



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

## ΔΡΑΣΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ:

### «ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ»

# ActiVatoR

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΡΓΟΥ Τ1ΕΔΚ-03735

## Παραδοτέο Π3.1: Μελέτη εφαρμογής για την κατασκευή 4D πλατφόρμας

Ακρωνύμιο έργου:	ActiVatoR		
Τίτλος έργου:	Πλατφόρμα Διαδραστικής και Βιωματικής Μάθησης για την προβολή του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού και των επιστημών μέσω Πρωτότυπης Κατασκευής Μηχανικής Ανάδρασης και εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας		
Κωδικός Παραδοτέου:	Π3.1		
Τίτλος Παραδοτέου:	Αναφορά μεθόδων δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών		
Τύπος Παραδοτέου:	Έκθεση		
α/α Ενότητας Εργασίας:	3	Τίτλος ΕΕ:	Κατασκευή Πρωτοτύπου Υλικού
Συγγραφείς Παραδοτέου:	Κυριάκος Σταυρακίδης, Παναγιώτης Χαρμπής, Χρυσούλα Μέρκα		
Έκδοση	Έκδοση 1.2 – Αναθεωρημένη Έκδοση		
Ημερομηνία Έναρξης έργου:	31 ΙΟΥΛΙΟΥ 2018		
Μήνας Έναρξης ΕΕ:	Μ16		
Μήνας Λήξης ΕΕ:	Μ18		
Μήνας Παράδοσης Τεύχους:	Μ20 – 17/03/2020		

## Επιτελική Σύνοψη

Το έργο “ACTIVATOR” έχει στόχο το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη θέση σε λειτουργία πρότυπης Πλατφόρμας Διαδραστικής και Βιωματικής Μάθησης, με σκοπό την επαγγελματική χρησιμοποίησή της μέσω ερευνητικών, εκπαιδευτικών και ενημερωτικών δράσεων τεχνολογικής ανάπτυξης για την προβολή του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού και των επιστημών μέσω Πρωτότυπης Κατασκευής Μηχανικής Ανάδρασης και εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας. Πιο συγκεκριμένα, το έργο πραγματεύεται με τη δημιουργία πλατφόρμας Βιωματικής Εικονικής Πραγματικότητας στην οποία θα μπορούν να εκτελεστούν πολλαπλά διαδραστικά εκπαιδευτικά σενάρια με κύριες θεματικές ενότητες αυτές της Τεχνολογίας, των Επιστημών και του Πολιτισμού.

Απώτερο σκοπό των δράσεων και της τεχνολογικής ανάπτυξης που εκπορεύονται από το έργο αποτελεί η προώθηση και προαγωγή των επιστημών, της τεχνολογίας και του πολιτισμού τόσο στο παρελθόν όσο και στο παρόν και το μέλλον, μέσα από στοχευμένες δράσεις έρευνας και ανάπτυξης τεχνολογιών Βιωματικής Εικονικής Πραγματικότητας 4D. Η ανάπτυξη της πλατφόρμας, μέσω της ανάπτυξης του κατάλληλου λογισμικού (software), αλλά και ανάλογου εξοπλισμού (hardware), πρόκειται να παράσχει βελτιστοποίηση της εμπειρίας του χρήστη όσον αφορά στις υπάρχουσες εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας, εισάγοντας, παράλληλα με τις υφιστάμενες υπηρεσίες (π.χ. τρισδιάστατη προβολή και απεικόνιση με έλεγχο γωνίας θέασης), την πλήρη φυσική ανάδραση μέσα από εξειδικευμένο εξοπλισμό προσομοίωσης κίνησης, περιστροφής, χειρισμού και δυναμικής ανάδρασης. Κατά τον τρόπο αυτό, ο χρήστης θα είναι σε θέση να απολαμβάνει μία ολοκληρωμένη σωματική βιωματική εμπειρία των όσων συμμετέχει.

Το παρόν παραδοτέο αφορά στη μελέτη εφαρμογής για την ανάπτυξη – κατασκευή της πλατφόρμας 4D, με σκοπό την παροχή υψηλού επιπέδου και προστιθέμενης αξίας υπηρεσιών προς τον τελικό χρήστη. Προς την κατεύθυνση αυτή η εταιρεία Smart Drive Ltd καλείται να αναπτύξει μία σειρά συστημάτων και υποσυστημάτων, τα οποία καταρχήν δοκιμάζονται και αξιολογούνται ως προς την αποτελεσματικότητα και την ευχρηστία τους και εν συνεχεία προτυποποιούνται και ενοποποιούνται, με σκοπό τη βελτιστοποίηση μιας ολοκληρωμένης διεπαφής ανθρώπου – μηχανής (Human Machine Interface - HMI).

Μέσω του παραδοτέου 3.1, αφού διερευνούνται τα υπάρχοντα συστήματα και οι υφιστάμενες τεχνολογίες συναφούς αντικειμένου και λειτουργίας, γίνεται αναφορά στις καινοτόμες μεθόδους δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών οι οποίες αντιδρούν άμεσα στις συνθήκες φυσικής, στην κίνηση και την αλληλεπίδραση μεταξύ χρήστη και εικονικού κόσμου. Μέσα από τη διαδικασία αυτή, επιλέγονται και προσδιορίζονται τα νέα συστήματα δυναμικής ανάδρασης που προτείνονται, καθώς και τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, ενώ επισημαίνονται αδυναμίες και περιορισμοί της χρήσης τους για το συγκεκριμένο εγχείρημα. Έτσι, εκτός από το πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο, στα επόμενα κεφάλαια επιχειρείται μία ανασκόπηση της εξέλιξης των συστημάτων δυναμικής ανάδρασης, της λειτουργίας των αισθητήρων και των ενεργοποιητών, προς την αποκρυστάλλωση μιας πρώτης προσέγγισης όσον αφορά στο σχεδιασμό, την αρχιτεκτονική και τη λειτουργία του ολοκληρωμένου συστήματος – τελικού προϊόντος του έργου Activator.

Τελικός στόχος είναι η επιλογή του βέλτιστου συστήματος από άποψη τεχνικής αρτιότητας και οικονομικής βιωσιμότητας, ώστε να παρέχονται ολοκληρωμένες υπηρεσίες υψηλής – προστιθέμενης αξίας προς το χρήστη σε επαγγελματική, μακροχρόνια βάση, σε συνεργασία με τους υπόλοιπους εταίρους της Κοινοπραξίας του έργου, αλλά και τους εξωτερικούς παρατηρητές, εταίρους, συνεργάτες και δυνητικούς πελάτες, στοχεύοντας και στην εμπορευματοποίηση και

εμπορική εκμετάλλευση του τελικού προϊόντος. Αυτό πρόκειται να εξασφαλιστεί μέσω της διασφάλισης ανάπτυξης μιας πλατφόρμας ασφαλούς όσο και λειτουργικής, με ολοκληρωμένες προηγμένες εφαρμογές για όλους τους χρήστες, ανεξαρτήτως γνωστικού επιπέδου, ερευνητικού υποβάθρου ή / και κοινωνικοοικονομικής βαθμίδας. Προς την κατεύθυνση αυτή, ιδιαίτερη μέριμνα θα χρειαστεί για τα ΑμεΑ, τα εμποδιζόμενα άτομα, αλλά και τις αποκλειόμενες πληθυσμιακές ομάδες, όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι, οι οποίοι χρήζουν εξειδικευμένης βοήθειας και καθοδήγησης ώστε να αποκτήσουν εξοικείωση με τέτοιου είδους συστήματα και προηγμένες εφαρμογές, διασφαλίζοντας τις αρχές της άμεσης και ελεύθερης πρόσβασης, της ισονομίας και της ισότιμης προσβασιμότητας.

## Ιστορικό εκδόσεων

Έκδοση	Ημερομηνία	Περιγραφή	Φορέας
Έκδοση 1.0	23/12/2019	Πρώτη Έκδοση (Ολοκληρωμένη)	Smart Drive Ltd
Έκδοση 1.1	24/12/2019	Τελική Έκδοση (Μετά τη συνάντηση έργου στις 23/12/2019)	Smart Drive Ltd
Έκδοση 1.2	31/5/2020	Αναθεωρημένη Έκδοση (μετά την Έκθεση Αξιολόγησης της 21/4/2020)	Smart Drive Ltd

## Κατάλογος Συντομογραφιών

Συντομογραφία	Επεξήγηση
2D / 3D / 4D	δισδιάστατος, τρισδιάστατος / τετραδιάστατος χώρος
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems (Σύγχρονα Συστήματα Υποστήριξης Οδηγού)
AR	Augmented Reality (Επαυξημένη πραγματικότητα)
DoF	Degrees of Freedom – Βαθμοί ελευθερίας κίνησης
G / Gs	Επιτάχυνση της βαρύτητας ίση με $9,81 \text{ m / sec}^2$ (παγκόσμια σταθερά)
HMD	Head Mounted Display (παρόμοια συστήματα και τεχνολογίες με τα HUD)
HUD	Head Up Display – αναφέρεται στις φορετές συσκευές κεφαλής (συστήματα) που προσομοιώνουν κυρίως οπτικοακουστικά εξωτερικά ερεθίσματα
LCD	Liquid Crystal Display
MRITF	Mixed Reality Interfaces
OLED	Organic Light Emitting Diode
VR	Virtual Reality

## Περιεχόμενα

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>8</b>
1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ .....	8
1.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ Ε.Ε. ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΑΥΤΟ ΤΟ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ .....	10
1.3. ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ .....	10
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ - STATE OF THE ART</b> .....	<b>12</b>
2.1. ΕΞΕΛΙΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΕΣ ΠΤΗΣΗΣ .....	12
2.2. ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ - ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΕΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ .....	15
2.2.1 <i>Ερευνητικοί προσομοιωτές οδήγησης</i> .....	17
2.2.2 <i>Εκπαιδευτικοί προσομοιωτές οδήγησης</i> .....	19
2.2.3 <i>Προηγμένα συστήματα προσομοίωσης εικονικών κόσμων και πλατφόρμες κίνησης</i> .....	23
2.3. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΒΙΝΤΕΟΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ .....	31
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ ΜΕΣΩ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ</b> .....	<b>34</b>
3.1. ΑΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	35
3.2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ .....	40
3.3. ΟΠΤΙΚΟΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΗΣ .....	41
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ ΜΕΣΩ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ</b> .....	<b>49</b>
4.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΒΑΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ .....	49
4.2. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΩΣ ΥΠΟΒΑΣΕΙΣ (ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ) .....	54
4.3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ .....	56
4.3.1 <i>Εξέλιξη Vive</i> .....	58
4.4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ – ΟΡΘΙΑ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ .....	60
4.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΑΣΕΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΚΑΜΠΙΝΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΡΓΟ ACTIVATOR .....	62
4.6. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΥΠΟΒΑΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΠΛΗΡΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	69
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΝΟΨΗ</b> .....	<b>74</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>75</b>

## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Διαφορετικοί τύποι προσομοιωτών πτήσης με ή χωρίς καμπίνες και πλατφόρμες κίνησης 3, 6 και 9 πολλαπλών βαθμών ελευθερίας. ....	13
Εικόνα 2: Εφαρμογή διαδραστικού μοντέλου κίνησης σε προσομοιωτή.....	16
Εικόνα 3: Ο προσομοιωτής του VTI στη Σουηδία. ....	17
Εικόνα 4: Ο προσομοιωτής της Daimler Chrysler στη Γερμανία. ....	17
Εικόνα 5: Ο προσομοιωτής NADS στις ΗΠΑ. ....	17
Εικόνα 6: Οι βαθμοί ελευθερίας (DOF) του συστήματος κίνησης του ερευνητικού προσομοιωτή οδήγησης του VTI στο Linköping της Σουηδίας. ....	18
Εικόνα 7: Ενδεικτικός εξοπλισμός προσομοιωτών θέσης της εταιρείας Smart Drive ltd (πηγή: <a href="http://www.smartdriveltd.com/">http://www.smartdriveltd.com/</a> ) .....	19
Εικόνα 8: Ενδεικτικός εξοπλισμός προσομοιωτών και βιωματικών εργαλείων εκπαίδευσης και έρευνας πάνω στην οδική ασφάλεια της εταιρείας Smart Drive ltd (πηγή: <a href="http://www.smartdriveltd.com/">http://www.smartdriveltd.com/</a> ) .....	20
Εικόνα 9: Προσομοιωτής Simler S-200 της Tecniduplo Πορτογαλίας.....	21
Εικόνα 10: Προσομοιωτής F210RMR και F230RMR της Faros Γαλλίας.....	21
Εικόνα 11: Δυναμικός προσομοιωτής καμπίνας της Honda Ιαπωνίας.....	21
Εικόνα 12: Προσομοιωτής εικονικής πραγματικότητας DS-100 της CGSD ΗΠΑ.....	22
Εικόνα 13: Διαδραστικός προσομοιωτής STISIM της STI (ΗΠΑ).....	23
Εικόνα 14: Feel Three - Virtual Reality Motion Simulator (πηγή: <a href="https://www.feelthree.com">https://www.feelthree.com</a> ) .....	25
Εικόνα 15: Σύστημα κίνησης Feel Three - Virtual Reality Motion Simulator (πηγή: <a href="https://www.feelthree.com">https://www.feelthree.com</a> ) και «προάγγελος» αυτού με τρεις βαθμούς ελευθερίας (3 DoF) .....	26
Εικόνα 16: Τεχνικά χαρακτηριστικά καμπίνων προσομοίωσης Feel Three - Virtual Reality Motion Simulator (πηγή: <a href="https://www.feelthree.com">https://www.feelthree.com</a> ).....	28
Εικόνα 17: Λειτουργία Low cost motion platform for driving simulator (πηγή: Mohellebi et al, 2004 - ICMA)	29
Εικόνα 18: Πλατφόρμες προσομοίωσης DOF reality (πηγή: <a href="https://dofreality.com/">https://dofreality.com/</a> ) .....	30
Εικόνα 19: Εξέλιξη συστημάτων εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας τις τελευταίες 3 δεκαετίες .....	37
Εικόνα 20: Γάντια διασύνδεσης ανθρώπου-υπολογιστή για χρήση στην εικονική πραγματικότητα .....	38
Εικόνα 21: Δύο βάσεις κίνησης για προσομοίωση διαμήκου και εγκάρσιας κίνησης .....	50
Εικόνα 22: Κάτοψη ολοκληρωμένου συστήματος προσομοίωσης (καμπίνα, οθόνες κτλ.) της Smart Drive Ltd το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση εξέλιξης στην περίπτωση επιλογής καθιστού υποκειμένου. ...	53
Εικόνα 23: Ενδεικτικός μηχανισμός με 2 DOF (βαθμούς ελευθερίας) για χρήση του ως υπόβαση (πλατφόρμα) σε προσομοιωτή .....	54
Εικόνα 24: Ενδεικτικός μηχανισμός με 3 DOF (βαθμούς ελευθερίας) για χρήση του ως υπόβαση (πλατφόρμα) σε προσομοιωτή .....	55

Εικόνα 25: Ενδεικτικός μηχανισμός με 6 DOF (βαθμούς ελευθερίας) για χρήση του ως υπόβαση (πλατφόρμα) σε προσομοιωτή. ....	56
Εικόνα 27: Εναλλακτικό «όρθιο» σύστημα εμβύθισης σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας .....	61
Εικόνα 28: Σχεδιασμός και κατασκευή της ανωδομής για την πλατφόρμα κίνησης με 3 DOF (Α' Φάση) .....	70
Εικόνα 29: Σύνδεση της ανωδομής με την πλατφόρμα κίνησης με 3 DOF (Β' Φάση) .....	70
Εικόνα 30: Κάλυψη της υπόβασης (πλατφόρμας κίνησης) ώστε να συνδεθεί με την ανωδομή (Γ' Φάση).....	71
Εικόνα 31: Σύστημα σε χρήση: Εξωτερική εικόνα (αριστερά) - Εικόνα χρήστη (δεξιά).....	71
Εικόνα 32: Σύστημα σε χρήση: Εικόνα χρήστη (αριστερά) - Εξωτερική εικόνα (δεξιά).....	72
Εικόνα 33: Σύστημα σε χρήση: Ο ρεαλισμός που επιτυγχάνει ο συνδυασμός κίνησης και λογισμικού αποτυπώνεται καθαρά στις αντιδράσεις όλων των χρηστών. ....	72
Εικόνα 34: Σύστημα με βάση (πλατφόρμα) κίνησης με 6 βαθμούς ελευθερίας (6 DOF) και βραχίονες με διαδραστική συμπεριφορά (ανάδραση με το χρήστη). ....	73

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Διαφοροποιήσεις και χαρακτηριστικά διαθέσιμων μοντέλων DOF Reality.....	31
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά και τεχνικές λεπτομέρειες υφιστάμενων συστημάτων θέασης κεφαλής .....	42
Πίνακας 3: Προδιαγραφές και τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών Vive .....	59
Πίνακας 4: Σενάρια, επιλογές τύπων χρηστών, αντικειμένων και προσδιορισμός αναδράσεων .....	62
Πίνακας 5: Σύγκριση τυπικών συστημάτων κίνησης (ως υπόβασης) με διαφορετικούς βαθμούς ελευθερίας (2-3-6) .....	66

## Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

### 1.1. Σκοπός και περιεχόμενο του παραδοτέου

Το έργο με το ακρωνύμιο “ACTIVATOR” και κωδικό Τ1ΕΔΚ-03735 (Πλατφόρμα Διαδραστικής και Βιωματικής Μάθησης για την προβολή του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού και των επιστημών μέσω Πρωτότυπης Κατασκευής Μηχανικής Ανάδρασης και εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας), πραγματεύεται με τη δημιουργία πλατφόρμας Βιωματικής Εικονικής Πραγματικότητας στην οποία θα μπορούν να εκτελεστούν πολλαπλά διαδραστικά εκπαιδευτικά σενάρια με κύριες θεματικές ενότητες αυτές της Τεχνολογίας, των Επιστημών και του Πολιτισμού.

Μεταξύ άλλων, έχει ως φιλοσοφία να ενώσει εκπαιδευτικούς, πολιτιστικούς και ερευνητικούς φορείς αλλά και επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στους τομείς του Πολιτισμού, του Τουρισμού, της Εκπαίδευσης και της Πληροφορικής με απώτερο σκοπό την προώθηση και προαγωγή των επιστημών, της τεχνολογίας και του πολιτισμού τόσο στο παρελθόν όσο και στο παρόν και το μέλλον, μέσα από στοχευμένες δράσεις έρευνας και ανάπτυξης τεχνολογιών Βιωματικής Εικονικής Πραγματικότητας 4D.

Μέσω της πλατφόρμας που θα κατασκευαστεί και με τη βοήθεια κατάλληλου περιβάλλοντος με χρήση λογισμικού (software) αλλά και εξοπλισμού (hardware), ο χρήστης, πέρα από την τρισδιάστατη προβολή και τον έλεγχο της γωνίας θέασης που ήδη παρέχουν οι υπάρχουσες εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας (ΕΠ), θα πρέπει να απολαμβάνει την πλήρη φυσική ανάδραση μέσα από εξειδικευμένο εξοπλισμό προσομοίωσης κίνησης, περιστροφής, χειρισμού και δυναμικής ανάδρασης, βιώνοντας κατά τον τρόπο αυτό σωματικά τις εμπειρίες στις οποίες συμμετέχει.

Με σκοπό την ανάπτυξη της πλατφόρμας και για την παροχή υψηλού επιπέδου και προστιθέμενης αξίας υπηρεσιών προς τον τελικό χρήστη, η Smart Drive Ltd καλείται να αναπτύξει μία σειρά συστημάτων και υποσυστημάτων. Τα συστήματα αυτά θα δοκιμαστούν και εν συνεχεία θα προτυποποιηθούν και θα ενοποιηθούν, με σκοπό τη βελτιστοποίηση μιας ολοκληρωμένης διεπαφής ανθρώπου – μηχανής.

Μέσω του παραδοτέου 3.1 θα αναλυθούν και θα αναφερθούν καινοτόμες μέθοδοι δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών οι οποίες θα αντιδρούν άμεσα στις συνθήκες φυσικής, στην κίνηση και την αλληλεπίδραση μεταξύ χρήστη και εικονικού κόσμου.

Οι δραστηριότητες που περιλαμβάνονται αναλυτικά, καθώς και το αντικείμενο αυτών παρουσιάζεται παρακάτω:

- i. **Μέθοδοι Δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών:** Έρευνα μεθόδων Δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών (actuators) που να αντιδρούν άμεσα στις συνθήκες φυσικής, στην κίνηση και την αλληλεπίδραση μεταξύ χρήστη και εικονικού κόσμου.
- ii. **Κατασκευή του απαραίτητου τεχνολογικού εξοπλισμού προσομοίωσης:** Ανάπτυξη και κατασκευή του προσαρμοζόμενου εξειδικευμένου εξοπλισμού προσομοίωσης, αλληλεπίδρασης και δυναμικής ανάδρασης βάσει των μεθόδων που διερευνήθηκαν στην προηγούμενη δραστηριότητα.
- iii. **Πιλοτική εφαρμογή – Δοκιμαστική Λειτουργία:** Παραμετροποίηση και δοκιμή του απαραίτητου τεχνολογικού εξοπλισμού αισθητήρων και ανάδρασης βάσει των

συγκεκριμένων προδιαγραφών ανάλογα με τις ανάγκες των τελικών χρηστών, με στόχο την εύρυθμη λειτουργία του.

