of the virtual reality Iraq. *Telemedicine and e-Health*, 15(1), 101-104. <https://doi.org/10.1089/tmj.2008.0050>
- Ritter III, K. A., Borst, C. W., & Chambers, T. L. (2018). Virtual solar energy center case studies. *Computers in Education Journal*, 9(3), 1-7.
- Rizzo, A., Hartholt, A., Grimani, M., Leeds, A., & Liewer, M. (2014). Virtual reality exposure therapy for combat-related posttraumatic stress disorder. *Computer*, 47(7), 31-37. <https://doi.org/10.1109/MC.2014.199>
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., & Neumann, U. (1997). Virtual reality and cognitive rehabilitation: A brief review of the future. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1097/00001199-199712000-00002>
- Rizzo, A. S., Difede, J., Rothbaum, B. O., Reger, G., Spitalnick, J., Cukor, J., & Mclay, R. (2010). Development and early evaluation of the virtual Iraq/Afghanistan exposure therapy system for combat-related PTSD. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1208(1), 114-125. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05755.x>
- Road to VR (2019). *Snapdragon XR2 chip to enable standalone headsets with 3Kx3K resolution & 7 cameras*. <https://www.roadtovr.com/qualcomm-snapdragon-xr2-5g-announcement/>
- Roblyer, M. D., & Doering, A. H. (2012). *Integrating educational technology into teaching*. Pearson.
- Ropelato, S., Zünd, F., Magnenat, S., Menozzi, M., & Sumner, R. (2018). Adaptive tutoring on a virtual reality driving simulator. *International Series on Information systems and management in creative Emedia (CreMedia)*, 2017(2), 12-17.
- Rothman, D. B., & Warren, W. H. (2006). Wormholes in virtual reality and the geometry of cognitive maps. *Journal of Vision*, 6(6), 143-143. <https://doi.org/10.1167/6.6.143>
- Roussou, M. (2009). A VR playground for learning abstract mathematics concepts. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 29(1), 82-85. <https://doi.org/10.1109/MCG.2009.1>

- Roussou, M., Oliver, M., & Slater, M. (2006). The virtual playground: an educational virtual reality environment for evaluating interactivity and conceptual learning. *Virtual Reality*, 10(3-4), 227-240. <https://doi.org/10.1007/s10055-006-0035-5>
- Rovira, A., Swapp, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2009). The use of virtual reality in the study of people's responses to violent incidents. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 3, 59. <https://doi.org/10.3389/neuro.08.059.2009>
- Rowe, A. D., Fitness, J. & Wood, L. N. (2015). University student and lecturer perceptions of positive emotions in learning. *International Journal of Qualitative Studies in Education*, 28(1), 1-20. <https://doi.org/10.1080/09518398.2013.847506>
- Rua, H., & Alvito, P. (2011). Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage - the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria. *Journal of Archaeological Science*, 38(12), 3296-3308. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.07.015>
- Rueda, C., Godínes, J. & Rudman, P. (2018). Categorizing the educational affordances of 3 dimensional immersive digital environments. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 17(1), 83-112. <https://doi.org/10.28945/4056>
- Ruddle, R. A., Payne, S. J., & Jones, D. M. (1999). Navigating large-scale virtual environments: what differences occur between helmet-mounted and desktop displays? *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 8(2), 157-168. <https://doi.org/10.1162/105474699566143>
- Ruddle, R. A., Volkova, E., & Bülhoff, H. H. (2011). Walking improves your cognitive map in environments that are large-scale and large in extent. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 18(2), 1-20. <https://doi.org/10.1145/1970378.1970384>
- Ruddle, R. A., Volkova, E., & Bülhoff, H. H. (2013). Learning to walk in virtual reality. *ACM Transactions on Applied Perception*, 10(2), 1-17. <https://doi.org/10.1145/2465780.2465785>
- Ruffaldi, E., Filippeschi, A., Avizzano, C. A., Bardy, B., Gopher, D., & Bergamasco, M. (2011). Feedback, affordances, and accelerators for training sports in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 20(1), 33-46. [https://doi.org/10.1162/pres\\_a\\_00034](https://doi.org/10.1162/pres_a_00034)
- Ruiter, M., Loyens, S., & Paas, F. (2015). Watch your step children! Learning two-digit numbers through mirror-based observation of self-initiated body movements. *Educational Psychology Review*, 27, 457-474. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9324-4>
- Rumrill, P., Fitzgerald, S., & Merchant, W. (2010). Using scoping literature reviews as a means of understanding and interpreting existing literature. *Work*, 35, 399-404. <https://doi.org/10.3233/WOR-2010-0998>
- Rupp, M. A., Kozachuk, J., Michaelis, J. R., Odette, K. L., Smither, J. A., & McConnell, D. S. (2016). The effects of immersiveness and future VR expectations on subjective-experiences during an educational 360 video. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (vol. 60, no. 1), 2108-2112. SAGE Publications. <https://doi.org/10.1177/1541931213601477>
- Rupp, M. A., Odette, K. L., Kozachuk, J., Michaelis, J. R., Smither, J. A., & McConnell, D. S. (2019). Investigating learning outcomes and subjective experiences in 360-degree videos. *Computers & Education*, 128, 256-268. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.015>
- Ruppert, B. (2011). New directions in the use of virtual reality for food shopping: marketing and education perspectives. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 5, 315-318. <https://doi.org/10.1177/193229681100500217>
- Ryan, M. L. (2015). *Narrative as virtual reality 2: Revisiting immersion and interactivity in literature and electronic media*. John Hopkins University Press.



- Saettler, P. (2004). *The evolution of American educational technology*. IAP.
- Salamin, A. D. (2018). *Perception in VR 3D vs VR 360 video: How a key cognitive process in learning operates in virtual environments*. In J. Johnston (Ed.), *Proceedings of the EdMedia + Innovate Learning* (pp. 1565-1571). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Salomon, G. (Ed.) (1993). *Distributed cognitions-psychological and educational considerations*. Cambridge University Press.
- Salzman, M. C., Dede, C., Loftin, R. B., & Chen, J. (1999). A model for understanding how virtual reality aids complex conceptual learning. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 8(3), 293-316. <https://doi.org/10.1162/105474699566242>
- Sanchez-Vives, M. V., Spanlang, B., Frisoli, A., Bergamasco, M., & Slater, M. (2010). Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations. *PloS One*, 5(4), e10381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010381>
- Scapin, S., Echevarría-Guanilo, M. E., Boeira Fuculo Junior, P. R., Gonçalves, N., Rocha, P. K., & Coimbra, R. (2018). Virtual Reality in the treatment of burn patients: A systematic review. *Burns*, 44(6), 1403-1416. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2017.11.002>
- Schafer, S. B. (Ed.) (2016). *Exploring the collective unconscious in the Age of Digital Media*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9891-8>
- Schnapp, B., & Warren, W. (2007). Wormholes in virtual reality: what spatial knowledge is learned for navigation? *Journal of Vision*, 7(9), 758-758. <https://doi.org/10.1167/7.9.758>
- Schneps, M. H., Ruel, J., Sonnert, G., Dussault, M., Griffin, M., & Sadler, P. M. (2014). Conceptualizing astronomical scale: Virtual simulations on handheld tablet computers reverse misconceptions. *Computers & Education*, 70, 269-280. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.001>
- Schönbrunner, O. (2000). *Human-computer interface in the CAVE*. <https://old.cescg.org/CESCG-2000/OSchoenbrunner/hci.html>
- Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (2001). The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 10(3), 266-281. <https://doi.org/10.1162/105474601300343603>
- Schultze, U. (2010). Embodiment and presence in virtual worlds: A review. *Journal of Information Technology*, 25(4), 434-449. <https://doi.org/10.1057/jit.2010.25>
- Seasia Infotech, (n. d.) *Building digital experiences*. <https://www.seasiainfotech.com/blog/building-digital-experiences/>
- Seidel, R. J. & Rubin, M. (1977). *Computers and communications: Implications for education*. Academic Press.
- Seixas-Mikelus, S. A., Adal, A., Kesavadas, T., Baheti, A., Srimathveeravalli, G., Hussain, A., Chandrasekhar, R., Wilding, G. E., & Guru, K. A. (2010). Can image-based virtual reality help teach anatomy? *Journal of Endourology*, 24(4), 629-634. <https://doi.org/10.1089/end.2009.0556>
- Sekhar, C. C., Ch, S. S., & Rao, G. N. (2018). Future reality is immersive reality. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7(4), 302-309.