Η Smart Drive Ltd τελικά θα παραδώσει ένα πλήρες σύστημα κίνησης και ανάδρασης σε λειτουργία το οποίο θα περιλαμβάνει:

- ✓ **Καμπίνα προσομοίωσης.** Η καμπίνα προσομοίωσης είναι το σημαντικότερο στοιχείο κατά την ανάπτυξη του hardware. Θα ελεγχτεί η συναρμογή του προτεινόμενου εκπαιδευτικού πακέτου για την τουριστική προβολή της χώρας με βάση την εργονομία των ανθρώπων που θα τη χρησιμοποιούν.
- ✓ **Συστήματα θέασης του προσομοιωτή.** Η μεταφορά από την τρισδιάστατη προβολή στην εικονική πραγματικότητα με τη χρήση ειδικών γυαλιών θα λάβει χώρα σε αυτό το σημείο, με τη συνεργασία ενός εκ των εταίρων του έργου. Συνεπώς είναι απαραίτητη επί ποινή αποκλεισμού ιδιαίτερα επιθυμητή η εμπειρία του υπεργολάβου στην κατασκευή ή/και συμμετοχή στην έρευνα και ανάπτυξη ειδικών συστημάτων θέασης για συστήματα προσομοίωσης. Η περιστασιακή (όχι μακροχρόνια και συνεχής) ενασχόληση του υποψήφιου αναδόχου με την πώληση παρόμοιων τεχνολογικών προϊόντων δε θεωρείται ότι καλύπτει αυτή την προϋπόθεση.
- ✓ **Συστήματα προσομοίωσης και δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων.** Θα αναπτυχθούν ειδικά για τις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου συστήματα hardware τα οποία θα αφορούν κατά περίπτωση είτε δυναμική προσομοίωση με κίνηση στην καμπίνα προσομοίωσης, είτε δόνηση, είτε ακόμα και ειδικά χειριστήρια που θα έχουν σχέση με το ιστορικό/πολιτισμικό/επιστημονικό περιεχόμενο του λογισμικού. Επίσης θα μελετηθεί η χρήση αισθητήρων και χειριστηρίων τα οποία θα βρίσκονται σε πλήρη ανάδραση με το πρόγραμμα και το χρήστη, συνεπώς η ανάλυση ασφαλείας με σκοπό την ομαλή λειτουργία του συστήματος είναι η πλέον απαραίτητη.

Οι προδιαγραφές αυτές αναφέρονται πρωτίστως στην ασφάλεια και κατά δεύτερον στη λειτουργικότητα της πλατφόρμας και των εφαρμογών αυτής, ώστε να επιτυγχάνεται μια ολοκληρωμένη διεπαφή μεταξύ εξοπλισμού συστήματος και τελικού χρήστη. Οι αναλυτικές προδιαγραφές αναμένεται να καθοριστούν και βάσει των σεναρίων χρήσης (επαγγελματικές / επιχειρηματικές προδιαγραφές), των αναγκών και απαιτήσεων των τελικών χρηστών (user stories), καθώς και του σχεδιασμού της αρχιτεκτονικής του συστήματος, συμπεριλαμβάνοντας τον εννοιολογικό και λειτουργικό σχεδιασμό κάθε υποσυστήματος που θα χρησιμοποιηθεί.

Επισημαίνεται ότι, οι προδιαγραφές είναι πιθανό να αλλάξουν στο μέλλον, στο πλαίσιο μιας μεθοδολογίας ευέλικτης, η οποία απαντά σε ένα δυναμικά εξελισσόμενο και μεταβαλλόμενο έργο. Έτσι, συγκεκριμένες προδιαγραφές ασφαλείας σε κάθε σημείο του έργου και του προσομοιωτή εγγυώνται την απρόσκοπτη και ασφαλή λειτουργία όλων των υποσυστημάτων τα οποία θα ενοποιηθούν σε μία συσκευή. Ο βαθμός στον οποίο τα αποτελέσματα των δοκιμών μπορούν να οδηγήσουν σε βελτιωμένα προϊόντα είναι εξαιρετικά σημαντικός και εξαρτάται από το είδος του επιμέρους εξοπλισμού που θα διατεθεί και τις επιμέρους προδιαγραφές ασφαλείας (π.χ. σημάνσεις CE κλπ) του καθενός ξεχωριστού υποσυστήματος.

Στο σημείο αυτό, επισημαίνεται ότι το κομμάτι που θα αναλάβει να φέρει εις πέρας η Smart Drive Ltd χαρακτηρίζεται ως ζωτικής σημασίας για την επιτυχή εκτέλεση του έργου με ακρωνύμιο "ACTIVATOR" και κωδικό T1EΔK-03735, δεδομένου ότι η μεν καμπίνα προσομοίωσης αποτελεί αδιαμφισβήτητο το σημαντικότερο στοιχείο κατά την ανάπτυξη του hardware επάνω στο οποίο θα διασυνδεθεί το εκπαιδευτικό πακέτο για την τουριστική προβολή της χώρας, οι δε αισθητήρες αφορούν σε ειδικά χειριστήρια επί της καμπίνας τα οποία θα βρίσκονται σε πλήρη ανάδραση με το

πρόγραμμα και το χρήστη, καθορίζοντας τη φιλικότητα, την προσβασιμότητα και τη λειτουργικότητα της διεπιφάνειας συστήματος και τελικού χρήστη.

## **1.2. Περιγραφή της Ε.Ε. και των εργασιών που σχετίζονται με αυτό το παραδοτέο**

Η τρίτη ενότητα εργασίας (ΕΕ3) είναι αφιερωμένη στην κατασκευή του πρωτότυπου υλικού. Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της 3ης Ενότητας Εργασίας πρόκειται να λάβει χώρα μία ενδεδειγμένη και λεπτομερή διερεύνηση των υφιστάμενων τεχνολογιών, πατεντών και συστημάτων προσομοιωτών κίνησης με δυναμική ανάδραση μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών, ούτως ώστε η ομάδα μελέτης της Smart Drive ltd να προβεί στον προσδιορισμό του εξειδικευμένου εξοπλισμού προσομοίωσης κίνησης, περιστροφής, χειρισμού και δυναμικής ανάδρασης που θα χρειαστεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Βάσει της προτεινόμενης δομής της Ενότητας Εργασίας, πρόκειται να παραχθούν 3 Παραδοτέα:

- i. Π3.1 Αναφορά μεθόδων δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών (Εκθεση-M12)
- ii. Π3.2 Πρωτότυπο τεχνολογικού εξοπλισμού αισθητήρων και ανάδρασης (Άλλο, M20)
- iii. Π3.3 Αναφορά Δοκιμαστικής λειτουργίας πρωτότυπου υλικού προσομοίωσης (Εκθεση-M20)

Όσον αφορά στο Π3.1, πέρα από την ανασκόπηση των πιο προηγμένων υφιστάμενων συστημάτων δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών που σχετίζονται με προσομοιωτές οδήγησης, επιχειρείται και μία ταξινόμηση των αντίστοιχων μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Σκοπός είναι αφενός μεν η δημιουργία βάσης δεδομένων όσον αφορά στη διαθέσιμη τεχνολογία που θα χρησιμοποιήσει η Smart Drive ltd και αφετέρου να δικαιολογηθούν από τεχνικής και λειτουργικής απόψεως οι επιλογές μεθόδων που θα επιλεγούν. Όλα τα παραπάνω, βέβαια, υπόκεινται και σε περιορισμούς, όπως ο διαθέσιμος προϋπολογισμός του έργου, αλλά και τα όρια της έρευνας σε συσχέτιση με το σκοπό εξυπηρέτησης και τους στόχους του παραδοτέου και ολόκληρου του έργου, δηλαδή μέχρι ποιο σημείο θα (πρέπει να ή αναμένεται να) φτάσει η έρευνα και το κατά πόσο θα διασυνδεθεί με την υλοποίηση και εφαρμογή ενός αντίστοιχου ολοκληρωμένου συστήματος – προϊόντος υψηλού επιπέδου παροχής υπηρεσιών, ίσως και προστιθέμενης αξίας.

## **1.3. Δομή του παραδοτέου**

Το παραδοτέο Π3.1 Αναφορά μεθόδων δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών, οργανώνεται σε πέντε διακριτά κεφάλαια. Εκτός από το υφιστάμενο εισαγωγικό κεφάλαιο, στο δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα υπάρχοντα συστήματα δυναμικής ανάδρασης, καθώς και στις υφιστάμενες μεθόδους δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών, αντίστοιχα. Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται προσδιορισμός μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης των νέων καινοτόμων και πρότυπων συστημάτων δυναμικής ανάδρασης που αναπτύσσονται και του πρωτότυπου εξοπλισμού αυτών που δύνανται να χρησιμοποιηθούν στο τελικό προϊόν – ολοκληρωμένο σύστημα του έργου Activator, ενώ τα όποια συμπεράσματα από την έρευνα και την εφαρμογή συστημάτων, εφαρμογών και εξοπλισμού, παρατίθενται στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο του παρόντος παραδοτέου.

Επισημαίνεται ότι στο πλαίσιο του παρόντος παραδοτέου δεν προσδιορίζεται τεχνικά και λειτουργικά η τελική επιλογή, αλλά μέσω μιας πολύπλευρης και ολιστικής προσέγγισης των «υποψήφιων προς χρήση, ενσωμάτωση και διασύνδεση» συστημάτων, τεχνολογιών και εργαλείων, επιχειρείται μια προσέγγιση της βέλτιστης τεχνικοοικονομικά εφικτής λύσης. Δηλαδή,

αυτό το παραδοτέο αναμένεται να αποτελέσει μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων τεχνολογιών (state of the art benchmarking), πάνω στην οποία θα «πατήσει» η τελική λύση. Πάντως, σε κάθε περίπτωση, υπάρχει ανοιχτό το ενδεχόμενο επιλογής διαφορετικής τεχνολογίας από τις προτεινόμενες και εξεταζόμενες, ανάλογα με τις ανάγκες και τα προβλήματα που θα παρατηρηθούν κατά την πρακτική εφαρμογή του συστήματος, αλλά και διάφορα θέματα με τη συμβατότητα, διασυνδεσιμότητα και διαλειτουργικότητα με τα ήδη υφιστάμενα προγράμματα, συστήματα και εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί από ή έχουν στη διάθεσή τους οι βασικοί εταίροι του έργου Activator, ΙΠΤΗΛ και ΝΟΗΣΙΣ όσον αφορά στην εμπύθιση σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας.

## Κεφάλαιο 2. Υπάρχοντα Συστήματα Δυναμικής Ανάδρασης - State of the Art

Το παρόν κεφάλαιο καταρχήν περιέχει συνοπτικά στοιχεία και δεδομένα όσον αφορά στην ανάπτυξη και διαχρονική εξέλιξη των συστημάτων δυναμικής ανάδρασης, είτε πρόκειται για πλατφόρμες κίνησης είτε για προσομοιωτές οδήγησης διαφορετικών λειτουργικών χαρακτηριστικών, δυνατοτήτων και χρήσης όσον αφορά κυρίως στην οδήγηση και καθοδήγηση του χρήστη. Παράλληλα, επικεντρώνεται σε μία σειρά προηγμένων συστημάτων και μεθοδολογιών, προκειμένου εντέλει να επιλεγούν τα τελικά συστήματα, πάνω στα οποία θα στηριχτεί και η ανάπτυξη της καμπίνας, του προσομοιωτή, του συστήματος δυναμικής ανάδρασης της Smart Drive Ltd. Η λογική πορεία προστάζει όχι τη στείρα αντιγραφή υφιστάμενων βέλτιστων πρακτικών, αλλά τη μελέτη, αξιολόγησή τους και εξέλιξή τους σε ένα ολοκληρωμένο τελικό προϊόν το οποίο να εξυπηρετεί τους σκοπούς του έργου Activator, όντας παράλληλα συμβατό και προς την τεχνολογία αιχμής που χρησιμοποιείται από το ΝΟΗΣΙΣ για την προβολή και απεικόνιση των τεχνολογικών ευρημάτων και εκθεμάτων αυτού. Απώτερος σκοπός είναι η όσο το δυνατό ρεαλιστικότερη προβολή της πολιτιστικής κληρονομιάς και του ιστορικού θησαυρού της Ελλάδας, μέσα από ένα μία διαδραστική διαδικασία και με τη χρήση προηγμένου τεχνολογικού εξοπλισμού και έξυπνων πολυμέσων.

### 2.1. Εξέλιξη συστημάτων δυναμικής ανάδρασης – Προσομοιωτές πτήσης

Η ιστορία της εικονικής πραγματικότητας και των συστημάτων δυναμικής ανάδρασης και προσομοίωσης έχει σχεδόν έναν αιώνα που γράφεται. Οι πρώτες προσπάθειες καταγράφονται στις ΗΠΑ, κατά την περίοδο του μεσοπολέμου, όταν η εικονική πραγματικότητα χρησιμεύει ως εργαλείο για στρατιωτική εκπαίδευση κυρίως για προσομοιωτές πτήσης (flight simulators). Η σημασία της αποτελεσματικής εκπαίδευσης για τους πιλότους ήταν πάντα μέρος της ιστορίας των αερομεταφορών. Η έναρξη του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου ενίσχυσε τη ζήτηση των στρατιωτών για εξειδικευμένους αερομεταφορείς και η εκπαίδευση μεγάλου αριθμού πιλότων ήταν αναγκαιότητα. Λόγω περιορισμένων πόρων σε εκπαιδευτικές σχολές ιπτάμενων, πολλοί μαθητές ελάμβαναν μόνο λίγες ώρες εκπαίδευσης ως χρόνο πτήσης και ήταν συχνά απροετοίμαστοι για μάχη. Από τις πρώτες μέρες της επανδρωμένης πτήσης, οι πιλότοι χρησιμοποίησαν εργαλεία κατάρτισης για να προσομοιώσουν την εμπειρία της πτήσης από την ασφάλεια του εδάφους. Πολύ πριν από την εφεύρεση των ρεαλιστικών προσομοιωτών υπολογιστών ή ακόμη και της κατάρτισης στην εικονική πραγματικότητα, η προσομοίωση πτήσης περιελάμβανε πειραματικά μηχανήματα δοκιμασμένα με δοκιμές και λάθη. Τα προκύπτοντα ατυχήματα και θύματα σε μονάδες εκπαίδευσης οδήγησαν στην εφεύρεση των πρώτων συνθετικών συσκευών εκπαίδευσης πτήσης. Αυτές οι στοιχειώδεις συσκευές κατάρτισης ήταν ουσιαστικά τμήματα ενός ξύλινου βαρελιού που τοποθετείται και μετακινείται χειροκίνητα από έναν εκπαιδευτή για να προσομοιώνει την επίδραση ενός αεροπλάνου κατά την πτήση.

Σε μία σημαντική εξέλιξη, το 1929, ένας νέος πιλότος και εκπαιδευτής, ο Edwin Albert Link εφηύρε τον πρώτο «εκπαιδευτικό προσομοιωτή πτήσεων», το Link Trainer, αναπαράγοντας ένα πλήρες πιλοτήριο, με χειριστήρια και κίνηση που μπορούσαν να παράγουν την αίσθηση της πτήσης. Σε μια προσπάθεια να μειωθούν τα οικονομικά εμπόδια στην εκπαίδευση των πτήσεων, η Link προώθησε το "Link Trainer" ως μια προσιτή μέθοδο εκπαίδευσης και πιστοποίησης πιλότων. Το project βρήκε απήχηση σε ειδικές στρατιωτικές εγκαταστάσεις με σκοπό τη δημιουργία προσομοιωτών για τη διδασκαλία των πτήσεων με όργανα, βομβαρδισμούς, πλοήγηση και λειτουργία ραντάρ. Σύντομα η εκπαίδευση μέσω του Link ήταν τυποποιημένος εξοπλισμός σε σχολές εκπαίδευσης πτήσεων στις

ΗΠΑ και στις συμμαχικές χώρες. Εκτιμάται ότι ο συγκεκριμένος προσομοιωτής πτήσης χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση πάνω από δύο εκατομμύρια ιπτάμενων, συμπεριλαμβανομένων 500.000 πιλότων κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου.

Οι σημερινοί πιλότοι έχουν πολλές επιλογές όταν πρόκειται για πτητική εκπαίδευση. Η πιο σημαντική εξέλιξη συνέβη στις αρχές της δεκαετίας του 1970, όταν τα γραφικά των Η/Υ συνδυάστηκαν με τους προσομοιωτές πτήσης και τα όλο και πιο προηγμένα συστήματα κίνησης, επιτρέποντας στους πιλότους να μάθουν τα βασικά στοιχεία των οργάνων ελέγχου ενώ μιμούνται την αίσθηση της πτήσης. Χάρη στις εξελίξεις στην τεχνολογία τρισδιάστατης και εικονικής πραγματικότητας, οι πιλότοι των μαθητών μπορούν να βυθιστούν σε μια εξαιρετικά ρεαλιστική εκπαίδευση προσομοίωσης πτήσης, οποτεδήποτε και οπουδήποτε, μέσω προηγμένων και ολοκληρωμένων συστημάτων, απολαμβάνοντας εφαρμογές 3, 6 και 9 βαθμών ελευθερίας χρησιμοποιώντας ειδικές πλατφόρμες κίνησης για το σκοπό αυτό, όπως για παράδειγμα στο «Redbird Flight», όπου φαίνεται ότι βρίσκονται στην αιχμή της εκπαίδευσης πιλότων, προσομοίωσης και ασφάλειας. Εν γένει, οι πλατφόρμες προσομοίωσης και κίνησης αποτελούνται από απλές οθόνες ή καμπίνες, ενώ δε λείπουν και οι περιπτώσεις που αποτελούνται από ολόκληρο τμήμα αεροσκάφους, συμπεριλαμβανομένου του θαλάμου διακυβέρνησης, της καμπίνας, των χειριστηρίων και του λοιπού εξοπλισμού.



Εικόνα 1: Διαφορετικοί τύποι προσομοιωτών πτήσης με ή χωρίς καμπίνες και πλατφόρμες κίνησης 3, 6 και 9 πολλαπλών βαθμών ελευθερίας.

Η αληθινή επανάσταση όμως, παράλληλα με την ανάπτυξη των συστημάτων προσομοίωσης πτήσης, ήρθε κατά τη δεκαετία του 1960, όταν η ανάγκη για βελτίωση του επιπέδου της οδικής ασφάλειας, ξεετάζοντας τον ανθρώπινο παράγοντα, οδήγησε στη σχεδίαση και κατασκευή προσομοιωτών οδήγησης, με τους οποίους εξασφαλίζεται η εκπαίδευση των υποψηφίων και τακτικών οδηγών σε κανονικές αλλά και σε δυσμενείς συνθήκες. Στόχος των προσομοιωτών οδήγησης είναι η απόκτηση εμπειρίας των εκπαιδευομένων πάνω σε επικίνδυνες καταστάσεις και σενάρια οδικής ανασφάλειας (κινδύνου), σε περιβάλλον ασφαλές για τους ίδιους αλλά και για τους υπόλοιπους χρήστες της οδού ή αλλιώς η βελτίωση της οδικής ασφάλειας μέσω της βελτίωσης της οδηγικής συμπεριφοράς.

Οι σύγχρονοι προσομοιωτές πτήσης, έχουν στρέψει το τεχνολογικό του υπόβαθρο και το λειτουργικό του σύστημα από τους υδραυλικούς μηχανισμούς υποστήριξης κίνησης προς τις πλήρως ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές και τα εξαρτήματα έχουν αντικαταστήσει τα υδραυλικά συστήματα σε προσομοιωτές πτήσης, καθιστώντας τα πιο ενεργειακά αποδοτικά και ευκολότερα συντηρήσιμα. Αλλά η μετάβαση από την υδραυλική στην ηλεκτρική ενεργοποίηση δημιούργησε μια σειρά από μηχανικές προκλήσεις - μεταξύ αυτών, το χειρισμό βαρύτερων ωφέλιμων φορτίων, την ομαλή κίνηση, τη διασφάλιση της ασφάλειας και την αποτροπή ανεπιθύμητης στάθμης θορύβου.

Ένας ιδανικός προσομοιωτής πτήσης αναπαράγει τη 3D ή χωρική αίσθηση της πτήσης ενώ ταιριάζει απόλυτα με τις πραγματικές αντιδράσεις των χειριστηρίων του πιλότου. Έτσι, όταν πιλότοι στον προσομοιωτή ενεργοποιούν τα χειριστήρια και τα όργανα ελέγχου, θα πρέπει να βιώσουν την ίδια απόκριση όπως όταν βρίσκονται στα πραγματικά αεροπλάνα. Μέχρι πρόσφατα, οι προσομοιωτές βασίζονταν σε ηλεκτροϋδραυλικούς ενεργοποιητές για να παρέχουν ανατροφοδότηση στους πιλότους και να ενεργοποιούν την κίνηση του προσομοιωτή. Σήμερα, οι σχεδιαστές προσομοιωτών πτήσης χρησιμοποιούν τις ίδιες μηχανικές ιδέες αλλά οι ενεργοποιητές είναι ηλεκτρικοί. Οι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές και τα εξαρτήματα για προσομοιωτές σχεδιάζονται, αναπτύσσονται και κατασκευάζονται για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής με λιγότερη συντήρηση και μεγαλύτερη απόδοση για να παρέχουν τα υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας του συστήματος που απαιτεί η αγορά.

Οι προσομοιωτές πτήσης θα πρέπει να μοιάζουν πολύ με το πραγματικό πιλοτήριο, περιλαμβάνοντας πραγματικά χειριστήρια και όργανα ελέγχου. Όσο πιο ρεαλιστικά τα χειριστήρια και τα όργανα ελέγχου, μαζί με τα οπτικά στοιχεία από το εξωτερικό του θαλάμου διακυβέρνησης (μέσω του τζαμιού του θαλάμου διακυβέρνησης) τόσο περισσότερο και πιο αξιόπιστα παρέχουν στους χρήστες – χειριστές (π.χ. στους μαθητευόμενους πιλότους ή / και στο κοινό) την αίσθηση της πτήσης. Όσον αφορά στις απαιτήσεις, μια βασική διάταξη ασφαλείας για τους προσομοιωτές πτήσης εμποδίζει τους σταθμούς του θαλάμου διακυβέρνησης να πέσουν ανεξέλεγκτα όταν υπάρχει απώλεια ηλεκτρικής ισχύος ή άλλες συνθήκες βλάβης. Αντιθέτως, ο προσομοιωτής πρέπει να σταματήσει ή να επιστρέψει στην αρχική του θέση για να αφήσει το πλήρωμα (π.χ. χρήστη - χειριστή) να βγει με ασφάλεια. Οι χειριστές προσομοιωτών χρειάζονται επίσης υψηλή πιστότητα ή ομαλές κινήσεις με μικρό θόρυβο. Προκειμένου να ικανοποιηθούν αυτές οι απαιτήσεις, έπρεπε να αναβαθμιστεί η τεχνολογία σφαιρικών βιδών και σέρβις, καθώς και οι αλγόριθμοι λογισμικού για την ελαχιστοποίηση του θορύβου του ενεργοποιητή.

Όσον αφορά στις διαφοροποιήσεις των δύο διαφορετικών τεχνολογικών προσεγγίσεων, ένα υδραυλικό σύστημα μπορεί τυπικά να χειρίζεται ένα ευρύ φάσμα μεγάλων φορτίων με το ίδιο υδραυλικό σύστημα και ενεργοποιητή, ενώ οι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές έχουν ένα πιο περιορισμένο εύρος. Η πρόκληση για τους μηχανικούς ήταν να αναπαράγουν τις δυνατότητες χειρισμού του ωφέλιμου φορτίου των υδραυλικών με ηλεκτρικά. Οι εξελίξεις σε συσκευές υψηλής πυκνότητας ισχύος επέτρεψαν στους μηχανικούς να χρησιμοποιούν τεχνολογία servodrive για να ταιριάζουν με τις επιδόσεις του υδραυλικού εξοπλισμού. Για παράδειγμα, οι μηχανικοί αύξησαν την πυκνότητα ισχύος των σερβοκινητήρων χωρίς ψήκτες χρησιμοποιώντας μαγνήτες υψηλής ενέργειας. Το πλεονέκτημα αυτών των αναβαθμισμένων εξαρτημάτων είναι ότι αντλούν λιγότερη ενέργεια από τις υδραυλικές εναλλακτικές λύσεις, ενώ δεν θυσιάζουν την ακρίβεια, την ταχύτητα και τη διαθεσιμότητα.

Όσον αφορά στις μελλοντικές τάσεις σχεδιασμού αλλά και τους περιορισμούς τέτοιων συστημάτων προσομοίωσης πτήσης σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας, οι μηχανικοί και οι πιλότοι ανέκαθεν αξιολογούσαν υποκειμενικά τους προσομοιωτές. Στο μέλλον, η βιομηχανία προσομοίωσης πτήσης είναι ικανή να υιοθετήσει μια πιο ντετερμινιστική ή αντικειμενική

προσέγγιση για την αξιολόγηση των προσομοιωτών και να αφαιρέσει την υποκειμενικότητα από τη διαδικασία επικύρωσης. Ο στόχος θα είναι να παρέχει την ίδια απόδοση σε όλους τους προσομοιωτές, ενώ ταυτόχρονα να καταστήσει πιο αποτελεσματική τη διαδικασία πιστοποίησης. Ο τρόπος με τον οποίο αξιολογείται η εν γένει κίνηση και η κινητικότητα θα είναι καθοριστικός για την επίτευξη αυτού του στόχου. Σίγουρα ένα προηγμένο σύστημα θα πρέπει να χρησιμοποιεί και να λαμβάνει υπόψη τις αισθήσεις των πιλότων (οπτικά, ηχητικά και απτικά ερεθίσματα) για να τους κάνει να πιστεύουν ότι κινούνται, γυρίζουν και επιταχύνουν περισσότερο από ότι στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, οι προσομοιωτές επαναδημιουργούν πολλές από τις επιδράσεις της απογείωσης και της ανόδου, παρόλο που ο προσομοιωτής δεν επιταχύνει ως τα 200 μίλια την ώρα ή ανεβαίνει ποτέ υψηλότερα από τη διαδρομή του ενεργοποιητή. Εντέλει, ρυθμίζοντας έναν προσομοιωτή για να εκτελέσει αλγορίθμους που μιμούνται τις αισθήσεις στην πραγματική πτήση, ο κλάδος θα προετοιμάσει καλύτερα τους πιλότους να πετάξουν πριν εγκαταλείψουν ποτέ το έδαφος.

Τέλος, σημαντικό ορόσημο για την εν γένει εξέλιξη των συστημάτων προβολής, προσομοίωσης, κίνησης και εικονικής πραγματικότητας, αποτέλεσε η «έκρηξη» της βιομηχανίας βιντεοπαιχνιδιών η οποία άρχισε κατά τη δεκαετία του 1990 και συνεχίζεται ως τις μέρες μας με αμείωτους ρυθμούς καινοτομίας και εξέλιξης, με σκοπό τη διασκέδαση και το κέρδος. Τα βιντεοπαιχνίδια, γρήγορα, εκτός από το περιβάλλον εικονικής (και επαυξημένης) πραγματικότητας, ενσωμάτωσαν τεχνολογίες κίνησης με 3, 6 και 9 βαθμούς ελευθερίας, μέσω εξελεγμένων καμπίνων, αλλά και διατάξεων προβολής κεφαλής (head set with head up display - HUD) που προσομοίωναν κάθε λογής εξωτερικό ερέθισμα με σκοπό την ολοένα και μεγαλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας μέσω της εμπύθισης σε ένα εικονικό περιβάλλον. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται αυτή η εξέλιξη όσον αφορά στους προσομοιωτές οδήγησης και στις πλατφόρμες (και τα συστήματα) βιντεοπαιχνιδιών με προσομοίωση κίνησης και άλλων εξωτερικών ερεθισμάτων.

Σήμερα, η εμπειρία διακυβέρνησης ενός αεροσκάφους της πολιτικής ή / και της πολεμικής αεροπορίας είναι δυνατό να αποκομιστεί σε διάφορα κέντρα και εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο, ακόμη και στην Ελλάδα. Η συνήθης πρακτική είναι να προσομοιώνεται η πτήση διαφόρων ειδών και τύπων αεροσκαφών είτε με εκπαιδευτικό σκοπό είτε και για ψυχαγωγικούς λόγους. Πιο συγκεκριμένα, στην Αθήνα, αλλά (προσεχώς) και στη Θεσσαλονίκη, βρίσκεται σε λειτουργία πρότυπο κέντρο εμπειρίας πτήσης και μάλιστα διακυβέρνησης πολιτικού αεροσκάφους της AIRBUS (A320) και πολεμικού αεροσκάφους F-16 Falcon, πάντα παρουσίαση έμπειρου πιλότου – καθοδηγητή και εξεταστή, με πιστοποίηση καλής χρήσης του προσομοιωτή ανάλογα και με τις ώρες εξάσκησης (πτήσης) του ενδιαφερόμενου. Η εμπειρία είναι πολύ κοντά στην πραγματικότητα, αφού εκτός από το προηγμένο σύστημα κίνησης 6 βαθμών ελευθερίας, γίνεται χρήση πραγματικής καμπίνας και χειριστηρίων των αεροσκαφών. Για την πιο ολοκληρωμένη εμπειρία, διατίθεται επίσης και προσομοιωτής αγωνιστικού αυτοκινήτου της Formula 1 (F1) της Ferrari, με πραγματικό σε μέγεθος όχημα και 4 βαθμούς ελευθερίας κίνησης, ο οποίος μεταφέρει και Gs της διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης / επιβράδυνσης στο χρήστη – χειριστή. Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται οι προσομοιωτές οδήγησης, καθώς και οι πλατφόρμες κίνησης που εξελίχθηκαν βάσει της τεχνολογίας που αποκτήθηκε μέσω της ανάπτυξης των προσομοιωτών πτήσης.

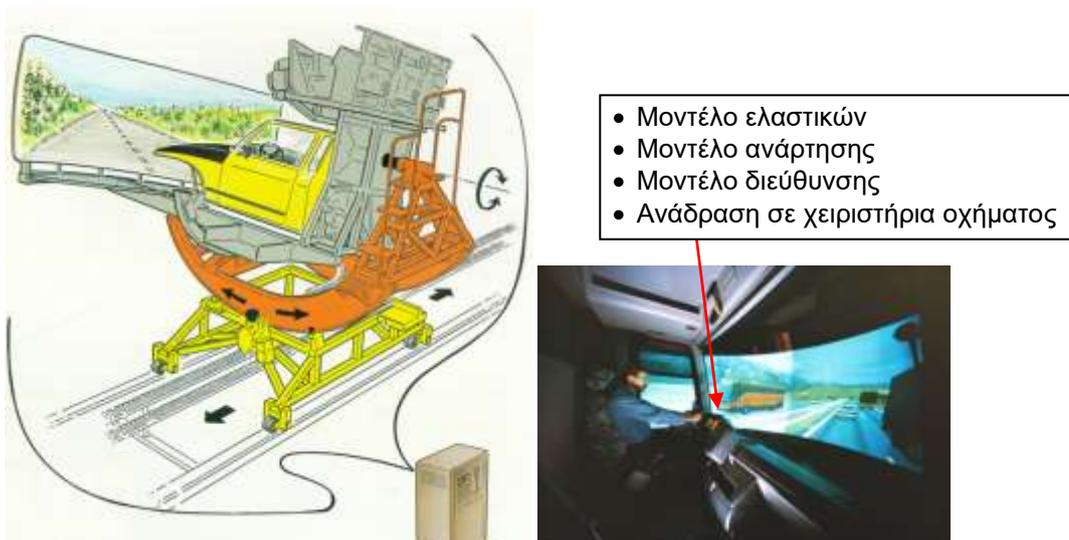
## **2.2. Πλατφόρμες κίνησης - Προσομοιωτές οδήγησης**

Μια πλατφόρμα κίνησης είναι ένας μηχανισμός που δημιουργεί στο χρήστη (ανθρώπινο σώμα) την αίσθηση και τα συναισθήματα ότι βρίσκεται σε πραγματικό περιβάλλον κίνησης είτε αυτόνομα (π.χ. πεζή) είτε ως επιβαίνων σε μέσο μεταφοράς. Προσομοιωτής οδήγησης είναι ένα τεχνικό σύστημα που προσομοιώνει τη λειτουργία ενός οχήματος και το σχετικό κυκλοφοριακό περιβάλλον. Η

πιστότητα της προσομοίωσης μπορεί να διαφέρει σημαντικά αναλόγως του σκοπού της χρήσης του προσομοιωτή. Αντίστοιχα διαφέρουν και τα τεχνικά χαρακτηριστικά και το κόστος του. Πάντως, σε κάθε περίπτωση, ένας προσομοιωτής οδήγησης πρέπει να αποτελείται κατ'ελάχιστο από τα παρακάτω μέρη:

- Σύστημα οπτικής απεικόνισης σεναρίων κυκλοφορίας ή κίνησης.
- Σύστημα χειρισμού αυτοκινήτου (τιμόνι και ποδομοχλοί, ταχύτητες).
- Διαδραστικό μοντέλο συμπεριφοράς αυτοκινήτου που βασίζεται επί μοντέλου ελέγχου πραγματικού αυτοκινήτου - Δυναμικό μοντέλο πραγματικού οχήματος και σύστημα ανάδρασης του οχήματος προς τον οδηγό.
- Σύστημα ηχητικής απεικόνισης σεναρίων κυκλοφορίας - Σύστημα ήχου που προσομοιώνει τον ήχο της μηχανής, του ανέμου και άλλους κύριους ήχους του κυκλοφορικού περιβάλλοντος.
- Θέση οδήγησης (οικονομική λύση) – Ιδανικά, πλήρες όχημα ή μέρη αυτού / τμήμα αυτοκινήτου (π.χ. μόνο εμπρόσθιο τμήμα).
- Σύστημα κίνησης (προαιρετικό) του οχήματος ή μέρους αυτού ή της θέσης οδήγησης (κατ'ελάχιστον σύστημα προσομοίωσης κραδασμών απ' το δρόμο, άλλως δεν παρέχεται αίσθηση οδήγησης αλλά πτήσης).

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η κίνηση συγχρονίζεται με μια οπτική απεικόνιση της σκηνής του εξωτερικού κόσμου. Οι πλατφόρμες κίνησης και οι προσομοιωτές οδήγησης μπορούν να παρέχουν κίνηση σε έναν ή περισσότερους άξονες π.χ. Χ, Ψ, Ζ οπότε χαρακτηρίζονται από έναν, δύο τρεις (γραμμικούς) βαθμούς ελευθερίας αντίστοιχα, οι οποίοι αντιστοιχούν στις βασικές κινήσεις. Επιπλέον, ενδέχεται να παρέχουν και δυνατότητα περιστροφής στους άξονες αυτούς οπότε προστίθενται μέχρι και άλλοι τρεις (περιστροφικοί αυτή τη φορά) βαθμοί ελευθερίας, φτάνοντας **κατά ανώτατο όριο τους 6**. Σήμερα, προσομοιώνοντας δονήσεις (π.χ. από ανώμαλο έδαφος ή λειτουργία μηχανημάτων έργου), βύθιση (π.χ. από φρενάρισμα οχήματος) και άλλες πιο εξειδικευμένες κινήσεις, τα συστήματα φτάνουν έως και τους 9 ή και 10 βαθμούς ελευθερίας, οπότε οι χρήστες είναι σε θέση να βιώσουν ένα αντικείμενο που είναι ελεύθερο να μετακινηθεί, όπως οποιοδήποτε όχημα, μηχανήμα έργου, αεροσκάφος ή διαστημικό σκάφος.



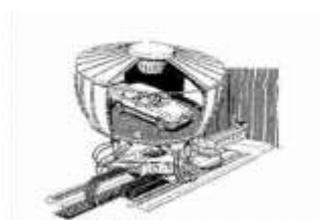
Εικόνα 2: Εφαρμογή διαδραστικού μοντέλου κίνησης σε προσομοιωτή

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι προσομοιωτές που χρησιμοποιούνται για διασκέδαση από τη βιομηχανία θεάματος είναι συχνά και οι πιο ακριβοί, αφού απαιτούν υψηλή πιστότητα απόδοσης. Ακολουθούνται σε τεχνικές προδιαγραφές και κόστος από τους ερευνητικούς προσομοιωτές για μελέτη της συμπεριφοράς του οδηγού. Αντίθετα, οι εκπαιδευτικοί προσομοιωτές δεν έχουν τόσο υψηλές απαιτήσεις πιστότητας, χρησιμοποιούνται για εξάσκηση σε συγκεκριμένα σενάρια πολλά εκ των οποίων δε δύνανται να διδαχθούν στο δρόμο, για λόγους οδικής ασφάλειας ή γιατί έχουν ανάγκη συγκεκριμένες οδικές ή περιβαλλοντικές συνθήκες που πρέπει να παραμείνουν σταθερές για κάθε δοκιμή για κάθε χρήστη ώστε να είναι πιο αντιπροσωπευτική η αξιολόγηση.

Στο πλαίσιο του έργου Activator, ο προσομοιωτής που θα αναπτυχθεί δεν περιορίζεται ως προς τη χρήση του (π.χ. οδήγηση), αλλά θα χρησιμοποιηθεί ως μέσο προβολής τεχνολογικών και πολιτιστικών επιτευγμάτων και εκθεμάτων, στο πλαίσιο της δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος και μια προηγμένης υπηρεσίας. Έτσι, ο χρήστης, μέσω βιωματικής εμπειρίας και με τη βοήθεια προηγμένου τεχνολογικού εξοπλισμού και της εικονικής πραγματικότητας θα είναι σε θέση να απολαμβάνει ένα πραγματικό ταξίδι στον κόσμο της επιστήμης, της γνώσης και του πολιτισμού της αρχαίας Ελλάδας, μέσα από την προβολή ρεαλιστικών εικόνων.

### 2.2.1 Ερευνητικοί προσομοιωτές οδήγησης

Οι συγκεκριμένοι προσομοιωτές αποτελούν κυρίως μεγάλες εγκαταστάσεις που βρίσκονται εντός ερευνητικών φορέων και στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει εμπλοκή ή / και συνεργασία με αυτοκινητοβιομηχανία με σκοπό την εξέλιξη συστημάτων και οχημάτων βάσει των πιλοτικών δοκιμών που διεξάγονται για ερευνητικούς σκοπούς. Τα παρακάτω σχήματα παρουσιάζουν τρεις ερευνητικούς προσομοιωτές οδήγησης: του VTI στη Σουηδία, της Daimler Chrysler στη Γερμανία και του NADS στις ΗΠΑ.



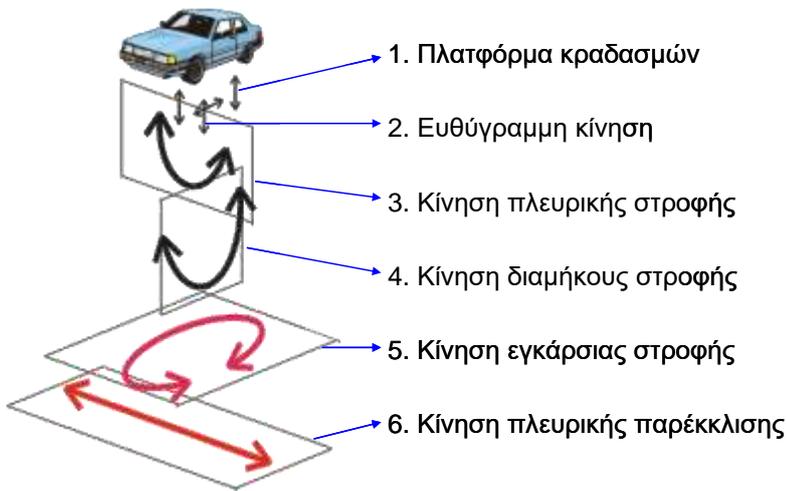
Εικόνα 3: Ο προσομοιωτής του VTI στη Σουηδία.

Εικόνα 4: Ο προσομοιωτής της Daimler Chrysler στη Γερμανία.

Εικόνα 5: Ο προσομοιωτής NADS στις ΗΠΑ.

Και οι τρεις υποστηρίζουν πεδίο όρασης 360°, διαθέτουν πολύπλοκο και πολυδιάστατο σύστημα κίνησης, ενώ απαιτούν πολύ μεγάλο χώρο για την πλήρη εγκατάσταση και λειτουργία τους. Οι χαρακτηριστικές κινήσεις του προσομοιωτή του VTI αναλύονται περαιτέρω στο σχήμα που ακολουθεί (Εικόνα 6).

Η παράθεση των κινήσεων αυτών είναι σημαντική και αναγκαία, αφού αυτήν πρόκειται να ακολουθήσει το μοντέλο της ανάπτυξης της πλατφόρμας για το έργο Activator, το οποίο θα κινηθεί μεταξύ 3 και 6 βαθμών ελευθερίας (DOF).



Εικόνα 6: Οι βαθμοί ελευθερίας (DOF) του συστήματος κίνησης του ερευνητικού προσομοιωτή οδήγησης του VTI στο Linköping της Σουηδίας.

## 2.2.2 Εκπαιδευτικοί προσομοιωτές οδήγησης

Όσον αφορά στους (εκπαιδευτικούς) προσομοιωτές θέσης οδήγησης, τη μεγαλύτερη εμπειρία, αλλά και αντίστοιχο εξοπλισμό στη Ν. Α. Ευρώπη και στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων, διαθέτει η εταιρεία Smart Drive Ltd. Η Smart Drive είναι η μοναδική επιχείρηση στα Βαλκάνια, η οποία ασχολείται αποκλειστικά με θέματα virtual driving σε ελαφρά οχήματα, λεωφορεία, φορητά και μηχανήματα έργων, έχοντας αναπτύξει τεχνογνωσία που της επιτρέπει να εμπλέκεται στο στρατηγικό σχεδιασμό νέων μοντέλων προσομοιωτών, υποσυστημάτων αυτών (hardware) και λογισμικού (software) με σενάρια για διάφορες κατηγορίες χρηστών της οδού ή/και εκτός οδού (μηχανήματα έργων). Η Smart Drive είναι ο αποκλειστικός αντιπρόσωπος των εκπαιδευτικών προσομοιωτών Foerst GmbH διαθέτοντας πάνω από 10 μοντέλα προσομοιωτών σε 25 διαμορφώσεις, προσομοιωτές επιβατικών οχημάτων, καθώς και φορητών και λεωφορείων όλων των τύπων απαρτίζουν την γκάμα των προσομοιωτών του παραπάνω κατασκευαστή. Επίσης είναι ο εξουσιοδοτημένος διανομέας των Καναδικών προσομοιωτών μηχανημάτων έργων Simlog Inc. Προσομοιωτές περνοφόρου ανυψωτικού, φορτωτή/εσκαφέα (JCB), υδραυλικού εκσκαφέα, προωθητή γαιών, φορτωτή, αυτοκινούμενου κινητού γερανού, οικοδομικού γερανού, φορητού ορυχείου, φορητού εργοταξίου, καθώς και άλλων 5 τύπων μηχανημάτων έργου απαρτίζουν τη γκάμα του Καναδού κατασκευαστή.