- Selverian, M. M., & Hwang, H. S. (2003). In search of presence: A systematic evaluation of evolving VLEs. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 12(5), 512-522. <https://doi.org/10.1162/105474603322761306>
- Seth, A., Vance, J. M., & Oliver, J. H. (2011). Virtual reality for assembly methods prototyping: a review. *Virtual Reality*, 15(1), 5-20. <https://doi.org/10.1007/s10055-009-0153-y>

- Seymour, N. E., Gallagher, A. G., Roman, S. A., O'Brien, M. K., Bansal, V. K., Andersen, D. K., Satava, R. M. (2002). Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Annals of Surgery*, 236(4), 458-463. <https://doi.org/10.1097/00000658-200210000-00008>
- Shackelford, L., Huang, W. D., Craig, A., Merrill, C., Chen, D., & Arjona, J. (2018). A formative evaluation on a virtual reality game-based learning system for teaching introductory archaeology. *Proceedings of the E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*, 605-611. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Sharma, L., Jin, R., Prabhakaran, B., & Gans, M. (2018). LearnDNA: an interactive VR application for learning DNA structure. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Interactive and Spatial Computing*, 80-87. ACM. <https://doi.org/10.1145/3191801.3191810>
- Sharma, S., Devreaux, P., Scribner, D., Grynovicki, J., & Grazaitis, P. (2017). Megacity: a collaborative virtual reality environment for emergency response, training, and decision making. *Electron. Imaging 2017*, 70-77. <https://www.doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2017.1.VDA-390>
- Shaw, L. A., Wünsche, B. C., Lutteroth, C., Marks, S., & Callies, R. (2015). Challenges in virtual reality exergame design. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> Australasian User Interface Conference (AUIC 2015)*, 61-68. Australian Computer Society Inc.
- Shaw, L. A., Wünsche, B., Lutteroth, C., Marks, S., Buckley, J., & Corballis, P. (2015). Development and evaluation of an exercycle game using immersive technologies. *Proceedings of the 8th Australasian Workshop on Health Informatics and Knowledge Management*, vol. 164.
- Sheikh, A., Brown, A., Watson, Z., & Evans, M. (2016). Directing attention in 360-degree video. *Proceedings of the IBC 2016 Conference*. IBC. <https://www.doi.org/10.1049/ibc.2016.0029>
- Sheridan, T. B. (1992). Musings on telepresence and virtual presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(1), 120-126. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.120>
- Sheridan, T. B. (1996). Further musings on the psychophysics of presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 5(2), 241-246. <https://doi.org/10.1162/pres.1996.5.2.241>
- Sheridan, T. B. (2016). Recollections on presence beginnings, and some challenges for augmented and virtual reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 25(1), 75-77. [https://doi.org/10.1162/PRES\\_e\\_00247](https://doi.org/10.1162/PRES_e_00247)
- Sherman, B., & Judkins, P. (1992). Glimpses of heaven, visions of hell: Virtual reality and its implications. *Hodder & Stoughton*, 42-43.
- Sherman, W. R., & Craig, A.B., (2003). *Understanding Virtual Reality: Interface, application, and design*. Morgan Kaufmann Publishers. <https://doi.org/10.1162/105474603322391668>
- Shibata, T. (2002). Head mounted display. *Displays*, 23(1-2), 57-64. [https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(02\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0141-9382(02)00010-0)
- Shu, Y., Huang, Y. Z., Chang, S. H., & Chen, M. Y. (2018). Do virtual reality head-mounted displays make a difference? A comparison of presence and self-efficacy between head-mounted displays and desktop computer-facilitated virtual environments. *Virtual Reality*, 23, 437-446. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0376-x>
- Shute, V., Ke, F., & Wang, L. (2017). Assessment and adaptation in games. In *Instructional techniques to facilitate learning and motivation of serious games*, 59-78. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39298-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39298-1_4)
- Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1), 3-10.