Εικόνα 7: Ενδεικτικός εξοπλισμός προσομοιωτών θέσης της εταιρείας Smart Drive Ltd (πηγή: <http://www.smartdriveld.com/>)

Όσον αφορά στους προσομοιωτές θέσης, αλλά και σε άλλα εργαλεία βιωματικής εκπαίδευσης, η εταιρεία Smart Drive Ltd διαθέτει πλούσιο εξοπλισμό όσον αφορά σε συστήματα θέασης, συστήματα προσομοίωσης κινήσεων, αναταράξεων και δονήσεων κατά την ανατροπή του οχήματος, την οδήγηση υπό μέθη ή / και χρήση ουσιών, για τη χρήση ζώνης ασφαλείας κτλ.



Εικόνα 8: Ενδεικτικός εξοπλισμός προσομοιωτών και βιωματικών εργαλείων εκπαίδευσης και έρευνας πάνω στην οδική ασφάλεια της εταιρείας Smart Drive Ltd (πηγή: <http://www.smartdrivelt.com/>)

Συγκεκριμένα, παρέχει εξοπλισμό και λογισμικό αποτροπής επικίνδυνων συμπεριφορών κατά τη διάρκεια της οδήγησης (χρήση αλκοόλ, ακατάλληλη ταχύτητα κίνησης, απόσπαση προσοχής) ως εξουσιοδοτημένος διανομέας της INNCO Systems GmbH η οποία κατασκευάζει συσκευές μέτρησης χρόνου αντίδρασης και άλλου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και της Drunk Busters of America LLC η οποία παράγει πέντε είδη γυαλιών προσομοίωσης χρήσης αλκοόλ (για διαφορετικό βαθμό αλκοόλ στο αίμα), γυαλιά προσομοίωσης κάνναβης (μαριχουάνας), γυαλιά προσομοίωσης χρήσης ναρκωτικών ουσιών και γυαλιά προσομοίωσης κούρασης/υπνηλίας (Εικόνα 28).

Ταυτόχρονα δραστηριοποιείται στο άμεσα συγγενικό πεδίο των διαδραστικών μηχανημάτων που προτρέπουν για τη χρήση της ζώνης ασφαλείας, όπως είναι οι προσομοιωτές ολίσθησης (collision sleigh simulators) και οι προσομοιωτές ανατροπής (roll over car simulators) έχοντας αποκτήσει την τεχνογνωσία για την κατασκευή τέτοιων μηχανημάτων τα οποία ανήκουν στα πρωτοπόρα στην κατηγορία τους στην Ευρώπη από άποψη τεχνικών χαρακτηριστικών συνολικά. Η αντιπροσώπευση των παραπάνω καλύπτει διάφορες χώρες της ΝΑ Ευρώπης όπως Βουλγαρία, Ελλάδα, Τουρκία, Αλβανία, Δημοκρατία της Βόρειας Μακεδονίας και Κύπρο. Επί παραδείγματι, η αναβάθμιση των συστημάτων προσομοίωσης του IMET / ΕΚΕΤΑ που προαναφέρθηκαν γίνεται μέσω της εταιρείας Smart Drive ltd.

### Προσομοιωτές καμπίνας οδήγησης

Κάποιοι προσομοιωτές χρησιμοποιούν αντί για θέση μία καμπίνα οδήγησης, ώστε ο οδηγός να είναι πιο απερίσπαστος και να έχει πιο έντονη την αίσθηση ότι βρίσκεται εντός αυτοκινήτου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων προσομοιωτών ακολουθούν παρακάτω:



Εικόνα 9: Προσομοιωτής Simler S-200 της Tecniduplo Πορτογαλίας.



Εικόνα 10: Προσομοιωτής F210RMR και F230RMR της Faros Γαλλίας.



Εικόνα 11: Δυναμικός προσομοιωτής καμπίνας της Honda Ιαπωνίας.

Οι προσομοιωτές αυτοί έχουν συνήθως δυσχέρεια στην επεκτασιμότητα, υψηλότερο κόστος σε περίπτωση κίνησης (πρέπει να μετακινηθεί ολόκληρη η καμπίνα ενώ δεν επιτρέπεται μετακίνηση της οθόνης) και αποτελούν ένα αφύσικο υβρίδιο μεταξύ θέσης οδήγησης και πραγματικού αυτοκινήτου. Μολαταύτα, στην περίπτωση του έργου ActiVator, η σταθερή καμπίνα εξυπηρετεί άριστα τις ανάγκες του έργου, καθώς πρόκειται να τοποθετηθεί μόνιμα στις εγκαταστάσεις του ΝΟΗΣΙΣ με σκοπό να παρουσιάζονται τεχνολογικά εκθέματα μέσω της ολοκληρωμένης 4D πλατφόρμας που θα αναπτυχθεί στο πλαίσιο του έργου.

### Προσομοιωτές εικονικής πραγματικότητας

Η εικονική πραγματικότητα αποτελεί το παρόν και το μέλλον της προσομοίωσης αφού συνδυάζει την υψηλή ποιότητα με την ταχεία εφαρμογή, την ευχερέστατη επεκτασιμότητα και τη δυνατότητα υποστήριξης πεδίου όρασης 360°. Οι εκπαιδευτικοί προσομοιωτές εικονικής πραγματικότητας διαχωρίζονται σε τρία επίπεδα, ανάλογα με τον βαθμό πιστότητάς τους και παρουσίας στοιχείων εικονικής πραγματικότητας και τα αντίστοιχα επίπεδα τεχνικής πολυπλοκότητας. Τα επίπεδα αυτά είναι:

- Επίπεδο 1: Σύστημα χωρίς ανάδραση.
- Επίπεδο 2: Σύστημα με ανάδραση.
- Επίπεδο 3: Πλήρως εικονικό σύστημα.

Στο πλαίσιο του έργου ο προσομοιωτής οδήγησης πρόκειται μέσω της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, καθώς και άλλων βιωματικών εργαλείων και σχετικού εξοπλισμού του ΝΟΗΣΙΣ, να αναπαράγει πραγματικές εικόνες οπότε ο χρήστης, μέσα από την κλασσική διαδικασία οδήγησης να έχει τη δυνατότητα να ταξιδεύει υπό τη μορφή βιωματικής εμπειρίας στην ιστορία και τον πολιτισμό της Ελλάδας, εμπλουτίζοντας και διευρύνοντας τόσο το γνωστικό του πεδίο όσο και το επίπεδο ικανοτήτων του στην οδήγηση, την οδική συμπεριφορά, την ασφάλεια κατά τη μετακίνηση (γενικά), το αίσθημα βιώσιμης κινητικότητας και την οικολογική – οικονομική συνείδηση. Προς αυτή την κατεύθυνση, παρακάτω παρατίθεται σχετικό παράδειγμα προσομοιωτή εικονικής πραγματικότητας.



Εικόνα 12: Προσομοιωτής εικονικής πραγματικότητας DS-100 της CGSD ΗΠΑ.

Ο DS-100 είναι ένας προσομοιωτής οδήγησης εικονικής πραγματικότητας στον οποίο τα γραφικά που αναπαράγονται από τον υπολογιστή προβάλλονται σε μια διάφανη οθόνη που στηρίζεται στο κεφάλι (HMD), σε μια φωτεινή εικόνα πάνω σε μια μαύρη επιφάνεια. Το εσωτερικό του αυτοκινήτου, συμπεριλαμβανομένων της κεντρικής κονσόλας, των χειριστηρίων, του κεντρικού καθρέφτη και του μπροστινού καθίσματος του επιβάτη, μπορούν να προβληθούν στην οθόνη. Τα χέρια του οδηγού και τα αληθινά χειριστήρια (όπως το τιμόνι, ο μοχλός των ταχυτήτων και κάποια χειριστήρια) φαίνονται πίσω από την προβαλλόμενη εικόνα και κατά συνέπεια δεν προβάλλονται στην εικόνα που αναπαράγει ο υπολογιστής.

### Διαδραστικοί προσομοιωτές

Προσομοιωτές οποιωνδήποτε από τους παραπάνω τύπους μπορεί να γίνουν διαδραστικοί, εφόσον ένας δεύτερος οδηγός (συνήθως ο εκπαιδευτής οδήγησης) μπορεί να συμμετέχει στα εκπαιδευτικά σενάρια, οδηγώντας ένα άλλο όχημα ή επηρεάζοντας την κίνηση διαφόρων οχημάτων επί της οδού. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας διάταξης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 13: Διαδραστικός προσομοιωτής STISIM της STI (ΗΠΑ).

Φυσικά, σε μία τέτοια περίπτωση το κόστος αυξάνει, αφού στην πραγματικότητα πρόκειται για δύο συνδυασμένους προσομοιωτές. Βέβαια αυτός που χειρίζεται ο εκπαιδευτής οδήγησης δε χρειάζεται να είναι υψηλής πιστότητας, αφού χρησιμοποιείται μόνο για τον έλεγχο του σεναρίου και τη δημιουργία διαδραστικών σεναρίων στον εκπαιδευόμενο. Πάντως, το κέρδος από τη διαδραστικότητα και την ευχέρεια στη δημιουργία ποικιλίας σεναρίων δικαιολογεί απόλυτα την πρόσθετη δαπάνη, αν αυτή είναι εφικτή.

### *2.2.3 Προηγμένα συστήματα προσομοίωσης εικονικών κόσμων και πλατφόρμες κίνησης*

Η σύγχρονη τεχνολογικά προηγμένη εποχή μας παρέχει περισσότερες δυνατότητες από ό, τι θα μπορούσαμε να φανταστούμε μόλις πριν από μερικές δεκαετίες. Η εισαγωγή της τεχνητής νοημοσύνης και της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας στη ζωή μας άλλαξε την αντίληψη του κόσμου. Δεν χρειάζεται πλέον να ταξιδεύει κανείς σε μεγάλες αποστάσεις για να επισκεφθεί μια συναυλία ή ένα συγκεκριμένο τουριστικό αξιοθέατο, καθώς οι εταιρείες διαθέτουν εικονικές περιηγήσεις για αυτά τα μέρη. Μπορείτε να απολαύσετε τα πάντα στο σπίτι, καθισμένοι άνετα στον καναπέ σας. Δεν υπάρχει ανάγκη κατασκευής πρωτότυπων μηχανημάτων υψηλού κόστους όπως και διαφόρων χρονοβόρων μηχανών. Οι πλατφόρμες κίνησης συμβάλλουν στη διευκόλυνση, ταχύτερη και φθηνότερη διαδικασία, ενώ οι γραμμικοί ενεργοποιητές για έναν προσομοιωτή κίνησης συνεπικουρούν απλώς σε αυτή την απλότητα, δίνοντας στον χρήστη πολλές νέες εναλλακτικές δυνατότητες.

Μια πλατφόρμα κίνησης είναι μια τεχνική συσκευή που συμβάλλει στην προσομοίωση διαδικασιών συνδυάζοντάς τις με τον έξω κόσμο. Η πλατφόρμα επιτρέπει την κίνηση σε τουλάχιστον 3 αν όχι και στους έξι βαθμούς ελευθερίας (DOF). Οι έξι βαθμοί περιλαμβάνουν τρεις γραμμικούς βαθμούς (ανύψωση, κλίση και κύμα) και περιστροφικούς βαθμούς (κύλινδρος, στροφή και κλίση). Η

δημιουργία της πρώτης πλατφόρμας κίνησης χρονολογείται από το 1910 και ήταν μοντέλο αεροσκάφους. Εκείνη την εποχή, το μοντέλο περιελάμβανε μόνο περιστροφική κίνηση και χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση πιλότων.

Οι πλατφόρμες έχουν σήμερα 6 βύσματα που επιτρέπουν την κίνηση 6 βαθμών ελευθερίας. Το ανθρώπινο σώμα είναι σε θέση να πάρει διάφορα σήματα του γύρω κόσμου. Η προσομοίωση παρέχει τα απαιτούμενα σήματα που συγχρονίζονται με τον πραγματικό κόσμο και βοηθούν τον χρήστη να προσαρμοστεί στη νέα κατάσταση. Ο γραμμικός ενεργοποιητής για πλατφόρμα κίνησης βοηθά στη δημιουργία γραμμικής κίνησης για τη βελτίωση της διαδικασίας προσομοίωσης. Η ανάπτυξη της διαδικασίας προσομοίωσης συνδέεται στενά με την τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας (AG), καθώς χρησιμοποιεί την AG ως βάση για την οπτική αναπαράσταση.

Οι πλατφόρμες χρησιμοποιούνται κυρίως στον τομέα των αεροσκαφών και των μεταφορών. Οι πιλότοι μπορούν να μάθουν να χειρίζονται ένα αεροσκάφος χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιούν ακριβό εξοπλισμό. Η χρήση πλατφορμών κίνησης δεν περιορίζεται σε αυτό. Χρησιμοποιούνται επίσης σε παιχνίδια για την παροχή αίσθησης παρουσίας στο παιχνίδι. Ο γραμμικός ενεργοποιητής σε πλατφόρμες κίνησης μπορεί να αντιπροσωπεύεται σε πολυάριθμους τύπους συσκευών. Για παράδειγμα, τα πεντάλ, τα τιμόνια ή τα χειριστήρια χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παιχνιδιών.

Εκτός από αυτά τα πεδία, η προσομοίωση χρησιμοποιείται επίσης από διάφορες εταιρείες σε όλο τον κόσμο για την εκπαίδευση των ειδικών τους. Αυτά περιλαμβάνουν τη χρήση από τους μηχανικούς για να ελέγξουν την απόδοση των οχημάτων, τις δοκιμές εξοπλισμού αεροσκαφών, τους κινηματογράφους 5D και πολλά άλλα, όπως την ιατρική εκπαίδευση η οποία σήμερα μπορεί να περιλαμβάνει και ορισμένες διαδικασίες προσομοίωσης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τον πρόσφατα παραγόμενο εξοπλισμό, ο οποίος βοηθά τους γιατρούς να προσαρμοστούν σε αυτό και να δοκιμάσουν την απόδοση πριν χρησιμοποιηθεί σε πραγματικές χειρουργικές επεμβάσεις.

Οι ιδιωτικοί μεγάλοι οργανισμοί κατασκευάζουν ή αγοράζουν δικούς τους προσομοιωτές για τους σκοπούς της εκπαίδευσης του προσωπικού σε συνθήκες κοντά στην πραγματικότητα. Τα πλεονεκτήματα των πλατφορμών κίνησης είναι το χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με την κατασκευή ενός πρωτοτύπου του συστήματος ή της μηχανής, η ταχύτητα της εκπαίδευσης και η ασφάλεια των χρηστών. Το τελευταίο είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό σημείο για τις βιομηχανίες αεροσκαφών και μεταφορών, καθώς μειώνει τους κινδύνους που βαρύνουν τους χρήστες κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης. Ωστόσο, οι πλατφόρμες κίνησης χαρακτηρίζονται από αδυναμία μιας τέλει μίμησης ή έστω απεικόνισης της πραγματικής ζωής, καθώς δεν μπορούν να προβλεφθούν όλες οι παρούσες συνθήκες και καταστάσεις. Υπάρχει επίσης η πιθανότητα εμφάνισης της «ασθένειας προσομοίωσης» κατά την παρατεταμένη χρήση. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να προκύψει από διάφορους παράγοντες, όπως ατομική αποδοχή, ώρες πτήσης ή φάρμακα.

Όσον αφορά στην αρχιτεκτονική και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, η κίνηση της πλατφόρμας ελέγχεται από έξι σκέλη (υποδοχές), καθένα από τα οποία έχει έναν υδραυλικό κύλινδρο με έναν αισθητήρα συνδεδεμένο σε αυτό. Οι αισθητήρες είναι υπεύθυνοι για διάφορους τύπους κίνησης. Εκτός των προαναφερθέντων, η πλατφόρμα περιλαμβάνει συστήματα οπτικής, ήχου και κίνησης ενισχύοντας την πλήρη εμπειρία.

Εκτός από τα αναφερθέντα μέρη, τα συστήματα χρειάζονται το λογισμικό που βασίζεται στην εικονική πραγματικότητα για την ίδια τη διαδικασία προσομοίωσης. Δεδομένου ότι είναι φυσικά αδύνατο να δημιουργηθούν συνθήκες όμοιες με αυτές του πραγματικού κόσμου, ορισμένες εμπειρίες επιτυγχάνονται επηρεάζοντας τις αισθήσεις ενός ανθρώπινου σώματος. Για παράδειγμα, η πτήση με σταθερή ταχύτητα σε ένα αεροσκάφος σε μια πλατφόρμα κίνησης δεν διαφέρει από την

τοποθέτηση σε μια καρέκλα. Έτσι, η μεταβολή της ταχύτητας χρησιμοποιείται για να επιτύχει το αποτέλεσμα της επιτάχυνσης.

Στην παράγραφο αυτή, γίνεται αναφορά σε μια ιδιαίτερη σειρά προσομοιωτών νέας γενιάς, όπως και σε αντίστοιχες πλατφόρμες κίνησης αυτών. Χρησιμοποιούνται από μεγάλα ερευνητικά κέντρα και την αυτοκινητοβιομηχανία. Μέσα από την προβολή τους αποδεικνύεται ότι το πρωτότυπο και εν τέλει πρότυπο μοντέλο πλατφόρμας Stewart, με το «εξάποδο» των 6 βραχιόνων ή ρομποτικών βραχιόνων ή βαθμών ελευθερίας δεν εγκαταλείπεται σχεδόν ποτέ, αφού εξασφαλίζει απρόσκοπτη κίνηση, ισορροπία, ευελιξία και αντιπροσώπευση των κινήσεων σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας, με το χειριστή να γίνεται κοινωνός μιας πραγματικά αξιόλογης βιωματικής εμπειρίας. Αυτό βέβαια, δεν αποκλείει απλούστερες κατασκευές με 3 βαθμούς ελευθερίας (τριαξονικό σύστημα συντεταγμένων) ή ακόμη και πιο πολύπλοκα συστήματα ακόμη και με 9-10 βαθμούς ελευθερίας, που χρησιμοποιούνται κυρίως στα παιχνίδια (gaming).

#### Feel Three - Virtual Reality Motion Simulator

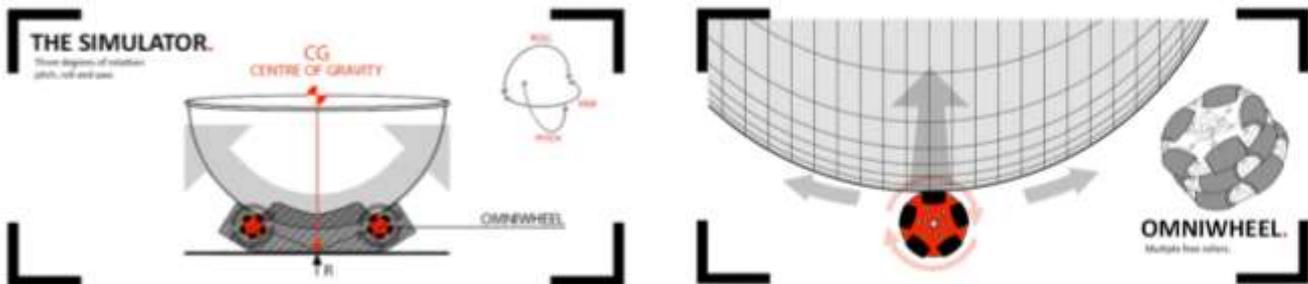
Όπως υποδηλώνει και η ονομασία του, πρόκειται για προσομοιωτή κίνησης σε τρία επίπεδα (X, Ψ, Z – 3 βαθμοί ελευθερίας), η οποία, σύμφωνα με την εταιρία παραγωγής, αποτελεί οικονομική, σειριακή και προσαρμόσιμη ανάλογα με τις ανάγκες βιώσιμη εναλλακτική λύση (Εικόνα 17).

Αυτή τη στιγμή φαίνεται να χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, με τα παιχνίδια να συγκεντρώνουν ως συνήθως το μεγαλύτερο όγκο ενδιαφερόμενων, αφού είναι δυνατή η προσομοίωση οδήγησης αγωνιστικού αυτοκινήτου ή ακόμη και μαχητικού αεροπλάνου, με χρήση διαφόρων διακοπών, μοχλών και τιμονιών.



Εικόνα 14: Feel Three - Virtual Reality Motion Simulator (πηγή: <https://www.feelthree.com>)

Η θέση προσαρμόζεται σε ειδική ημισφαιρική βάση με δυνατότητα περιστροφής προς πάσα κατεύθυνση έως και κατά 90° (συνολική περιστροφή: 360°) με τη βοήθεια ειδικών μετατροπών κίνησης αυτόνομα προς όλες τις κατευθύνσεις (σα ρουλεμάν που δουλεύουν μετακινώντας την ημικυκλική βάση προς πάσα κατεύθυνση ανάλογα με τις ανάγκες), κάνοντας χρήση προηγμένων συστημάτων με ρόδες κύλισης (τροχούς) και ειδικά μοτέρ (μικροκινητήρες). Κατά τον τρόπο αυτό, ο χρήστης του συστήματος καθίσταται ικανός να βιώσει κίνηση, επιτάχυνση / επιβράδυνση (σε g), πτώση και όλες τις δυνάμεις που ασκούνται στο κορμί του, πλησιάζοντας ένα ακόμη βήμα προς την πραγματική (ενσυν)αίσθηση. Εξάλλου, η δυνατότητα αυτή ήταν ήδη ενσωματωμένη και στον «προάγγελο» / πρόδρομο (YAW) του συστήματος που είχε 3 βαθμούς ελευθερίας κίνησης μόνο κατά τους άξονες X,Ψ,Z, στο τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων (Εικόνα 18).



Εικόνα 15: Σύστημα κίνησης Feel Three - Virtual Reality Motion Simulator (πηγή: <https://www.feelthree.com>) και «προάγγελος» αυτού με τρεις βαθμούς ελευθερίας (3 DoF)

Η θέση χειρισμού / οδήγησης / πλοήγησης είναι εργονομική και λειτουργική, υπό την έννοια ότι δύναται να προσαρμοστεί σε κάθε ανθρώπινο σωματότυπο είτε πρόκειται για ανήλικο είτε πρόκειται για ενήλικο. Ο εξοπλισμός όσο και τα συστήματα software & hardware βρίσκονται κάτω από τη θέση σε ειδικούς θαλάμους. Ως πλεονέκτημά τους και τα δύο συστήματα χαρακτηρίζονται από μικρές (compact) διαστάσεις όσον αφορά τόσο τη διάμετρο σφαίρας τους και το ύψος τους όσο και το βάρος τους. Για παράδειγμα, το YAW έχει διάμετρο μικρότερη από 75 εκατοστά και ύψος μικρότερο από 40 εκατοστά. Το βάρος του δε, είναι κάτω από 20 kg, οπότε μπορεί να μεταφερθεί εύκολα σχεδόν οπουδήποτε, ακόμη και χειροκίνητα (π.χ. ως χειραποσκευή). Επισημαίνεται ότι και τα δύο project χρηματοδοτήθηκαν ως καινοτόμα προϊόντα μέσω kickstarter, κυρίως λόγω της μεγάλης πρακτικότητάς τους, αλλά και του πλεονεκτήματος της περιστροφής τους κατά 360° προς οποιαδήποτε κατεύθυνση μέσω του μηχανισμού σφαίρας που διαθέτουν και μιας σειράς από αισθητήρες και ενεργοποιητές κίνησης που συμβάλλουν στη δυνατότητα αυτή.

Επιπλέον, απτοί μετατροπείς δύνανται να προσθέτουν δονήσεις (επιπρόσθετος βαθμός ελευθερίας στους ήδη υπάρχοντες) σε διάφορα σημεία αναλόγως περιστάσεων, με σκοπό να αυξήσουν τη «βύθιση» που αισθάνεται το ανθρώπινο σώμα απότομα και υπό προϋποθέσεις. Αυτές οι μικρές, ισχυρές συσκευές επιτρέπουν τη βιωματική εμπειρία στροφών, πτώσεων και άλλων επιπτώσεων στα πόδια, στα χέρια, την πλάτη και το στέρνο, ανάλογα με το πραγματοποιούμενο σενάριο κίνησης. Οι μοχλοί και τα διάφορα χειριστήρια (η συντριπτική

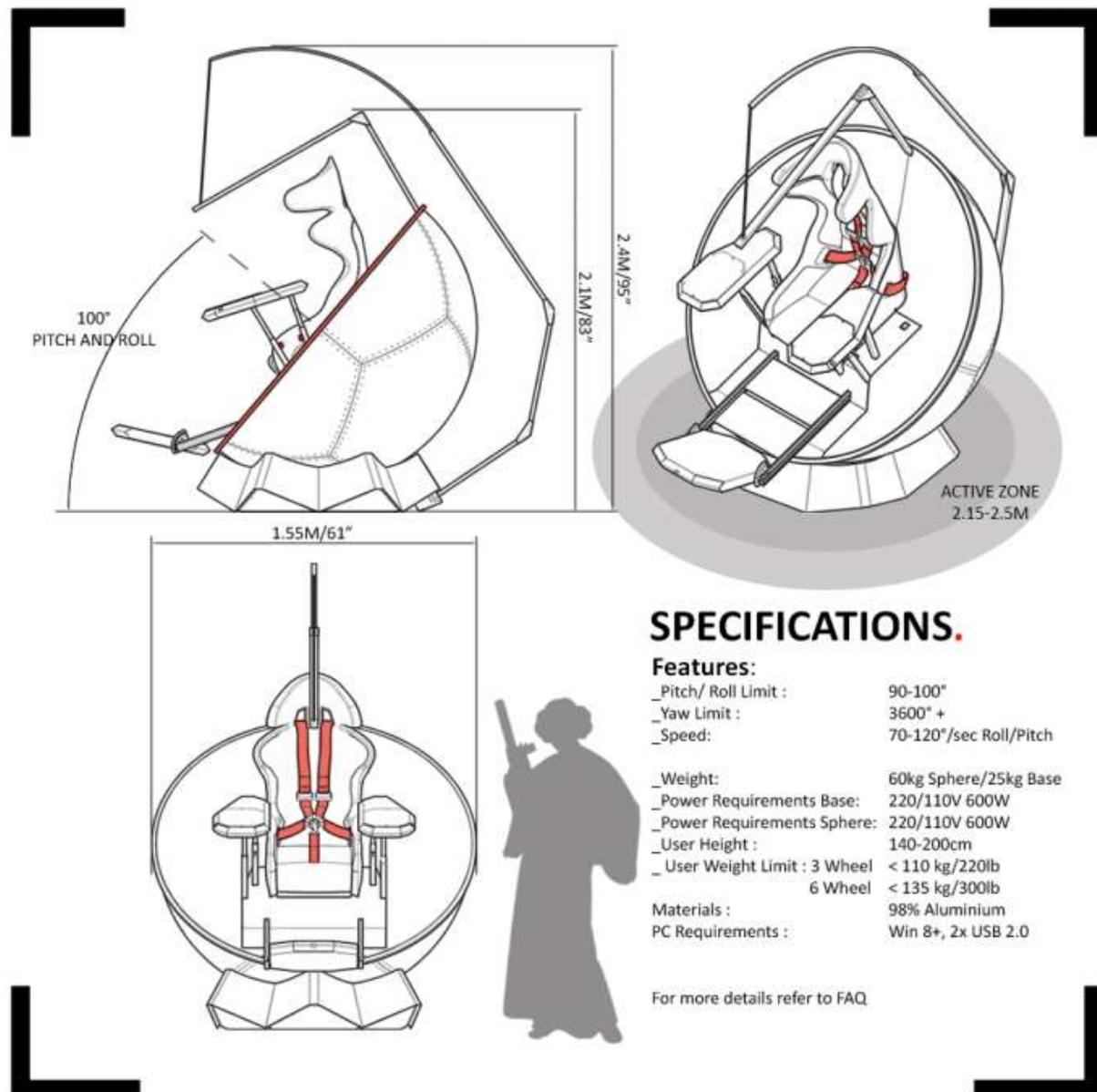
πλειοψηφία της αγοράς), είναι εύκολα προσαρμόσιμα σε ειδικό αφαιρούμενο δίσκο 22X28 εκατοστών. Δεδομένης της σειριακής λειτουργίας του, το ολοκληρωμένο σύστημα δύναται να φιλοξενήσει και επιπρόσθετες λειτουργίες, ανάλογα με το προφίλ και τις ανάγκες του χρήστη, προς την κατεύθυνση της παροχής πιο αξιόπιστων και ρεαλιστικών εξειδικευμένων και προσωποποιημένων υπηρεσιών. Έτσι, μπορούν να προσθαφαιρεθούν σενάρια και δυνατότητες από τον καθένα ξεχωριστά.

Οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν την ταχύτητα και την ένταση κάθε κίνησης / δράσης, καθώς και να καθορίζουν τα όρια για το πόσο περιστροφή θέλουν να ζήσουν. Πέρα από τη δυνατότητα να «επενδυθεί» το σκηνικό με ήχο περιμετρικά (surround), χρησιμοποιείται και ενσωματωμένος ιχνηλάτης για να προσδιορίζεται ανά πάσα στιγμή η θέση του προσομοιωτή, αλλά και για να προσθαφαιρέσουμε οποιαδήποτε κίνηση στον προσομοιωτή σύμφωνα με τις ανάγκες του πειράματος, το ερευνητικό ενδιαφέρον και τις υποδείξεις από το χρήστη. Επιπλέον, κάθε παιχνίδι, ταινία ή σενάριο, έστω και αν είναι «παρελθοντικής» παραγωγής δύναται να απεικονιστεί σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Ακόμη, εκτός από τις προκαθορισμένες (βέλτιστες) ρυθμίσεις λειτουργιών του ολοκληρωμένου συστήματος, είναι δυνατή η προσαρμογή τους ανάλογα με το προφίλ χρήστη (π.χ. αφαίρεση κίνησης σε έναν ή παραπάνω άξονες).

Τέλος, όσον αφορά στις διαστάσεις του συστήματος Virtual Reality Motion Simulator της Feel Three, σύμφωνα και με αυτά που παρουσιάζονται στην Εικόνα 44, τα τεχνικά και χωροταξικά χαρακτηριστικά συνιστούν / απαιτούν τουλάχιστον:

- 2,5 μ καθ' ύψος.
- 1,5 μ μήκος
- 2,5 μ. ως ζώνη – ακτίνα δράσης
- Ανώτατο επιτρεπόμενο βάρος χρήστη: 115 / 135 kgr (ανάλογα με την περίπτωση)

Η αλουμινοκατασκευή (κατά 98%) ζυγίζει 80 κιλά (συμπεριλαμβανομένων θέσης και βάσης), ενώ τροφοδοτείται από τάση 220V. Το λογισμικό και η κατασκευή αποτελούν προϊόντα Feel Three.



Εικόνα 16: Τεχνικά χαρακτηριστικά καμπίνων προσομοίωσης Feel Three - Virtual Reality Motion Simulator (πηγή: <https://www.feelthree.com>)

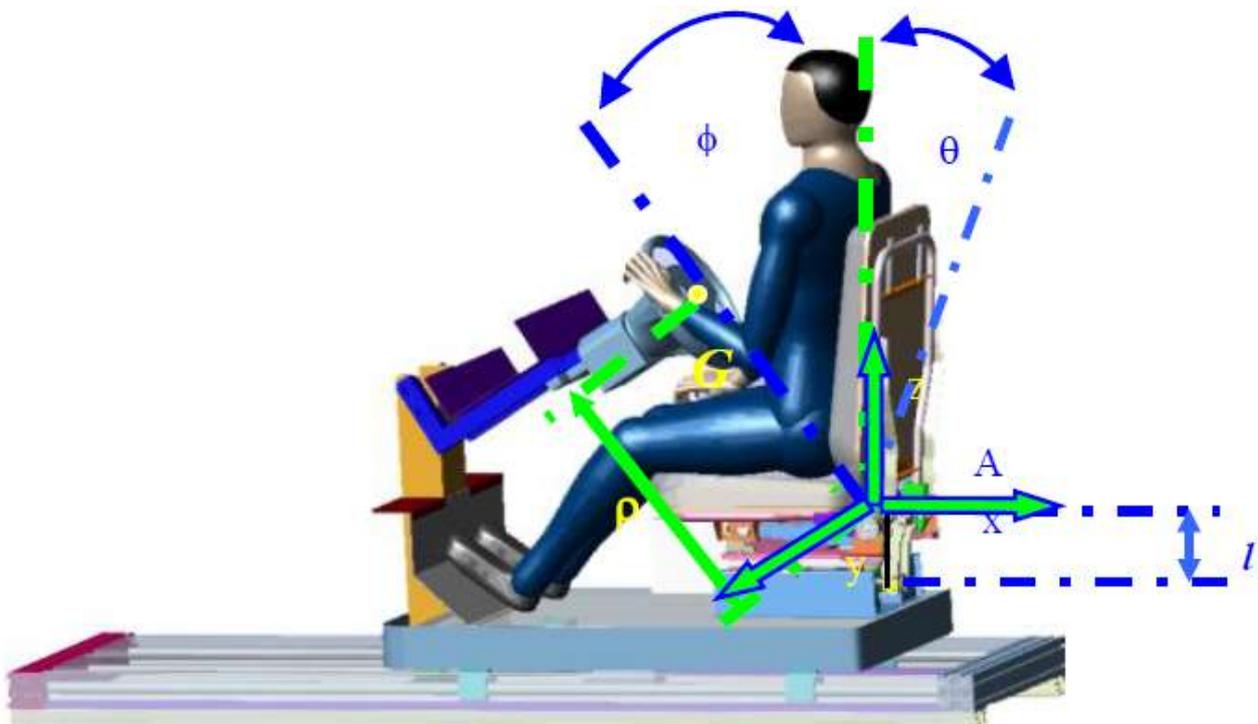
Εν τέλει, σε κάθε περίπτωση, η δόνηση, μαζί με τους 3 βαθμούς ελευθερίας, προσεγγίζει σε αξιοπιστία το προτεινόμενο – επιθυμητό σύστημα που αναπτύσσει η Smart Drive Ltd, προς την κατεύθυνση σχεδιασμού, ανάπτυξης και κατασκευής πλατφόρμας 4D, που αποτελεί και το ζητούμενο της έρευνας.

#### Low cost motion platform for driving simulator

Το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο υλοποίησης αφορά στο σχεδιασμό μίας χαμηλού κόστους πλατφόρμας κίνησης δύο βαθμών ελευθερίας, η οποία συμπεριλαμβάνει δύο ανεξάρτητα συστήματα που συνδέονται μηχανικά. Το πρώτο σύστημα αποτελείται από μηχανοκίνητη σιδηροτροχιά για τη διαμήκη κίνηση ενώ το δεύτερο αποτελείται από ένα μηχανοκίνητο κάθισμα που επιτρέπει είτε στρέφουσα κίνηση του μηχανοκίνητου καθίσματος ή απλή κίνηση του μπρος – πίσω κατά το διαμήκη άξονα.

Στο συγκεκριμένο απλοποιημένο σύστημα των 2 βαθμών ελευθερίας, γίνεται θεώρηση ότι η συνολική κατασκευή αποτελείται από δύο ανεξάρτητα συστήματα, μηχανικά συνδεδεμένα μεταξύ τους, το περιστροφικό κάθισμα οδήγησης και την πλατφόρμα διαμήκους κίνησης. Καθένα από τα επιμέρους υποσυστήματα κινητοποιείται από έναν και μόνο ενεργοποιητή. Η πλατφόρμα κίνησης υφίσταται μετατοπίσεις προς μία κατεύθυνση (εμπρός και πίσω) αντιστοιχώντας και προσομοιάζοντας την επιτάχυνση και επιβράδυνση του οδηγού. Ο σχεδιασμός του συνολικού μοντέλου του συστήματος επιτρέπει την ύπαρξη ενός απλού γραμμικού μοντέλου για την περιγραφή της κίνησης. Το μοντέλο λειτουργίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 20.

Η βάση κίνησης (υπο)στηρίζει την καμπίνα που αποτελείται από το κάθισμα, την πλατφόρμα του οχήματος και τον οδηγό. Επειδή οι περιστροφές του καθίσματος είναι αργές και χαμηλές στο πλάτος τους η προκαλούμενη αδράνεια είναι αμελητέα σε σύγκριση με το σύνολο μάζας του σετ καμπίνας. Η γραμμική κίνηση του σετ καμπίνας επιτυγχάνεται χάρη σε μηχανισμό μετάδοσης τύπου βλήματος / περικοχλίου (balls screw/nut transmission mechanism) που κινείται από έναν ενεργοποιητή συνεχούς ρεύματος. Ο συγκεκριμένος τεχνολογικός σχεδιασμός έγινε για να μειωθούν ή ακόμη και να εξαλειφθούν διάφορα μηχανικά ελαττώματα (π.χ. αντίσταση λόγω στατικής ή/και δυναμικής τριβής).



Εικόνα 17: Λειτουργία Low cost motion platform for driving simulator (πηγή: Mohellebi et al, 2004 - ICMA)

Ο μίνι προσομοιωτής που είναι τοποθετημένος στην πλατφόρμα κίνησης αποτελεί προϊόν ερευνητικών εργασιών μέσω της από κοινού συνεργασίας δύο φορέων: INRETS και Faros. Αυτός ο μίνι προσομοιωτής περιλαμβάνει εξοπλισμό που αποτελείται από ταμπλό (dashboard), ζώνη ασφαλείας, χειρόφρενο, πεντάλ επιτάχυνσης και φρένων κτλ. Το τιμόνι είναι εξοπλισμένο με απτική ανάδραση. Η απόδοση / απεικόνιση της εικονικής πραγματικότητας πραγματοποιείται σε οθόνες (μέχρι 360° ανάλογα με τη διαμόρφωση). Ο προσομοιωτής χρησιμοποιεί λογισμικό από INRETS, ενώ η κίνηση του συστήματος και η προσομοίωση διαφόρων καταστάσεων επιτυγχάνεται μέσα από σειρά μαθηματικών εξισώσεων και αλγορίθμων.

Ένας οδηγός τοποθετημένος στο τιμόνι αυτού του προσομοιωτή δύναται να καλύψει μια εικονική διαδρομή αλληλεπιδρώντας με ένα προσομοιωμένο περιβάλλον. Βάσει διαφόρων προκαθορισμένων σεναρίων, καθίσταται δυνατή η τοποθέτηση του προγράμματος οδήγησης σε προκαθορισμένο επίπεδο και αναπαράξιμες καταστάσεις. Τα δεδομένα που εμφανίζονται, διαχειρίζονται και εκτελούνται κατά τη διάρκεια της οδήγησης, αφορούν ιδιαίτερα στις κινήσεις των οδηγών, την κίνηση του εικονικού οχήματος, καθώς και τη θέση των άλλων οχημάτων.

Βάσει τεστ που πραγματοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των επιδόσεων του συστήματος της πλατφόρμας κίνησης, αποδείχτηκε ότι τόσο το μαθηματικό μοντέλο όσο και τα ηλεκτρομηχανολογικά μέρη του συστήματος λειτούργησαν με αξιοπιστία ως προς τη μετάδοση της απαραίτητης πληροφορίας στο χρήστη., επιτρέποντας στον οδηγό να νιώσει το αποτέλεσμα της εικονικής επιτάχυνσης – επιβράδυνσης του οχήματος σύμφωνα με τη διαμόρφωση των προσπαθειών που παράγονται στα πεντάλ. Συνεπώς, το συνολικό σύστημα αν και με δύο βαθμούς ελευθερίας, μαζί με την περιστρεφόμενη θέση μπορεί να προσομοιάσει την κίνηση του οχήματος προς πάσα κατεύθυνση, χρησιμοποιώντας κίνηση ουσιαστικά σε τρεις άξονες. Όμως, σε αυτή την περίπτωση, λείπει η προσομοίωση των δονήσεων εν συγκρίσει με το σύστημα της Feel Three, δεδομένου ότι το σύστημα είναι πιο απλοϊκά σχεδιασμένο.

### DOF reality platforms

Οι DOF reality εξειδικεύονται στην ανάπτυξη και κατασκευή προσομοιωτών δύο, τριών και έξι βαθμών ελευθερίας, οι οποίοι δύναται να χρησιμοποιηθούν ερασιτεχνικά π.χ. σε συνδυασμό με κάθε σύστημα διασκέδασης και παιχνιδιού, αλλά και επαγγελματικά, προσομοιάζοντας τον τρόπο και τις δυνατότητες κίνησης αυτοκινήτων, αεροσκαφών, αλλά και άλλων μηχανικών εξαρτημάτων, μηχανών και εξοπλισμού με κινητά μέρη. Συνδυάζεται με άλλα συστήματα εικόνας και ήχου, όπως και με συστήματα εικονικής πραγματικότητας αφού είναι συμβατό με Oculus Rift/Gear, HTC Vive και όλα τα μελλοντικά προϊόντα, αφού διαθέτει και δυνατότητα αναβάθμισης λογισμικού, οπότε και δυνατοτήτων και επαφής με την πραγματικότητα. Οι θέσεις (καθίσματα των καμπινών) χαρακτηρίζονται για την εύκολη προσαρμογή τους σχεδόν σε κάθε σωματότυπο, την εργονομία και



την αντοχή τους σε συνεχή χρήση / καταπόνηση (Εικόνα 21).