- Singh, S., Sedlack, R. E., & Cook, D. A. (2014). Effects of simulation-based training in gastrointestinal endoscopy: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, *12*(10), 1611-1623. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2014.01.037>
- Skulmowski, A., Pradel, S., Kühnert, T., Brunnett, G., & Rey, G. D. (2016). Embodied learning using a tangible user interface: The effects of haptic perception and selective pointing on a spatial learning task. *Computers & Education*, *92*, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.10.011>
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018). Embodied learning: introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *3*, 6. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0092-9>
- Slater, M. (1999). Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire. *Presence*, *8*(5), 560-565. <https://doi.org/10.1162/105474699566477>
- Slater, M. (2002). Presence and the sixth sense. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *11*(4), 435-439. <https://doi.org/10.1162/105474602760204327>
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1535), 3549-3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>
- Slater, M., Antley, A., Davison, A., Swapp, D., Guger, C., Barker, C., Pistrang, N., & Sanchez-Vives, M. V. (2006). A virtual reprise of the Stanley Milgram obedience experiments. *PLoS One*, *1*(1), e39. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000039>
- Slater, M., Frisoli, A., Tecchia, F., Guger, C., Lotto, B., Steed, A., Pfurtscheller, G., Leeb, R., Reiner, M., Sanchez-Vives, M. V., Verschure, P., & Bernardet, U. (2007). Understanding and realizing presence in the Presencia project. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *27*(4), 90-93. <https://doi.org/10.1109/MCG.2007.93>
- Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H. H., & Sanchez-Vives, M. (2008). Towards a digital body: the virtual arm illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, *2*, 6. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.006.2008>
- Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H. H., & Sanchez-Vives, M. V. (2009). Inducing illusory ownership of a virtual body. *Frontiers in Neuroscience*, *3*, 29. <https://doi.org/10.3389/neuro.01.029.2009>
- Slater, M., Rovira, A., Southern, R., Swapp, D., Zhang, J. J., Campbell, C., Levine, M. (2013). Bystander responses to a violent incident in an immersive virtual environment. *PLoS One*, *8*(1), e52766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052766>
- Slater, M., Sadagic, A., Usoh, M., & Schroeder, R. (2000). Small-group behavior in a virtual and real environment: a comparative study. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, *9*(1), 37-51. <https://doi.org/10.1162/105474600566600>
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2014). Transcending the self in immersive virtual reality. *Computer*, *47*(7), 24-30. <https://doi.org/10.1109/MC.2014.198>
- Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V., & Blanke, O. (2010). First person experience of body transfer in virtual reality. *PLoS One*, *5*(5), e10564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010564>
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, *6*(6), 603-616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- Slavin, R. E. (1980). Cooperative learning. *Review Of Educational Research*, *50*(2), 315-342. <https://doi.org/10.3102/00346543050002315>

- Smutny, P., Babiuch, M., & Foltynek, P. (2019). A review of the virtual reality applications in education and training. *Proceedings of the 2019 20th International Carpathian Control Conference, ICC 2019*. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765930>
- Snelson, C., & Hsu, Y. C. (2019). Educational 360-degree videos in virtual reality: A scoping review of the emerging research. *TechTrends*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11528-019-00474-3>
- So, S., & Lu, E. (2019). Virtual reality in visual arts education: A study on using Google Tilt Brush. In J. Johnston (Ed.), *Proceedings of EdMedia + Innovate Learning* (pp. 1467-1472). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Solina, F., Batagelj, B., & Glamočanin, S. (2008). Virtual skiing as an art installation. *Proceedings of the 50th International Symposium*, vol. 2, 507-510. IEEE.
- Song, H. S., Pusic, M., Nick, M. W., Sarpel, U., Plass, J. L., & Kalet, A. L. (2014). The cognitive impact of interactive design features for learning complex materials in medical education. *Computers & Education*, 71, 198-205. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.017>
- Song, S. H., & Song, E. J. (2019). A study on virtual training system for army thermal equipment maintenance education. *Proceedings of the Korean Institute of Information and Communication Sciences Conference*, 205-207. The Korea Institute of Information and Communication Engineering.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Feltovich, P. L., Jacobson, M. J., & Coulson, R. L. (1991). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational technology*, 31(5), 24-33.
- Sportillo, D., Paljic, A., & Ojeda, L. (2018). Get ready for automated driving using Virtual Reality. *Accident Analysis & Prevention*, 118, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.06.003>
- Staurset, E. M., & Prasolova-Førland, E. (2016). Creating a smart Virtual Reality simulator for sports training and education. *Proceedings of the Smart Education and e-Learning 2016*, 423-433. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39690-3\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39690-3_38)
- Stepan, K., Zeiger, J., Hanchuk, S., Del Signore, A., Shrivastava, R., Govindaraj, S., & Illoreta, A. (2017). Immersive virtual reality as a teaching tool for neuroanatomy. *International Forum of Allergy & Rhinology*, 7(10), 1006-1013. <https://doi.org/10.1002/alr.21986>
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>
- Stevens, J., Kincaid, P., & Sottolare, R. (2015). Visual modality research in virtual and mixed reality simulation. *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, 12(4), 519-537. <https://doi.org/10.1177/1548512915569742>
- Spanlang, B., Navarro, X., Normand, J.-M., Kishore, S., Pizarro, R., & Slater, M. (2013). Real time whole body motion mapping for avatars and robots. *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology-VRST'13*, 175-178. ACM. <https://doi.org/10.1145/2503713.2503747>
- Spanlang, B., Normand, J.-M., Borland, D., Kilteni, K., Giannopoulos, E., Pomes, A., González-Franco, M., Perez-Marcos, D., Arroyo-Palacios, J., Muncunill, X. N., & Slater, M. (2014). How to build an embodiment lab: achieving body representation illusions in virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 1, 9. <https://doi.org/10.3389/frobt.2014.00009>
- Stackpath (2019). *What is latency?* <https://blog.stackpath.com/latency/>
- Stark, L. W. (1995). How virtual reality works! The illusions of vision in real and virtual environments. In *Human vision, visual processing, and digital display VI*, 277-287. <https://doi.org/10.1117/12.207546>

- Steed, A., & Oliveira, M. F. (2009). *Networked graphics: Building networked games and virtual environments*. Elsevier.