Εικόνα 18: Πλατφόρμες προσομοίωσης DOF reality (πηγή: <https://dofreality.com/>)

Στην πιο απλουστευμένη (και οικονομική) εκδοχή του, κινείται μόνο η καρέκλα, ενώ εξοπλισμός, πεντάλ και καμπίνα παραμένουν σταθερά ακλόνητα στην ίδια θέση. Εξυπακούεται ότι με την κατάλληλη βάση κίνησης, αλλά και συνεχείς αναβαθμίσεις (με ανάλογη επιβάρυνση για το χρήστη), η πλατφόρμα προσομοίωσης αποκτά δυνατότητες περαιτέρω κινήσεων, δόνησης, περιστροφής, οπότε τρεις έως και έξι βαθμούς ελευθερίας, παρέχοντας υψηλή αίσθηση πραγματικότητας. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αυτής είναι η συμβατότητά της με όλα τα εργαλεία, λογισμικά και συστήματα της εικονικής πραγματικότητας (υφιστάμενα και μελλοντικά μέσω της δυνατότητας συνεχούς αναβάθμισης του τελικού προϊόντος) για ερασιτεχνική (π.χ. παιχνίδια) και επαγγελματική χρήση (π.χ. προβολή τεχνολογιών, σεναρίων και ταινιών ή πολιτισμού): Google Daydream View, Samsung Gear VR, Oculus Rift, HTC Vive + Pro, and Sony PlayStation VR. Τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των διαφόρων διαθέσιμων μοντέλων, καθώς και κάποιες από τις δυνατότητές τους, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Διαφοροποιήσεις και χαρακτηριστικά διαθέσιμων μοντέλων DOF Reality

#### Models Comparison

	M52	H2	H3	H6	P2	P3	P6
Degrees of Freedom (Axis)	2 DOF	2 DOF	3 DOF	6 DOF	3 DOF	3 DOF	6 DOF
Full platform motion	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Motions Range	16°	20°	20°	17°	24°	24°	21°
Speed	60 °/s	80°/s	80 °/s	80 °/s	105 °/s	105 °/s	105 °/s
Torque	22 n/m	25 n/m	25 n/m	25 n/m	28 n/m	28 n/m	28 n/m
Power (peak)	700 W	1000 W	1300 W	2200 W	1100 W	1400 W	2400 W
Floor Foot print	1x2x1 ft	3x5x2 ft	3x5x2 ft	4x5x2 ft	3x5x2 ft	3x5x2 ft	4x5x2 ft
Net weight	240 lbs / 110 kg	330 lbs / 150 kg					
Upgradable	No	H3, H6	H6		P2, P6	P6	

Τέλος, όσον αφορά στην ηχητική όχληση, αυτή κυμαίνεται στα ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα των 20dBA (χαρακτηριστικός θόρυβος από τα ανεμιστηράκια), που κατατάσσει το συνολικό προϊόν στα ιδιαίτερα «ήσυχα» συστήματα.

### 2.3. Εργαλεία σχεδιασμού και πλατφόρμες βιντεοπαιχνιδιών

Το ολοκληρωμένο σύστημα που πρόκειται να κατασκευαστεί από την εταιρεία Smart Drive Ltd αποτελείται από software και hardware. Προκειμένου να δημιουργηθεί κάτι προηγμένο και συγχρόνως ελκυστικό προς το χρήστη (με έμφαση στο νεανικό κοινό), η εταιρεία Smart Drive Ltd προσανατόλισε την έρευνά της προς τη «βιομηχανία» παιχνιδιών (gaming & game platforms), καθώς εκεί παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες ανάγκες για συνεχή βελτιστοποίηση και αναβάθμιση των σχετικών συστημάτων. Τα πιο δημοφιλή εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται κατά το σχεδιασμό καμπίνων και μηχανών οπτικοακουστικής προβολής με χρήση πολυμέσων και τεχνολογίες αισθητήρων και ενεργοποιητών για την κίνηση πλατφόρμας 3D και 4D, είναι τα Unity και Unreal.

Συγκρίνοντάς τα μεταξύ τους είναι καταρχήν σα να συγκρίνουμε ομοειδή εργαλεία (tools), τα οποία θα έλεγε κανείς ότι δεν είναι ακριβώς ανταγωνιστικά μεταξύ τους, αλλά διαφέρουν ως προς τις δυνατότητες, τις επιλογές και τον απαιτούμενο χρόνο που θα πρέπει να αφιερωθεί στην εργασία προκειμένου να σχεδιαστεί το τελικό προϊόν. Έτσι, ανά τομέα, επιχειρείται παρακάτω να αναφερθούν κάποια διαφορετικά χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του ενός έναντι του άλλου.

Όσον αφορά στην ισχύ και τη χρηστικότητα, το Unity αποτελεί ένα ελαφρύ plugin σύστημα για το οποίο θα πρέπει ανάλογα με την εφαρμογή – κατασκευή που θα σχεδιαστεί να αγοραστούν τα διάφορα χαρακτηριστικά (π.χ. visual scripting) που απαιτούνται να χρησιμοποιηθούν, εν αντιθέση με το πιο βαρύ και ολοκληρωμένο Unreal που τα περιέχει. Το γεγονός αυτό, προσδίδει περισσότερη απλότητα ως προς τη χρήση, ευελιξία και χρηστικότητα στο Unity, αλλά σίγουρα ένα συγκριτικό πλεονέκτημα στο Unreal, εφόσον αν πρόκειται για το σχεδιασμό ενός 3D παιχνιδιού ή μιας εφαρμογής – κατασκευής ανάλογων ή ακόμη παραπάνω απαιτήσεων (π.χ. ιδιαίτερα απαιτητικά γραφικά). Αντιθέτως, σε 2D ή πιο απλοποιημένα projects το Unity πλεονεκτεί λόγω απλότητας στη χρήση και ταχύτητας επεξεργασίας και σχεδιασμού. Σε σχέση με τη ροή εργασίας, το Unity δεν ορίζει κάποιο συγκεκριμένο τρόπο με τον οποίο γίνονται τα πράγματα, αφού δεν υπάρχει συγκεκριμένη μέθοδος προσέγγισης, γεγονός που αποτελεί ισχυρό και αδύναμο σημείο ταυτόχρονα, εν αντιθέσει με το Unreal το οποίο έχει μια προκαθορισμένη (σχεδόν αναγκαστική) ροή εργασίας, υποδεικνύοντας τις πηγές πληροφοριών. Πάντως, η τεκμηρίωση (documentation) φαίνεται να εξασφαλίζεται και από τα δύο εργαλεία.

Έτσι, αν ο στόχος είναι η ταχύτητα και ένα καλό, λειτουργικό και οικονομικό από πλευράς πόρων τελικό αποτέλεσμα, τότε το Unity υπερτερεί και είναι η προφανής επιλογή, αλλά αν υπάρχει ανάγκη προσήλωσης στη λεπτομέρεια, εξαιρετικής εμφάνισης με γραφικά υπέρ υψηλής ποιότητας και ενσωματωμένους επεξεργαστές για τα πάντα, από το τοπίο μέχρι τα σωματίδια, από το υλικό έως το animation, τη δημιουργία κινηματογραφικών καρέ, λήψεων κτλ., τότε το εργαλείο που πρέπει να χρησιμοποιηθεί είναι το Unreal, το οποίο προσφέρει εγκατεστημένα περισσότερες εφαρμογές και χαρακτηριστικά σχεδιασμού (visual scripting capture, C++, πρόσβαση στην πηγή, ανώτερης ποιότητας γραφικά κτλ.). Έτσι, από προγραμματιστικής σκοπιάς, το Unity χρησιμοποιεί C# ή Java Script ως βασική γλώσσα προγραμματισμού, λόγω ευχρηστίας, ευκολίας στη χρήση και στην εκμάθηση, ενώ το Unreal χρησιμοποιεί C++, που αποτελεί μεν ισχυρότερο κώδικα, αλλά ενέχει το ρίσκο της δυσκολίας κατά την εκμάθηση και της μεγαλύτερης σε συχνότητα επιρρέπειας σε λάθη. Μολαταύτα, το Unreal επανορθώνει παρέχοντας την εναλλακτική μιας εύχρηστης γλώσσας (scripting language) το Blueprint που περιέχει δέσμη ενεργειών που διευκολύνει προγραμματιστές και μη κατά το σχεδιασμό εφαρμογών και προγραμμάτων.

Όσον αφορά στις πλατφόρμες τις οποίες υποστηρίζουν, το Unreal υποστηρίζει ανάπτυξη εφαρμογών (και παιχνιδιών) για πλατφόρμες κινητών όπως iOS και Android, για κονσόλες όπως PS4, XBOX ONE, και Nintendo Switch, αλλά και για συστήματα που εργάζονται σε λειτουργικό περιβάλλον σταθερού (Desktop) ή φορητού (LapTop) Η/Υ, όπως Windows, Mac και Linux. Επιπλέον, υποστηρίζει πλατφόρμες εικονικής πραγματικότητας (VR platforms), όπως Oculus, SteamVR, PSVR, Google Daydream και Samsung Gear VR. Από την άλλη, το Unity, όχι μόνο υποστηρίζει τις πλατφόρμες αυτές, αλλά και πλατφόρμες έξυπνης τηλεθέασης και τηλεόρασης (smart TV platforms), όπως Android TV και Samsung Smart TV, αλλά και πλατφόρμες επταυξημένης πραγματικότητας (augmented reality platforms), όπως Apple ARKit και Google ARCore. Βάσει εμπειρίας, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το Unity δεν υποστηρίζει μόνο περισσότερες πλατφόρμες εν συγκρίσει με το Unreal, αλλά συνήθως αποτελεί τον πρωτεργάτη και πρωτοπόρο όσον αφορά στα ζητήματα εξασφάλισης προσβασιμότητας με καινούριες και πρωτοεμφανιζόμενες πλατφόρμες.

Μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες παγκοσμίως είναι αυτή των βιντεοπαιχνιδιών. Σήμερα τα βιντεοπαιχνίδια αποτελούν παγκόσμια βιομηχανία με μερίδιο αγοράς που φτάνει τα 100 δισεκατομμύρια δολάρια, ενώ είναι χαρακτηριστικό ότι σχεδόν τα δύο τρίτα των αμερικανικών σπιτιών έχουν μέλη νοικοκυριού που παίζουν τακτικά βιντεοπαιχνίδια. Τα βιντεοπαιχνίδια υπάρχουν εδώ και δεκαετίες καλύπτοντας όλο το φάσμα των πλατφορμών, από arcade συστήματα, σε κονσόλες στο σπίτι, σε φορητές κονσόλες και κινητές συσκευές και τερματικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα βιντεοπαιχνίδια βρίσκονται τεχνολογικά (software and hardware)

πιο μπροστά από τους Η/Υ. Η ιστορία τους, αν και ξεκίνησε περί τα μέσα του προηγούμενου αιώνα, περιλαμβάνει σημαντικές εξελίξεις, καινοτομίες και επιτεύγματα σε ιδιαίτερα σύντομο χρονικό διάστημα. Μάλιστα, σήμερα και από πλευράς προγραμματισμού (software) και από πλευράς εξοπλισμού και μηχανημάτων (hardware), αλλά και από πλευράς συστημάτων ή / και μηχανισμών θέασης – οπτικής απεικόνισης, δυναμικής ανάδρασης, εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας και γενικότερα προσομοίωσης, ο συγκεκριμένος τομέας χαρακτηρίζεται από ερευνητική καινοτομία, επιστημονική πρωτοπορία και επιχειρηματική και τεχνολογική αριστεία.

### Κεφάλαιο 3. Μέθοδοι Δυναμικής Ανάδρασης μέσω Αισθητήρων και Ενεργοποιητών

Η πρόσφατη εμφάνιση των τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας (VR) χαμηλού κόστους - όπως το Oculus Rift, το HTC Vive και το Sony PlayStation VR - και οι διεπαφές μικτής πραγματικότητας (MRITF - Mixed Reality Interfaces) - όπως το HoloLens - προσελκύουν την προσοχή των χρηστών και των ερευνητών, φαίνεται να είναι ο επόμενος μεγαλύτερος σταθμός στην τεχνολογική καινοτομία. Η ενισχυμένη πραγματικότητα (Augmented Reality - AR) αποτελεί μια πιο πρόσφατη τεχνολογία από την VR και παρουσιάζει ένα διεπιστημονικό πλαίσιο εφαρμογής, στο οποίο, σήμερα, η εκπαίδευση και η μάθηση φαίνεται να είναι το μεγαλύτερο πεδίο της έρευνας. Πράγματι, η AR επιτρέπει τη στήριξη της μάθησης, για παράδειγμα την αύξηση της κατανόησης του περιεχομένου και τη διατήρηση της μνήμης, καθώς και για τα κίνητρα μάθησης. Ωστόσο, αν και η VR ωφελείται από σαφείς και πιο συγκεκριμένους τομείς εφαρμογής και έρευνας, η AR εξακολουθεί να εμφανίζεται κυρίως στα επιστημονικά σενάρια.

Από τεχνολογικής άποψης, οι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε εικονικά περιβάλλοντα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία επιτυχημένων εικονικών εμπειριών. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μπορούν να διακριθούν συσκευές εισόδου και εξόδου. Οι συσκευές εισόδου είναι αυτές που επιτρέπουν στον χρήστη να επικοινωνεί με το εικονικό περιβάλλον, συμπεριλαμβάνοντας από ένα απλό χειριστήριο ή πληκτρολόγιο μέχρι ένα γάντι που επιτρέπει την καταγραφή κινήσεων των δακτύλων ή έναν ιχνηλάτη ικανό να καταγράψει στάσεις. Πιο συγκεκριμένα, το πληκτρολόγιο, το ποντίκι, το trackball και το joystick αντιπροσωπεύουν εύχρηστες συσκευές εισόδου στην επιφάνεια εργασίας, οι οποίες επιτρέπουν στο χρήστη να εκπέμπει συνεχείς και διακριτές εντολές ή κινήσεις στο περιβάλλον. Άλλες συσκευές εισόδου μπορούν να εκπροσωπούνται από συσκευές παρακολούθησης ως γάντια που ανιχνεύουν το κάμψη που συλλαμβάνουν κινήσεις του χεριού, στάσεις και χειρονομίες ή γάντια που ανιχνεύουν τις κινήσεις των δακτύλων και ιχνηλάτες που είναι σε θέση να ακολουθήσουν τις κινήσεις του χρήστη στον φυσικό κόσμο και να τις μεταφράσουν / μεταφέρουν / αποδώσουν στο εικονικό περιβάλλον.

Αντίθετα, οι συσκευές εξόδου επιτρέπουν στο χρήστη να βλέπει, να ακούει, να μυρίζει ή να αγγίζει ό, τι συμβαίνει στο εικονικό περιβάλλον. Μεταξύ των οπτικών συσκευών μπορεί να βρεθεί ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων, από το απλούστερο ή λιγότερο βυθιζόμενο (οθόνη υπολογιστή) έως το πιο βυθιζόμενο, όπως γυαλιά VR ή κράνη ή συστήματα HMD ή CAVE. Επιπλέον, τα ακουστικά, τα ηχεία, καθώς και οι απτικές συσκευές εξόδου μπορούν να τονώσουν τις αισθήσεις του σώματος παρέχοντας μια πιο πραγματική εικονική εμπειρία. Για παράδειγμα, οι απτικές συσκευές μπορούν να τονώσουν την αίσθηση αφής και τα μοντέλα δύναμης στον χρήστη.

Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) αποτελεί μια διαδραστική εμπειρία ενός πραγματικού κόσμου όπου τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου ενισχύονται από τις αντιληπτές πληροφορίες που παράγονται από υπολογιστή, μερικές φορές με πολλαπλές αισθητηριακές μεθόδους, όπως οπτικές, ακουστικές, απτικές, σωματοαισθητικές και οσφρητικές. Το AR μπορεί να οριστεί ως ένα σύστημα που πληροί τρία βασικά χαρακτηριστικά: έναν συνδυασμό πραγματικών και εικονικών κόσμων, αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο και ακριβή 3D εγγραφή εικονικών και πραγματικών αντικειμένων. Οι επικαλυπτόμενες αισθητήριες πληροφορίες μπορούν να είναι επικοινωνητικές δηλαδή προσθετικές στο φυσικό περιβάλλον ή καταστροφικές δηλαδή προκαλώντας «κάλυψη» ή μεταβολή του φυσικού περιβάλλοντος). Αυτή η εμπειρία συνδέεται απρόσκοπτα με τον φυσικό κόσμο έτσι ώστε να θεωρείται ως μια συγκλονιστική πτυχή του πραγματικού περιβάλλοντος. Με αυτόν τον τρόπο, η επαυξημένη πραγματικότητα μεταβάλλει τη συνεχή αντίληψη ενός ατόμου για ένα περιβάλλον πραγματικού κόσμου, ενώ η εικονική πραγματικότητα αντικαθιστά εντελώς το

πραγματικό περιβάλλον του χρήστη με ένα προσομοιωμένο περιβάλλον. Η επαυξημένη πραγματικότητα σχετίζεται με δύο συνώνυμους όρους: τη μεικτή πραγματικότητα και την πραγματικότητα που διαμεσολαβείται από υπολογιστή.

Η πρωταρχική αξία της επαυξημένης πραγματικότητας είναι ο τρόπος με τον οποίο τα στοιχεία του ψηφιακού κόσμου συνδυάζονται με την αντίληψη του ατόμου για τον πραγματικό κόσμο, όχι ως απλή απεικόνιση δεδομένων, αλλά με την ενσωμάτωση συναρπαστικών αισθήσεων που θεωρούνται φυσικά μέρη ενός περιβάλλοντος. Τα πρώτα λειτουργικά συστήματα AR που παρείχαν εκπληκτικές εμπειρίες ανάμεικτης πραγματικότητας για τους χρήστες επινοήθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ξεκινώντας με το σύστημα εικονικών εγκαταστάσεων που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Armstrong της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ το 1992.

Συνοψίζοντας, όσον αφορά στη διαφοροποίησή τους, στην εικονική πραγματικότητα (VR), η αντίληψη των χρηστών για την πραγματικότητα βασίζεται σε εντελώς εικονικές πληροφορίες. Στην επαυξημένη πραγματικότητα (AR) ο χρήστης διαθέτει πρόσθετες πληροφορίες που παράγονται από υπολογιστή και ενισχύουν την αντίληψή τους για την πραγματικότητα. Βάσει όλων των προαναφερθέντων, η επαυξημένη πραγματικότητα έχει εξερευνηθεί για πολλές εφαρμογές, από παιχνίδια και ψυχαγωγία έως ιατρική, εκπαίδευση και επιχειρήσεις. Οι περιοχές εφαρμογών περιλαμβάνουν την αρχαιολογία (π.χ. μέσω των εικονικών μουσείων, κάτι ανάλογο με την περίπτωση του έργου Activator, όπου θα αναπτυχθεί πλατφόρμα διαδραστικής και βιωματικής μάθησης για την προβολή του αρχαίου ελληνικού πολιτισμού και των επιστημών μέσω πρωτότυπης κατασκευής μηχανικής ανάδρασης με τη βοήθεια πλατφόρμας δυναμικής ανάδρασης με αισθητήρες και ενεργοποιητές, αλλά με εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας), την αρχιτεκτονική, το εμπόριο και την εκπαίδευση, αναφέροντας ακόμη και την ιατρική (π.χ. υποστήριξη χειρουργικών επεμβάσεων, παρέχοντας εικονικές επικαλύψεις για την καθοδήγηση των ιατρών) την αστρονομία και τη συγκόλληση.

### **3.1. Απτικά συστήματα προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας**

Η εμβάπτιση (immersion), η αλληλεπίδραση (interaction) και η φαντασία (imagination) είναι τρία χαρακτηριστικά της εικονικής πραγματικότητας (VR). Τα υπάρχοντα συστήματα VR διαθέτουν ιδιαίτερα αξιόπιστες ρεαλιστικές οπτικές και ακουστικές ανατροφοδοτήσεις (feedback), ωστόσο, όσον αφορά στο απτικό κομμάτι, μέσω του οποίου ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί τον φυσικό κόσμο μέσω άφθονων απτικών ιδιοτήτων, φαίνεται πως υπάρχει ακόμη πολύς δρόμος ώσπου να προσεγγιστούν οι αντιληπτικές προσδοκίες του μέσου χρήστη. Η απτική απεικόνιση αποτελεί διεπαφή που στοχεύει να επιτρέψει την αμφίδρομη επικοινωνία σήματος μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή, ενισχύοντας έτσι σημαντικά την εμβάπτιση και την αλληλεπίδραση των συστημάτων VR. Η απτική ανατροφοδότηση είναι απαραίτητη για την ενίσχυση της εμβάπτισης, της αλληλεπίδρασης και της φαντασίας των συστημάτων VR. Η αλληλεπίδραση μπορεί να ενισχυθεί με απτική ανατροφοδότηση καθώς οι χρήστες μπορούν να χειριστούν άμεσα εικονικά αντικείμενα και να αποκτήσουν άμεση απτική ανατροφοδότηση. Η εμβάπτιση του συστήματος VR μπορεί να βελτιωθεί όσον αφορά την παροχή πιο ρεαλιστικής αίσθησης για να μιμηθεί τη διαδικασία φυσικής αλληλεπίδρασης. Η φαντασία των χρηστών μπορεί να εμπνευστεί όταν τα απτικά μπορούν να παράσχουν περισσότερες δυνατότητες για τον χρήστη να δημιουργήσει πνευματικά ένα φανταστικό εικονικό κόσμο πέρα από τους χωρικούς και / ή χρονικούς περιορισμούς.

Η επιθυμία άμεσης επαφής και εμπειρίας εικονικών αντικειμένων οδήγησε στην ανάπτυξη των συσκευών αφής ανάδρασης, όπως οι ρομποτικοί βραχίονες, τα γάντια – χέρια, διάφορες διατάξεις για το κεφάλι (π.χ. με head up display) και το σώμα υπό μορφή φορετών συσκευών (wearables) κτλ., που αποτελούν μηχανισμούς, εργαλεία και ολοκληρωμένα κυκλώματα, τα οποία λειτουργούν και επικοινωνούν με το χρήστη – χειριστή με τη βοήθεια (πιεζοηλεκτρικών) αισθητήρων,

(πνευματικών) ενεργοποιητών και διαφόρων ειδών μετατροπών. Όσον αφορά στα απτικά συστήματα προσομοίωσης που δύνανται να χρησιμοποιηθούν στην εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα, οι χρήστες – χειριστές μπορούν καταρχήν να διακρίνουν μεταξύ της κιναισθητικής και της απτικής αντίληψης. Η φυσική αισθητική αντίληψη είναι η καταγραφή μακροσκοπικών δυνάμεων όπως το βάρος του αντικειμένου, ενώ η απτική αντίληψη περιγράφει την αίσθηση των επιφανειακών ιδιοτήτων του αντικειμένου, π.χ. η τραχύτητα. Με τη συστροφή του αντικειμένου και την αίσθηση της ακαμψίας του, εμφανίζεται ένας πολύπλοκος μηχανισμός αξιολόγησης που αντιστοιχεί στην κιναισθητική καθώς και στην απτική πληροφορία. Στην περίπτωση μηχανικώς ανομοιογενών αντικειμένων, το πρόβλημα της απεικόνισης των πληροφοριών ακαμψίας είναι πολυδιάστατο και απαιτεί εξελιγμένες τεχνικές λύσεις.

Στη φυσική μας ζωή, το απτικό κανάλι χρησιμοποιείται ευρέως, όπως η αντίληψη της δυσκαμψίας, της τραχύτητας και της θερμοκρασίας των αντικειμένων στον εξωτερικό κόσμο ή ο χειρισμός αυτών των αντικειμένων και οι εργασίες κίνησης ή ελέγχου της δύναμης όπως το πιάσιμο, το άγγιγμα ή το περπάτημα κτλ. Στον κόσμο της εικονικής πραγματικότητας, η απτική αίσθηση προκύπτει από την εικονική αλληλεπίδραση που προσπαθεί να προσομοιάσει την αίσθηση που προκύπτει από τη φυσική αλληλεπίδραση. Με την άνθηση του VR σε πολλούς τομείς όπως η ιατρική προσομοίωση, ο σχεδιασμός προϊόντων και ηλεκτρονικών παιχνιδιών, η ανάπτυξη εφαρμογών περιήγησης σε εικονικά μουσεία τεχνολογίας ή ιστορίας και αρχαιολογικούς χώρους, την τελευταία δεκαετία αναδύεται μια επείγουσα ανάγκη να βελτιωθεί ο ρεαλισμός της απτικής ανατροφοδότησης για τα συστήματα VR έτσι ώστε να επιτευχθεί ισοδύναμη αίσθηση συγκρίσιμη με την αλληλεπίδραση σε έναν φυσικό κόσμο. Προς την κατεύθυνση της επίτευξης μιας ολοκληρωμένης διασύνδεσης και αλληλεπίδρασης μεταξύ VR υψηλής πιστότητας και απτικών μέσων, τις τελευταίες 5 δεκαετίες (από το 1965 και μετά), μεγάλη πρόοδος έχει σημειωθεί όσον αφορά στην ανάπτυξη και εξέλιξη κινητήριων δυνάμεων, βασικών τεχνολογιών και τυπικών εφαρμογών, οδηγώντας σταδιακά σε καινούριες ερευνητικές προκλήσεις όπως η χειροκίνητη απτική συσκευή, η πολυτροπική απτική συσκευή και η απτική απόδοση υψηλής πιστότητας (Wang et al, 2019).

Με την είσοδο στον 21ο αιώνα, η τεχνολογία του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things - IoT) πέρασε από τον προσωπικό φορητό ή μη Η/Υ προς ασύρματα συστήματα διαδικτυακής επικοινωνίας, όπως το ασύρματο (wi-fi) internet, για να καταλήξει σε αυτόνομα φορετά συστήματα και αντίστοιχο εξοπλισμό (wearables) εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Η εξέλιξη που επετεύχθη τις τελευταίες 3 δεκαετίες, παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα, όπου φαίνεται ότι από το πάτημα ενός κουμπιού για τη λειτουργία της τηλεόρασης ή του Η/Υ και των περιφερειακών συστημάτων και εξοπλισμών αυτών, περάσαμε στην τεχνολογία οθόνης αφής στα «έξυπνα» κινητά τηλέφωνα, για να καταλήξουμε στη χρήση γυαλιών εικονικής πραγματικότητας, αλλά και ρομποτικών συστημάτων, όπως ο ρομποτικός βραχίονας. Σε ένα σύστημα αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής, ο άνθρωπος χειρίζεται μια απτική συσκευή και η μηχανική διεπαφή χαρτογραφείται στο αντίστοιχο εικονικό είδωλο (avatar) σε εικονικό περιβάλλον.

Στα απτικά γραφικά, το χέρι του χρήστη συγκρατεί τη γραφίδα της συσκευής και επομένως ελέγχει ένα εικονικό εργαλείο όπως το μολύβι που χρησιμοποιείται στις εικονικές υπογραφές. Οι προσομοιούμενες διαστάσεις κίνησης / δύναμης στα απτικά επιτραπέζια είναι έξι, συμπεριλαμβανομένων τριών μεταφορικών κινήσεων στο τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων (X, Y, Z) και τριών περιστροφών γύρω από τους άξονες αυτούς. Οι προσομοιούμενες διαστάσεις κίνησης / δύναμης στα επιφανειακά απτικά είναι δύο μέσα στην επίπεδη επιφάνεια της οθόνης αφής, όπως π.χ. το δάκτυλο του χρήστη ολισθαίνει κατά μήκος της οθόνης αφής ενός κινητού τηλεφώνου με τυπικές χειρονομίες, όπως μεταφορά (pan), εστίαση (zoom), περιστροφή κτλ. Στα προσαρμόσιμα στο σώμα (φορετά) συστήματα (wearables), τα οποία φοριούνται στο κεφάλι, στο σώμα και τα άκρα (με ιδιαίτερη έμφαση στα χέρια), το χέρι του χρήστη φοράει ένα απτικό γάντι και έτσι ελέγχει ένα εικονικό avatar με ποικίλες προσομοιωμένες χειρονομίες όπως πιάσιμο, τσίμπημα,

κράτημα, ανύψωση, βύθιση κτλ. Η αίσθηση που αποκομίζεται μέσω του avatar του δακτύλου επιτρέπει στο χρήστη να αισθάνεται την υφή ή / και το σχήμα των εικονικών αντικειμένων. Σύμφωνα με το Wang, στην περίπτωση αυτή, οι διαστάσεις κίνησης είναι 22 από την άποψη των βαθμών ελευθερίας του χεριού του ανθρώπου, ενώ οι διαστάσεις της δύναμης μεταβάλλονται δυναμικά ανάλογα με τον αριθμό και την τοπολογία των σημείων επαφής μεταξύ του εικονικού χεριού και των αντικειμένων που χρησιμοποιούνται και ελέγχονται μέσω της προηγμένης τεχνολογίας (Wang et al, 2019).

Paradigm Features	Desktop haptics	Surface haptics	Wearable haptics
Computing platform			
Interface metaphor	Handheld stylus	Bare finger	Whole hand
Controlled avatar	Rigid tool	Virtual finger	Virtual hand
Typical device	 Phantom Premium	 T-Pad	 CyberGrasp

Εικόνα 19: Εξέλιξη συστημάτων εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας τις τελευταίες 3 δεκαετίες

Η γενική αρχή κατά την ανάπτυξη των σχετικών αλγορίθμων ελέγχου κίνησης συνιστά ότι το εικονικό είδωλο της συσκευής χειρός πρέπει να αντιπροσωπεύει την πραγματική κίνηση που ενεργοποιείται από το χρήστη – χειριστή και να χρησιμεύει ως σημείο με τρισδιάστατες κινήσεις, οι οποίες μπορούν να αλληλεπιδρούν με αντικείμενα εικονικού περιβάλλοντος και να παράγουν τρισδιάστατες δυνάμεις. Στη συνέχεια, οι δυνάμεις τροφοδοτούνται πίσω στο χειριστή από τη γραφίδα της συσκευής ανατροφοδότησης δύναμης για να κάνουν τον χειριστή να αισθάνεται δυνάμεις επαφής (π.χ. κίνηση, περιστροφή, πιεζοηλεκτρική ή / και μηχανική δόνηση, τριβή κτλ.) και αλληλεπίδραση μεταξύ του εικονικού ειδώλου (avatar) και των εικονικών αντικειμένων. Για τη χωρική απεικόνιση της κίνησης, συνήθως τα συστήματα προσομοίωσης διαθέτουν μία σειρά από αισθητήρες (sensors), ενεργοποιητές (actuators) και μετατροπείς (transducers), οι οποίοι συνεργάζονται και επικοινωνούν μεταξύ τους για την απόδοση του βέλτιστου αποτελέσματος, το οποίο μεταφέρεται ως αίσθηση στο σώμα (π.χ. χέρι) του χρήστη - χειριστή. Μάλιστα, κατάλληλα κατανομημένοι ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της φυσικής εικόνας ενός εικονικού στοιχείου, μεταβάλλοντας την ανομοιομορφία της επιφάνειας αφής, βελτιώνοντας έτσι τον ρεαλισμό της λειτουργίας.

Για παράδειγμα, οι συσκευές διαμόρφωσης τριβής αναπαράγουν απτικές πληροφορίες μέσω της αλλαγής της πλευρικής δύναμης (αντίστασης) μέσα σε ένα οριζόντιο επίπεδο, συμπεριλαμβανομένου του αποτελέσματος της μεμβράνης συμπίεσης και του ηλεκτροστατικού αποτελέσματος. Οι συσκευές απτικής επαφής ανάδρασης των οποίων η λειτουργία βασίζεται στο ηλεκτροστατικό αποτέλεσμα, δημιουργούν χώρο διεπαφής μεταξύ του δακτύλου του χρήστη - χειριστή και του ηλεκτροδίου της απτικής συσκευής. Το δάχτυλο του χρήστη μπορεί να αντιληφθεί ηλεκτροστατικές δυνάμεις τριβής ενεργοποιώντας κατάλληλο σήμα διέγερσης που εφαρμόζεται στο ηλεκτρόδιο και η αίσθηση της αφής προσομοιώνεται μεταβάλλοντας τη δύναμη τριβής. Ο

περιορισμός (μειονέκτημα) της ηλεκτροστατικής επίδρασης είναι ότι η απτική αίσθηση δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή από τα δάκτυλα υπό συνθήκες στατικού ηλεκτρισμού οπότε και περιορίζεται η βελτίωση της ρεαλιστικής αίσθησης.

Σε συνέχεια των προαναφερθέντων, με σκοπό την άμεση εμπειρία και την αίσθηση της εικονικής πραγματικότητας (VR), έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες που συνδέουν την VR και τον πραγματικό κόσμο. Οι οθόνες για την περιβάλλουσα θέαση και τα γάντια για την αναγνώριση της κίνησης των χεριών και την ανάδραση ανάγνωσης αποτελούν τυπικά παραδείγματα.



Εικόνα 20: Γάντια διασύνδεσης ανθρώπου-υπολογιστή για χρήση στην εικονική πραγματικότητα

Ανάμεσα στις τελευταίες εξελίξεις, ιδιαιτέρως στον τομέα των απτικών φορητών συσκευών και των αντίστοιχων συστημάτων και του σχετικού εξοπλισμού, συμπεριλαμβάνονται και οι ρομποτικοί βραχίονες ή ρομποτικά χέρια - γάντια. Πιο συγκεκριμένα, τα γάντια διασύνδεσης ανθρώπου-υπολογιστή αποτελούν απαραίτητες συσκευές μέσω των οποίων οι χρήστες μπορούν να βιώσουν το VR, μεταφέροντας τις κινήσεις του χρήστη στο VR και μεταδίδοντας την ανάδραση στον χρήστη, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Με τη χρήση αυτού του γαντιού, ο χρήστης μπορεί να αρπάξει ή να τοποθετήσει αντικείμενα σε VR και μπορεί να αισθανθεί τις υφές των εικονικών αντικειμένων. Επιπλέον, τα γάντια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συσκευή εισαγωγής κειμένου. Για τη βελτίωση της απόδοσης, τα γάντια διεπαφής έχουν αναφερθεί ότι χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους και υλικά όπως αισθητήρες αδρανειακής μέτρησης, τεχνική ανίχνευσης με βάση τον ποτενσιόμετρο ή πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα. Επιπλέον, για πιο πρακτική και άνετη χρήση αναπτύσσονται ευαίσθητα διαδραστικά γάντια με βάση νέα υλικά και δομές.

Υπό μορφή γαντιού, η συγκεκριμένη καινοτομία αποτελεί μέσο για την παρακολούθηση και απεικόνιση κίνησης πολλαπλών βαθμών ελευθερίας και την παροχή κατανεμημένης δύναμης και απτικής ανάδρασης στα άκρα των δακτύλων και την παλάμη του χρήστη - χειριστή. Σε σύγκριση με τις συσκευές ανατροφοδότησης με απτική δύναμη στην επιφάνεια εργασίας, όπως το Phantom Desktop, τα απτικά γάντια είναι σε θέση να επιτρέπουν στους χρήστες να αγγίζουν και να χειρίζονται απομακρυσμένα ή εικονικά αντικείμενα με διαισθητικό και άμεσο τρόπο μέσω των δεξιοτήτων χειραγώγησης και ευαίσθητης αντίληψης των χεριών μας. Ένα καλά σχεδιασμένο γάντι θα μπορούσε να προσφέρει δύναμη και απτική ανατροφοδότηση (feedback) που προσομοιώνουν το άγγιγμα και το χειρισμό αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, ενώ ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι το περιορισμένο βάρος και το χαμηλό κόστος (Wang et al, 2019).

Τα βασικά δομικά στοιχεία των γαντιών είναι σε μεγάλο βαθμό χωρισμένα σε αισθητήρες και ενεργοποιητές. Οι αισθητήρες ανιχνεύουν τις κινήσεις των χρηστών και στέλνουν τις πληροφορίες κίνησης στο VR. Μεταξύ των διαφόρων αισθητήριων υλικών, τα πιεζοηλεκτρικά υλικά μπορεί να είναι ένας καλός υποψήφιος για αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά είτε είναι ενσωματωμένα στα γάντια ως αισθητήρας για την αναγνώριση της κίνησης των χεριών είτε σε μια μηχανή συλλογής ενέργειας χρησιμοποιώντας την κίνηση. Οι εύκαμπτοι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες έχουν πάχος μικρο-κλίμακας, καθιστώντας τους εύκολο να τοποθετηθούν σε φορητές συσκευές

Εκτός από τα υψηλής απόδοσης απτικά γάντια που παρέχουν ανατροφοδότηση (feedback) υπό τη μορφή δύναμης (π.χ. αντίσταση σε κίνηση ή περιορισμός κίνησης κτλ.), οι αλγόριθμοι και το λογισμικό απόδοσης χεριών που βασίζονται στο χέρι αποτελούν ένα ακόμη σημαντικό βοήθημα που συνεπικουρεί στην περαιτέρω ανάπτυξη των φορητών απτικών συσκευών, συστημάτων και εξοπλισμών προσομοίωσης. Στη χειροκίνητη απτική ανάδραση, ο χρήστης φοράει ένα απτικό γάντι, για να ελέγχει ένα (εικονικό είδωλο) avatar του χεριού να αγγίζει ή / και να αντιλαμβάνεται εικονικά αντικείμενα και να λαμβάνει ανατροφοδότηση δύναμης στα άκρα των δακτύλων ή ακόμα και ολόκληρη την επιφάνεια των χεριών. Τα φορετά απτικά αποτελούν εγγενή απαίτηση της εικονικής πραγματικότητας, η οποία στοχεύει να αποκτήσει πιο διαισθητικό χειρισμό χειρονομίας ενός avatar χεριού και να πάρει την αίσθηση των επαφών πολλαπλών σημείων μεταξύ ενός χεριού και αντικειμένων, που μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την εντυπωσιακή αίσθηση χειρισμού εικονικής πραγματικότητας. Η χειροκίνητη απτική απόδοση θα είναι χρήσιμη σε διάφορα πεδία εφαρμογής, όπως χειρουργική επέμβαση, βιομηχανική παραγωγή, ηλεκτρονικό επιχειρείν και ψυχαγωγία.

Βάσει των παραπάνω, τα δύο πιο σημαντικά θέματα που ανακύπτουν σε σχέση με τις απτικές συσκευές αφής τύπου χεριού – γαντιού – βραχίονα, είναι κυρίως δύο. Καταρχήν, ο συντονισμός σε πραγματικό χρόνο της πραγματικής φυσικής κίνησης και της προσομοίωσης μέσω του avatar του χεριού, διασφαλίζοντας ίδιες ταχύτητες κίνησης, γωνίες κλίσης, κατάλληλη διαμόρφωση ως προς τις γεωμετρικές / φυσικές ιδιότητες των εικονικών αντικειμένων, με σκοπό την προσομοίωση της δύναμης επαφής (ειδικά της δύναμης ανάδρασης σε εικονικά δάχτυλα), της διαμόρφωσης του avatar του χεριού που ικανοποιεί τους περιορισμούς επαφής και τη δυναμική απόκρισης των αντικειμένων που διαχειρίζεται ο χρήστης – χειριστής ή συνυπάρχουν στο περιβάλλον του (συμπεριλαμβανομένης της κίνησης και / ή της παραμόρφωσης). Επιπλέον, πρέπει να διασφαλιστεί ότι η απτική απόδοση και η οπτική απόδοση είναι συνεπείς τόσο χρονικά όσο και χωρικά, δηλαδή ότι η απτική και οπτική αναπαράσταση του avatar του χεριού καταχωρείται και απεικονίζεται σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, ένα θέμα που ανακύπτει για όλες τις φορητές συσκευές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, είναι και η προσαρμογή τους σε διαφορετικές διαστάσεις ανάλογα με το σωματότυπο του χρήστη – χειριστή. Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι παρά την εξέλιξη που σημειώθηκε στις υπολογιστικές πλατφόρμες, προκειμένου να προσομοιωθούν πολύπλοκες κινήσεις και ερεθίσματα όπως αυτές του ανθρώπινου σώματος, η

διεπιστημονική προσπάθεια θα πρέπει να στραφεί προς καινοτόμες λύσεις σε απτικές συσκευές υψηλής πιστότητας επικεντρώνοντας τις προσπάθειες προς ανάπτυξη τεχνολογιών παροχής πολυτροπικών απτικών ερεθισμάτων, όπου νέοι αισθητήρες και ενεργοποιητές που χρησιμοποιούν προηγμένα και έξυπνα λειτουργικά υλικά θα βρουν μια θέση.

### 3.2. Αισθητήρες και ενεργοποιητές

Κατά καιρούς, έχουν αναπτυχθεί και εγκατασταθεί διάφοροι ενεργοποιητές για την όσο το δυνατό ταχεία απτική ανάδραση σε εξωτερικά ερεθίσματα στο πλαίσιο λειτουργίας πλατφόρμας διεπαφής και επικοινωνίας μεταξύ χρήστη και συστήματος. Οι ενεργοποιητές για την παροχή μηχανικών ερεθισμάτων χρησιμοποιούνται συχνότερα επειδή μπορούν να αναπαράγουν με ακρίβεια την πραγματική υφή. Βρίσκονται σε κινητά τηλέφωνα και τηλεϊεδοποιητές και μπορούν να παράσχουν πληροφορίες σχετικά με τη δύναμη επαφής, την υφή και την τραχύτητα ενός αντικειμένου. Ωστόσο, ο κύριος περιορισμός της διέγερσης με δόνηση και της πλευρικής διέγερσης είναι ότι ο ενεργοποιητής δεν μπορεί να παράσχει πληροφορίες σχετικά με το πραγματικό σχήμα επιφάνειας του αντικειμένου. Επιπλέον, οι μηχανικοί ενεργοποιητές που απαιτούν μεγάλα συστήματα είναι προβληματικοί όσον αφορά το βάρος και τη φορητότητα. Οι μαλακοί ενεργοποιητές που παρέχουν ομαλή και ευέλικτη οπτική ανάδραση μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Οι μαλακοί ενεργοποιητές έχουν διάφορα λειτουργικά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένου του ελαφρού βάρους και της ευκαμψίας. Επειδή οι μαλακοί ενεργοποιητές είναι συνήθως κατασκευασμένοι από εύκαμπτα υλικά όπως πολυμερή, έχουν μεγάλη πυκνότητα παραμόρφωσης και είναι εύκολο να κατασκευαστούν σύμφωνα με το επιθυμητό σχήμα. Επιπλέον, οι ευέλικτοι ενεργοποιητές με σχετικά απλούς μηχανισμούς εκτελούν πολλαπλές κινήσεις βαθμών ελευθερίας που μπορούν να χειριστούν με πολύπλοκα συστήματα ελέγχου και μεγάλης κλίμακας εξαρτήματα σκληρών μηχανών. Λόγω των πλεονεκτημάτων τους, οι μαλακοί ενεργοποιητές έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των ιατρικών και φορετών εφαρμογών (Song et al, 2019).