- Steed, A., Spante, M., Heldal, I., Axelsson, A.-S., & Schroeder, R. (2003). Strangers and friends in caves: an exploratory study of collaboration in networked IPT systems for extended periods of time. *Proceedings of the 2003 Symposium on Interactive 3D Graphics*, 51-54. ACM. <https://doi.org/10.1145/641480.641492>
- Steptoe, W., Steed, A., Rovira, A., & Rae, J. (2010). Lie tracking: social presence, truth and deception in avatar-mediated telecommunication. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1039-1048. ACM. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753481>
- Steptoe, W., Steed, A., & Slater, M. (2013). Human tails: ownership and control of extended humanoid avatars. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(4), 583-590. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.32>
- Steptoe, W., Wolff, R., Murgia, A., Guimaraes, E., Rae, J., Sharkey, P., Roberts, D., & Steed, A. (2008). Eye-tracking for avatar eye-gaze and interactional analysis in immersive collaborative virtual environments. *Proceedings of the 2008 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, 197-200. ACM. <https://doi.org/10.1145/1460563.1460593>
- Stoffregen, T. A., Hettinger, L. J., Haas, M. W., Roe, M. M., & Smart, L. J. (2000). Postural instability and motion sickness in a fixed-base flight simulator. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 42(3), 458-469. <https://doi.org/10.1518/001872000779698097>
- Stranger-Johannessen, E. (2018). Exploring math achievement through gamified virtual reality. *Proceedings of the European Conference on Technology Enhanced Learning*, 613-616. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98572-5\\_57](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98572-5_57)
- Strasburger, H., & Pöppel, E. (2002). Visual field. *Encyclopedia of Neuroscience*, 2127-2129.
- Strasburger, H., Rentschler, I., & Jüttner, M. (2011). Peripheral vision and pattern recognition: A review. *Journal of Vision*, 11(5), 13-13. <https://doi.org/10.1167/11.5.13>
- Sun, Q., Mirhosseini, S., Gutenko, I., Park, J. H., Papadopoulos, C., Laha, B., & Kaufman, A. (2015). Buyers satisfaction in a virtual fitting room scenario based on realism of avatar. *Proceedings of the 3D User Interfaces (3DUI), 2015 IEEE Symposium*, 183-184. IEEE. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2015.7131761>
- Sun, F. R., Pan, L. F., Wan, R. G., Li, H., & Wu, S. J. (2018). Detecting the effect of student engagement in an SVVR school-based course on higher level competence development in elementary schools by SEM. *Interactive Learning Environments*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10984-017-9243-z>
- Sundar, S. S., Oh, J., Kang, H., & Sreenivasan, A. (2013). How does technology persuade? Theoretical mechanisms for persuasive technologies. In J. P. Dillard & L. Shen (Eds.), *The SAGE handbook of persuasion: Developments in theory and practice* (pp. 388-404). SAGE. <https://doi.org/10.4135/9781452218410.n23>
- Sundstedt, V., Chalmers, A., & Martinez, P. (2004). High fidelity reconstruction of the ancient Egyptian temple of Kalabsha. *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa*, 107-113. ACM. <https://doi.org/10.1145/1029949.1029970>
- SuperData (2020). *SuperData XR Q4 2019 Update*. <https://www.superdataresearch.com/blog/superdata-xr-update>
- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, Part I*, 33, 757-764. ACM. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>

- Taiwo, R. (Ed.). (2010). *Handbook of research on discourse behavior and digital communication: Language structures and social interaction*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-61520-773-2>
- Takala, T., (2017). *CS-E4170 - Mobile Systems Programming*. University of South Australia. [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/548984/mod\\_resource/content/3/Aalto-Lecture4-Tracking.pptx.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/548984/mod_resource/content/3/Aalto-Lecture4-Tracking.pptx.pdf)
- Tam, M. (2000). Constructivism, instructional design, and technology: Implications for transforming distance learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 3(2), 50-60.
- Tamaddon, K., & Stiefs, D. (2017). Embodied experiment of levitation in microgravity in a simulated virtual reality environment for science learning. *Proceedings of the EEE Virtual Reality Workshop on K-12 Embodied Learning through Virtual & Augmented Reality (KELVAR)*, 1-5. IEEE. <https://doi.org/10.1109/KELVAR.2017.7961560>
- Tan, C. T., Leong, T. W., Shen, S., Dubravs, C., & Si, C. (2015). Exploring gameplay experiences on the oculus rift. *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 253-263. ACM. <https://doi.org/10.1145/2793107.2793117>
- Taylor, G. S., & Barnett, J. S. (2013). Evaluation of wearable simulation interface for military training. *Human Factors*, 55(3), 672-690. <https://doi.org/10.1177/0018720812466892>
- Tecchia, F., Carrozzino, M., Bacinelli, S., Rossi, F., Vercelli, D., Marino, G., Gasparello, P., & Bergamasco, M. (2010). A flexible framework for wide-spectrum VR development. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 19(4), 302-312. [https://doi.org/10.1162/PRES\\_a\\_00002](https://doi.org/10.1162/PRES_a_00002)
- Teranishi, S., & Yamagishi, Y. (2018). Educational effects of a virtual reality simulation system for constructing self-built PCs. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 27(3), 411-423.
- The Glossary of Education Reform (2013). *Learning experience*. [https://www.edglossary.org/learning-experience/?fbclid=IwAR1h8r4Lwp5\\_RD0v2ZOtKqyUOEgECyxETK2shvMValEiWJcsMEJuc5HWVR4](https://www.edglossary.org/learning-experience/?fbclid=IwAR1h8r4Lwp5_RD0v2ZOtKqyUOEgECyxETK2shvMValEiWJcsMEJuc5HWVR4)
- Thisgaard, M., & Makransky, G. (2017). Virtual learning simulations in high school: Effects on cognitive and non-cognitive outcomes and implications on the development of STEM academic and career choice. *Frontiers in Psychology*, 8(805), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00805>
- Thomson, J. J. (1976). Killing, letting die, and the trolley problem. *The Monist*, 59(2), 204-217. <https://doi.org/10.5840/monist197659224>
- Thompson, J. I. (2005). *A three dimensional helmet mounted primary flight reference for paratroopers*. Thesis for Air Force Institute of Technology.
- Thompson-Butel, A. G., Shiner, C. T., McGhee, J., Bailey, B. J., Bou-Haidar, P., McCorriston, M., & Faux, S. G. (2019). The role of personalized virtual reality in education for patients post stroke-A qualitative case series. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 28(2), 450-457. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2018.10.018>
- Tiainen, T., Ellman, A., & Kaapu, T. (2014). Virtual prototypes reveal more development ideas: comparison between customers' evaluation of virtual and physical prototypes. *Virtual and Physical Prototyping*, 9(3), 169-180. <https://doi.org/10.1080/17452759.2014.934573>
- Tokel, S. T., & İslar, V. (2015). Acceptance of virtual worlds as learning space. *Innovations in Education and Teaching International*, 52(3), 254-264. <https://doi.org/10.1080/14703297.2013.820139>
- Tamaddon, K., & Stiefs, D. (2017). Embodied experiment of levitation in microgravity in a simulated virtual reality environment for science learning. *Proceedings of the EEE Virtual Reality Workshop on K-12 Embodied Learning through Virtual & Augmented Reality (KELVAR)*, 1-5. IEEE. <https://doi.org/10.1109/KELVAR.2017.7961560>

- Tolhurst, D. (1992). A checklist for evaluating content-based hypertext computer software. *Educational Technology, 32*(3), 17-21.
- Tom's Hardware (2018). *VR lens basics: Present and future*. <https://www.tomshardware.com/news/virtual-reality-lens-basics-vr,36182.html>
- Topu, F. B., & Goktas, Y. (2019). The effects of guided-unguided learning in 3d virtual environment on students' engagement and achievement. *Computers in Human Behavior, 92*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.10.022>
- Tran, C., Smith, B., & Buschkuehl, M. (2017). Support of mathematical thinking through embodied cognition: Nondigital and digital approaches. *Cognitive Research: Principles and Implications, 2*, 16. <https://doi.org/10.1186/s41235-017-0053-8>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K., Colquhoun, H., Kastner, M., Levac, D., Ng, C., Sharpe, J. P., Wilson, K., Kenny, M., Warren, R., Wilson, C., Stelfox, H. T., & Straus, S. E. (2016). A scoping review on the conduct and reporting of scoping reviews. *BMC Medical Research Methodology, 16*(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s12874-016-0116-4>
- Trindade, J., Fiolhais, C., & Almeida, L. (2002). Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology, 33*(4), 471-488. <https://doi.org/10.1111/1467-8535.00283>
- Tromp, J., Bullock, A., Steed, A., Sadagic, A., Slater, M., & Frecon, E. (1998). Small group behavior experiments in the Coven project. *IEEE Computer Graphics and Applications, 18*(6), 53-63. <https://doi.org/10.1109/38.734980>
- Upload VR (2017). *What's next for VR audio*. <https://uploadvr.com/world-vr-audio-perspective/>
- Van Broekhuizen, L. (2016). *The paradox of classroom technology: Despite proliferation and access, students not using technology for learning*. *AdvancED research*. AdvancED.
- Van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie: the size of one's own body determines the perceived size of the world. *PLoS One, 6*(5), e20195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020195>
- Vacharkulksemsuk, T. & Fredrickson, B. L. (2013). Looking back and glimpsing forward: The Broaden-and-Build Theory of Positive Emotions as applied to organizations. *Advances in Positive Organizational Psychology, 1*, 45-60.
- Vaughan, N., Dubey, V. N., Wainwright, T. W., & Middleton, R. G. (2016). A review of virtual reality based training simulators for orthopaedic surgery. *Medical Engineering & Physics, 38*(2), 59-71. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2015.11.021>
- Vignais, N., Bideau, B., Craig, C., Brault, S., Multon, F., & Kulpa, R. (2009). Virtual environments for sport analysis: perception-action coupling in handball goalkeeping. *International Journal of Virtual Reality, 8*(4), 43-48. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2009.8.4.2748>
- Virtual Reality Society (n. d.). History of Virtual Reality. <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>
- Virtual Reality Times (2020). *Top 5 haptic VR devices Set to launch in 2020*. <https://virtualrealitytimes.com/2020/02/23/top-5-haptic-vr-devices-set-to-launch-in-2020/>
- Vrscout (2019). *Hands-on: Oculus Quest hand tracking feels great, but it's not perfect*. <https://vrscout.com/news/hands-on-oculus-quest-hand-tracking/>

- Wang, Z., Giannopoulos, E., Slater, M., Peer, A., & Buss, M. (2011). Handshake: realistic human-robot interaction in haptic enhanced virtual reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 20(4), 371-392. [https://doi.org/10.1162/PRES\\_a\\_00061](https://doi.org/10.1162/PRES_a_00061)
- Warburton, E. C., Wilson, M., Lynch, M., & Cuykendall, S. (2013). The cognitive benefits of movement reduction: Evidence from dance marking. *Psychological Science*, 24, 1732-1739. <https://doi.org/10.1177/0956797613478824>
- Webel, S., Olbrich, M., Franke, T., & Keil, J. (2013). Immersive experience of current and ancient reconstructed cultural attractions. *Proceedings of the Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage), 2013*, 395-398. IEEE. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2013.6743766>
- Webster, R. (2016). Declarative knowledge acquisition in immersive virtual learning environments. *Interactive Learning Environments*, 24(6), 1319-1333. <https://doi.org/10.1080/10494820.2014.994533>
- Webster, R., & Dues Jr, J. F. (2017). System Usability Scale (SUS): Oculus Rift® DK2 and Samsung Gear VR®. *Proceedings of the 2017 ASEE Annual Conference & Exposition*, 1-12. ASSE.
- Weissberg, R. P., Durlak, J. A., Domitrovich, C. E., & Gullotta, T. P. (2015). Social and emotional learning: Past, present, and future. In J. A. Durlak, C. E. Domitrovich, R. P. Weissberg, & T. P. Gullotta (Eds.), *Handbook of social and emotional learning: Research and practice* (pp. 3-19). The Guilford Press.
- Wellner, M., Sigrist, R., Von Zitzewitz, J., Wolf, P., & Riener, R. (2010). Does a virtual audience influence rowing. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 224(1), 117-128. <https://doi.org/10.1243/17543371JSET33>
- Wheatstone, C. (1838). Contributions to the physiology of vision-Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved phenomena of binocular vision. In surname missing, initials missing (Eds.) 1838, no title given.
- Wheeler, A. (2016). *Understanding virtual reality headsets*. Engineering.com.
- Wilcox, L. M., Allison, R. S., Elfassy, S., & Grelik, C. (2006). Personal space in virtual reality. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 3(4), 412-428. <https://doi.org/10.1145/1190036.1190041>
- Wilson, R. A., & Foglia, L. (2011). Embodied cognition. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford encyclopedia of philosophy*. Stanford University.
- Winn, W. (1993). *A conceptual basis for educational applications of virtual reality. Technical Publication R-93-9*. Human Interface Technology Laboratory of the Washington Technology Center, University of Washington.
- Wirth, W., Hartmann, T., Böcking, S., Vorderer, P., Klimmt, C., Schramm, H., Saari, T., Laarni, J., Ravaja, N., Gouveia, F. R., Biocca, F., Sacau, A., Jänck, L., Baumgartner, T., & Jäncke, P. (2007). A process model of the formation of spatial presence experiences. *Media Psychology*, 9(3), 493-525. <https://doi.org/10.1080/15213260701283079>
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225-240. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>
- World Travel and Tourism Council. (2015). *Travel and tourism - Economic impact 2015 - World*. <https://wtcc.org/Research/Economic-Impact>
- Worrall, M., & Hutchinson, D. (2014). Exploring a model for training simulations. *Proceeding of the Asian-Pacific Simulation Training Conference and Exhibition (SimTecT 2014)*, 173-176.
- Wright, P., McCarthy, J., & Meekison, L. (2004). Making sense of experience. In M. Blythe, C. Overbeeke, A. F. Monk, & P. C. Wright (Eds.), *Funology: From usability to enjoyment* (pp. 43-53). Kluwer. [https://doi.org/10.1007/1-4020-2967-5\\_5](https://doi.org/10.1007/1-4020-2967-5_5)



- Wu, B., Yu, X., & Gu, X. (2020). Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 1991-2005. <https://doi.org/10.1111/bjet.13023>
- Xu, D., & Jaggars, S. (2011). *Online and hybrid course enrollment and performance in Washington State community and technical colleges*. <https://pdfs.semanticscholar.org/69e9/36fbd521711c812dfe2b63723bb71268813d.pdf>
- Yassien, A., El Agroudy, P., Makled, E., & Abdennadher, S. (2020). A Design space for social presence in VR. *Proceedings of the 11th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Shaping Experiences, Shaping Society*, 1-12. <https://doi.org/10.1145/3419249.3420112>
- Yee, N., & Bailenson, J. N. (2007). The Proteus effect: the effect of transformed self-representation on behavior. *Human Communication Research*, 33(3), 271-290. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x>
- Yousef, A., M., F., Chatti, M., A., Schroeder, U., Wosnitza, M. & Jakobs, H. (2014). MOOCs: A review of the state-of-the-art. *Proceedings of the CSEDU 2014, 6th International Conference on Computer Supported Education*, 9-20.
- Yun, H., Park, S., & Ryu, J. (2019). Exploring the influences of immersive virtual reality pre-service teacher training simulations on teacher efficacy. *Proceedings of the Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, 1858-1862. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Zaho, Z. X. (2002). Virtual reality technology: an overview. *Journal of Southeast University*, 32(2), 1-10.
- Zendejas, B., Brydges, R., Hamstra, S. J., & Cook, D. A. (2013). State of the evidence on simulation-based training for laparoscopic surgery: a systematic review. *Annals of Surgery*, 257(4), 586-593. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318288c40b>
- Zhang, K., Suo, J., Chen, J., Liu, X., & Gao, L. (2017). Design and implementation of fire safety education system on campus based on virtual reality technology. *Proceedings of the 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 1297-1300. IEEE. <https://doi.org/10.15439/2017F376>
- Zhao, S. (2003). Toward a taxonomy of copresence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 12(5), 445-455. <https://doi.org/10.1162/105474603322761261>
- Zhou, N. N., & Deng, Y. L. (2009). Virtual reality: A state-of-the-art survey. *International Journal of Automation and Computing*, 6(4), 319-325. <https://doi.org/10.1007/s11633-009-0319-9>
- Zhou, Y., Ji, S., Xu, T., & Wang, Z. (2018). Promoting knowledge construction: A model for using virtual reality interaction to enhance learning. *Procedia Computer Science*, 130, 239-246. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.035>
- Zikky, M., Fathoni, K., & Firdaus, M. (2018). Interactive distance media learning collaborative based on virtual reality with solar system subject. *Proceedings of the 2018 19th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)*, 4-9. IEEE. <https://doi.org/10.1109/SNPD.2018.8441031>