Οι γραμμικοί ενεργοποιητές για μια πλατφόρμα κίνησης αποτελούν απαραίτητη προσθήκη στη διαδικασία ασφαλούς και αποτελεσματικής λειτ. Χρησιμοποιούν ενέργεια για να δημιουργήσουν γραμμική κίνηση, όπως ανύψωση, έλξη, κύλιση κτλ. Υπάρχουν πολλά είδη γραμμικών ενεργοποιητών, όμως, δεν χρησιμοποιούνται όλοι σε πλατφόρμες κίνησης. Παρακάτω παρατίθενται οι κύριοι τύποι ενεργοποιητών για πλατφόρμες κίνησης:

- Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές περιλαμβάνουν έναν κύλινδρο με εσωτερικό έμβολο. Με την πίεση που εφαρμόζεται, το έμβολο μπορεί να μετακινήσει ένα αντικείμενο δημιουργώντας μια δύναμη. Η ελεγχόμενη γραμμική μετατόπιση ενός εμβόλου είναι δυνατή μέσα στον κύλινδρο. Ωστόσο, είναι δυνατή μόνο κατά μήκος του άξονα του εμβόλου. Ένας υδραυλικός ενεργοποιητής μπορεί επίσης να βρει εφαρμογή σε έναν μηχανισμό ρυθμιζόμενο από μια υδραυλική αντλία.
- Οι μηχανικοί ενεργοποιητές είναι γενικά υπεύθυνοι μόνο για έναν συγκεκριμένο τύπο ενέργειας. Εκτελούν μια μετατροπή μιας διαδικασίας περιστροφής σε γραμμική κίνηση. Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τα γρανάζια ή τις βίδες που συνδέονται με ένα κουμπί ή μια λαβή. Χρησιμοποιούνται σήματα ευρετηρίου για τον έλεγχο της ακρίβειας μιας μετατόπισης σε τέτοιες συσκευές.
- Οι ηλεκτρομηχανικοί ενεργοποιητές είναι διαφορετικοί από τους μηχανικούς, με τη χρήση ενός ηλεκτρικού μοτέρ ή με κουμπί και λαβές. Ο τύπος του κινητήρα που χρησιμοποιείται εξαρτάται από το σκοπό χρήσης του ενεργοποιητή. Μερικές φορές, απαιτείται ταχύτητα και δύναμη και η ακρίβεια της κίνησης δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική.

### 3.3. Οπτικοακουστικά συστήματα κεφαλής

Τα συστήματα αυτά (head sets with head up display - HUD or head mounted display – HMD) περιλαμβάνουν οποιαδήποτε διαφανή οθόνη που παρουσιάζει δεδομένα χωρίς να απαιτείται από τους χρήστες να κοιτάξουν μακριά από τις συνήθεις οπτικές τους γωνίες. Αν και αρχικά αναπτύχθηκαν για τις ανάγκες της στρατιωτικής αεροπορίας, τα HUD χρησιμοποιούνται πλέον σε εμπορικά αεροσκάφη, αυτοκίνητα και άλλες (κυρίως επαγγελματικές) εφαρμογές.

Ένα τυπικό HUD περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία: μια μονάδα προβολέα (projector unit), έναν συνδυαστή (combiner) και έναν υπολογιστή παραγωγής βίντεο (video generation computer).

- Η μονάδα προβολής σε ένα τυπικό HUD είναι μια εγκατάσταση οπτικού διαχωρισμού: ένας κυρτός φακός ή ένας κοίλος καθρέπτης με έναν σωλήνα καθοδικής ακτινοβολίας, μια οθόνη με δίοδο φωτοεκπομπής ή μια οθόνη υγρών κρυστάλλων στην εστία του. Αυτή η ρύθμιση (μια σχεδίαση που βρίσκεται γύρω από την εφεύρεση του ανακλαστήρα το 1900) παράγει μια εικόνα όπου το φως είναι διαχωρισμένο, δηλαδή το εστιακό σημείο αντιλαμβάνεται ότι βρίσκεται στο άπειρο.
- Ο συνδυαστής είναι συνήθως ένα γωνιακό επίπεδο κομμάτι γυαλιού (beam splitter - διαχωριστής δέσμης) που βρίσκεται ακριβώς μπροστά από τον θεατή, που ανακατευθύνει την προβαλλόμενη εικόνα από τον προβολέα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να βλέπει ταυτόχρονα το οπτικό πεδίο και την προβαλλόμενη εικόνα. Οι συνδυασμοί μπορούν να έχουν ειδικές επικαλύψεις που αντανakλούν το μονόχρωμο φως που προβάλλεται επάνω σε αυτό από τη μονάδα προβολέα επιτρέποντας ταυτόχρονα τη διέλευση όλων των άλλων μηκών κύματος φωτός. Σε ορισμένες οπτικές διατάξεις, οι συνδυασμοί μπορεί επίσης να έχουν καμπύλη επιφάνεια για να επαναπροσανατολίσουν την εικόνα από τον προβολέα.
- Ο υπολογιστής παρέχει τη διεπαφή μεταξύ του HUD (δηλαδή της μονάδας προβολής) και των συστημάτων / δεδομένων που πρέπει να εμφανίζονται και δημιουργεί τις εικόνες και τα σύμβολα που θα εμφανίζονται από τη μονάδα προβολής.

Αν θα ήθελε κάποιος να συγκρίνει υφιστάμενα συστήματα θέασης κεφαλής, ο παρακάτω πίνακας θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμος.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά και τεχνικές λεπτομέρειες υφιστάμενων συστημάτων θέασης κεφαλής

Εικόνα προϊόντος	Κατασκευαστής / Μοντέλο	Οπτική ανάλυση	Μέγιστος ρυθμός ανανέωσης εικόνας / Hz	Οριζόντιο επίπεδο θέασης / μοίρες
	Acer Windows Mixed Reality	1440 × 1440	90	95
	ANTVR	1080 × 1200	90	110
	ASUS Windows Mixed Reality	1440 × 1440	90	95
	Dell Visor	1440 × 1440	90	110
	FOVE	1280 × 1440	70	100
	GALAX VISION	960 × 1080	60	100

Εικόνα προϊόντος	Κατασκευαστής / Μοντέλο	Οπτική ανάλυση	Μέγιστος ρυθμός ανανέωσης εικόνας / Hz	Οριζόντιο επίπεδο θέασης / μοίρες
	GameFace	1280 × 1440	90	120
	HP Reverb – Pro Edition	1080 × 2160	90	114
	HP Windows Mixed Reality	1440 × 1440	90	95
	HTC VIVE	1080 × 1200	90	110
	HTC VIVE Focus	1140 × 1600	75	110
	HTC VIVE Pro	1140 × 1600	90	110
	ImmersiON-VRelia PRO-DG1	1080 × 1920	60	123

Εικόνα προϊόντος	Κατασκευαστής / Μοντέλο	Οπτική ανάλυση	Μέγιστος ρυθμός ανανέωσης εικόνας / Hz	Οριζόντιο επίπεδο θέασης / μοίρες
	Lenovo Explorer Windows Mixed Reality	1440 × 1440	90	110
	Oculus Go	1280 × 1440	60	101
	Oculus Quest	1440 × 1600	72	
	Oculus Rift	1080 × 1200	90	110
	Oculus Rift S	1280 × 1440	80	110
	OSVR	1080 × 1200	90	110
	PIMAX 4K	1920 × 2160	60	110

Εικόνα προϊόντος	Κατασκευαστής / Μοντέλο	Οπτική ανάλυση	Μέγιστος ρυθμός ανανέωσης εικόνας / Hz	Οριζόντιο επίπεδο θέασης / μοίρες
	PIMAX 8K	3840 × 2160	120	200
	Samsung Gear VR	1280 × 1440	60	101
	Samsung HDM Odyssey Windows Mixed Reality	1440 × 1600	90	110
	Sony PlayStation VR	960 × 1080	120	100
	StarVR	2560 × 1440	90	210
	Sulon Q	1280 × 1440	90	110
	Valve Index	1440 × 1600	144	130

Εικόνα προϊόντος	Κατασκευαστής / Μοντέλο	Οπτική ανάλυση	Μέγιστος ρυθμός ανανέωσης εικόνας / Hz	Οριζόντιο επίπεδο θέασης / μοίρες
	Vrvana Totem	1280 × 1440	75	120

Βάσει των τιμών του πίνακα, για τις ανάγκες του παρόντος έργου και της αναπτυσσόμενης τεχνολογίας, ξεχωρίζουν τα συστήματα HTC VIVE, OCULUS RIFT, OCULUS RIFT S.

Η εταιρεία OCULUS έχει λίγα χρόνια στην αγορά, καθώς ιδρύθηκε τον Ιούνιο του 2012. Σύντομα, όμως, κατάφερε να κερδίσει το ενδιαφέρον και να αγοραστεί από τη Facebook, για 2.3 δισεκατομμύρια δολάρια το 2015. Η εταιρία εξειδικεύεται στην κατασκευή hardware και software για εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας. Μέχρι σήμερα, η εταιρία έχει κυκλοφορήσει τρία HMDs. Τα δύο πρώτα ήταν δοκιμαστικά μοντέλα (Rift DK1 και Rift DK2), για αυτό και δεν έγιναν διαθέσιμα στο ευρύ κοινό, παρά μόνο για χρήση σε ερευνητικές εφαρμογές. Τα δύο αυτά μοντέλα, μέσα από αξιολογήσεις και συμπεράσματα που βγήκαν από την χρήση τους, οδήγησαν στην κατασκευή ενός ολοκληρωμένου προϊόντος για διάθεση προς το πελατειακό κοινό. Το Rift CV1 είναι πλέον διαθέσιμο στην αγορά.

Πιο συγκεκριμένα, στις 6 Μαΐου του 2015, ανακοινώθηκε η είσοδος στην αγορά του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, “Oculus Rift Consumer Version 1” (CV1). Σε αντίθεση με τα προηγούμενα μοντέλα, το CV1 περιέχει δύο οθόνες (μία για το κάθε μάτι) με ανάλυση 1200x1080 ανά μάτι, ακόμη υψηλότερο ρυθμό ανανέωσης στα 90Hz και οπτικό πεδίο 94 μοίρες στον οριζόντιο άξονα και 93 μοίρες στον διαγώνιο. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε βελτιωμένο σύστημα ανίχνευσης κίνησης, τόσο σε ακρίβεια όσο και σε χωρική έκταση, με χρήση ξεχωριστού ανιχνευτή. Καθώς, το CV1, είναι ένα προϊόν που είναι διαθέσιμο στην αγορά για το ευρύ κοινό, προκύπτει η ανάγκη για βελτίωση της εργονομίας και της αισθητικής της συσκευής σε σύγκριση με τις προγενέστερες. Τέλος, προστέθηκε μικρόφωνο καθώς και, υψηλών προδιαγραφών, ζευγάρι ακουστικών, ικανό να αναπαράγει 3D ήχο. Η οθόνη είναι OLED με οπτικό πεδίο 110° και ρυθμό ανανέωσης εικόνας 90 Hz. Διαθέτει χειριστήριο αφής και αισθητήρα, ενώ συνδέεται με H/Y.

Αντίστοιχα, το σύστημα VR HTC Vive έχει δημιουργηθεί για εργασία εντός δωματίου εικονικής πραγματικότητας, οπότε και επιτρέπει στο χρήστη να κινείται φυσικά μέσα σε αυτό και ανάμεσα από αντικείμενα. Ο φακός είναι ρυθμιζόμενος για πιο ξεκούραστη και άνετη περιήγηση, ενώ περιλαμβάνει ασύρματα χειριστήρια και αισθητήρες εντοπισμού που έχουν σχεδιαστεί μόνο για VR ενισχύοντας την φυσικότητα και την αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον. Η οθόνη είναι OLED με οπτικό πεδίο 110° και ρυθμό ανανέωσης εικόνας 90 Hz.

Όσον αφορά στον τρόπο λειτουργίας, τα HMD περιέχουν δύο οθόνες ή μια οθόνη χωρισμένη σε δύο ίσα μέρη, ώστε να προβάλλουν ελαφρώς μετατοπισμένη την σκηνή του εικονικού περιβάλλοντος σε κάθε μάτι. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης αντιλαμβάνεται το βάθος στον χώρο. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της επίπεδης οθόνης και να δοθεί μια πιο φυσική αίσθηση στον χρήστη, χρησιμοποιούνται ειδικοί φακοί για την στρέβλωση της εικόνας ώστε να φαίνεται πιο σφαιρική. Καθώς μιλάμε για εικονικό περιβάλλον, είναι λογικό κάποιος με την κίνηση του κεφαλιού να περιμένει και την αντίστοιχη αλλαγή στην σκηνή. Για να αναγνωριστούν οι κινήσεις και ο προσανατολισμός του κεφαλιού χρησιμοποιείται ένα σύστημα που αποτελείται από γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα και μαγνητόμετρα. Για καλύτερη βύθιση στο εικονικό περιβάλλον δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να κινηθεί μέσα σε αυτό. Η ανίχνευση της κίνησης σε αυτήν την περίπτωση γίνεται από συνδυασμό πληροφοριών που λαμβάνονται από τον εξωτερικό ανιχνευτή καθώς και το HMD. Το HMD είναι καλυμμένο στην εξωτερική του επιφάνεια από λυχνίες υπέρυθρου φωτός, το οποίο αναγνωρίζει ο εξωτερικός ανιχνευτής και, με τους κατάλληλους μαθηματικούς υπολογισμούς, μπορεί να αναγνωρίσει την θέση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί παραπάνω από ένας εξωτερικός ανιχνευτής, ώστε να καλύπτεται μεγαλύτερος χώρος μέσα στον οποίο μπορεί να κινηθεί ο παίχτης. Για αυτήν την εγκατάσταση χρησιμοποιείται ο όρος “κλίμακα δωματίου” (room scale).

Η παράθεση της συγκεκριμένης πληροφορίας δεν έγινε απλά ως βιβλιογραφική αναφορά, αλλά, με σκοπό ο αναγνώστης – ερευνητής να έλθει σε επαφή με συγκεκριμένων ειδών αντιπροσωπευτικές τεχνολογίες, ώστε να αξιολογήσει την απόφαση της εταιρείας Smart Drive ltd όσον αφορά στην επιλογή της βέλτιστης τεχνολογικής λύσης, εξυπηρετώντας το σκοπό του παρόντος παραδοτέου τεύχους. Οι τεχνολογίες αφορούν και μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά τη σχεδίαση της αρχιτεκτονικής και του τρόπου λειτουργίας της ολοκληρωμένης τελικής λύσης, ιδιαίτερα σχετικά με τη μέθοδο εμπύθισης, την ανάπτυξη μοντέλων εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, καθώς και την προσομοίωση και την ελευθερία κινήσεων μέσα στο εικονικό περιβάλλον, με τρόπο κατάλληλο ώστε να προβάλλεται μεταξύ άλλων και η ελληνική ιστορία και πολιτιστική κληρονομιά στο πλαίσιο λειτουργίας ενός εικονικού μουσείου εκθεμάτων. Επίσης, μέσω της παρουσίασης των συγκεκριμένων τεχνολογιών, καθίσταται εφικτή η μεταξύ τους σύγκριση όσον αφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά και την αποτελεσματικότητά τους, αλλά και η διερεύνηση μιας ενδεχόμενης συνεργασίας ή ενός συνδυασμού προϊόντων βάσει συμβατότητας τεχνολογιών με σκοπό τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του τελικού συστήματος όσον αφορά στην εμπύθιση του χρήστη – χειριστή σε ένα ιδανικό περιβάλλον εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Δεδομένου ότι τα ερεθίσματα που συμπεριλαμβάνονται στην τελική ολοκληρωμένη εφαρμογή είναι οπτικοακουστικά, απτικά, όσφρησης και διεπαφής, στην παραπάνω λίστα συμπεριλήφθηκε τεχνολογία αιχμής από όλες τις κατηγορίες εφαρμογών που απευθύνονται σε αισθητήριες ανθρώπινες αναδράσεις.

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο αυτό, γίνεται απολύτως κατανοητό ότι οι πολλοί βαθμοί ελευθερίας και οι πολλαπλές δυνατότητες κίνησης με χρήση ειδικών, ενεργοβόρων και ακριβών στην αγορά και τη χρήση πλατφορμών δεν αποτελεί πανάκεια. Ως γενικό συμπέρασμα και γενικευμένο κανόνα, ο ερευνητής – χρήστης ή επαγγελματίας χειριστής θα πρέπει να λάβει υπόψη του πως οποιοδήποτε προηγμένο σύστημα κίνησης με τουλάχιστον 3 βαθμούς ελευθερίας κίνησης θα πρέπει να θεωρείται ικανοποιητικό για την αναλυτική περιγραφή της κίνησης μέσα σε περιβάλλον εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερος βαθμός (ποσοστό) προσέγγισης της πραγματικότητας, είναι θεμιτό να χρησιμοποιούνται και περαιτέρω συστήματα είτε κίνησης (περιστροφή, δόνηση, βύθιση κτλ.) είτε οπτικοακουστικά είτε και άλλα εξωτερικά ερεθίσματα όπως μυρωδιές, ακόμη και απτικά συστήματα που μεταφέρουν την αίσθηση επαφής (ή την αντίστοιχη πληροφορία) μέσω ηλεκτροδιεγερτών, ενεργοποιητών και αισθητήρων, ώστε η εμπειρία εμπύθισης του χρήστη – χειριστή να εμπλουτίζεται σημαντικά.

## **Κεφάλαιο 4. Προτεινόμενο Σύστημα Δυναμικής Ανάδρασης μέσω Αισθητήρων και Ενεργοποιητών**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, η ομάδα μελέτης της Smart Drive Ltd επιχειρεί να θέσει τις βάσεις και κάποιες πρώτες προδιαγραφές όσον αφορά στις εναλλακτικές που υπάρχουν όσον αφορά στη σχεδίαση ολοκληρωμένης πλατφόρμας δυναμικής ανάδρασης του έργου Activator. Οι εταίροι του έργου θα συναποφασίσουν όσον αφορά στην τελική μορφή του ολοκληρωμένου συστήματος 4D που θα είναι συμβατό με το software του ΙΠΤΗΛ και θα κινείται στο χώρο της εικονικής (και ίσως και της επαυξημένης) πραγματικότητας, υιοθετώντας τον τρόπο και το περιεχόμενο παρουσίασης του ΝΟΗΣΙΣ, προκειμένου η Smart Drive Ltd να κινηθεί προς συγκεκριμένη κατεύθυνση ώστε να παράξει το τελικό προϊόν, δηλαδή την πλατφόρμα προσομοίωσης κίνησης 4D με δυναμική ανάδραση μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν υπάρχει λόγος για ενσωμάτωση και εφαρμογή κίνησης με περισσότερους βαθμούς ελευθερίας (π.χ. 6 ή και περισσότερους ως και εννέα), δεδομένου του σκοπού του έργου Activator, των εφαρμογών στις οποίες θα δοκιμαστεί, θα αξιολογηθεί και θα χρησιμοποιηθεί το τελικό προϊόν, αλλά και υπό την έννοια ότι δεν αλλοιώνεται το τελικό αποτέλεσμα, αλλά εξυπηρετείται ο σκοπός του έργου για παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών περιήγησης σε ελληνικά ιστορικά μνημεία και ανάδειξης του αρχαιολογικού πολιτισμού σε περιβάλλον εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας.

Το τελικό προϊόν αναμένεται να διαθέτει τους απαιτούμενους βαθμούς ελευθερίας για τη ρεαλιστικότερη δυνατή αναπαράσταση της κίνησης (τουλάχιστον 3 βαθμούς ελευθερίας ώστε να εξασφαλίζεται η κίνηση σε τριαξονικό σύστημα και ιδανικά και ιδανικά να συνοδεύεται από έναν ή περισσότερους όσον αφορά στην αναπαράσταση δόνησης, βύθισης, την εισαγωγή ήχου, μυρωδιάς και άλλων εξωτερικών ερεθισμάτων), Επιπλέον, η τελική ολοκληρωμένη τεχνολογική λύση αναμένεται να επιτρέπει στο χρήστη να επιτυγχάνει πλήρη γωνία θέασης έως και 360° με ειδική συσκευή προβολής που φοριέται στο κεφάλι (προβολική συσκευή κεφαλής), ενώ θα εξασφαλίζει πλήρη συμβατότητα και συνεργασία με την τεχνολογία αιχμής που χρησιμοποιείται από το ΝΟΗΣΙΣ για την προβολή των πολιτιστικών εκθεμάτων αυτού.

### **4.1. Τεχνολογική βάση εξέλιξης**

Στην παράγραφο αυτή, περιγράφεται μέρος της υφιστάμενης κατάστασης όσον αφορά στον εξοπλισμό προσομοίωσης κίνησης, θέασης και ήχου που διαθέτει η εταιρεία Smart Drive Ltd, πάνω στον οποίο θα γίνουν οι απαιτούμενες μετατροπές, τροποποιήσεις και εξελίξεις, βάσει και της τεχνογνωσίας των εταίρων του έργου (κυρίως ΙΠΤΗΛ και ΝΟΗΣΙΣ). Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι σε περίπτωση που οι περιστάσεις το απαιτούν και προκειμένου να επιτευχθεί το μέγιστο δυνατό, αλλά και ικανοποιητικό επίπεδο προσαρμογής στις ανάγκες του έργου, υπάρχει περίπτωση ακόμη και αλλαγής εξοπλισμού (π.χ. αγορά τμημάτων τεχνολογίας από άλλο προμηθευτή) ώστε να υπάρχει καταρχήν συμβατότητα με το τεχνολογικό και λογισμικό υπόβαθρο των εταίρων του έργου Activator και κατά δεύτερον να είναι πιο εφικτή και ταχεία η ανάπτυξη των απαιτούμενων συστημάτων. Η απόφαση για τον τύπο του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί πρόκειται να αποτελεί συναπόφαση των εταίρων του έργου Activator ύστερα από τη διερεύνηση των υπάρχοντων συστημάτων σχεδιασμού, προσομοίωσης και δυναμικής ανάδρασης, αλλά και κατόπιν πραγματοποίησης σειράς τεστ/ δοκιμών αξιολόγησης των διαφόρων τεχνολογικών συνδυασμών των χρησιμοποιούμενων συστημάτων που διατίθενται στην αγορά.

Ο προσομοιωτής επιβατικού αυτοκινήτου της Smart Drive Ltd (προερχόμενος τεχνολογικά εν μέρει και από τη Foerst Γερμανίας) διαθέτει μία ιδιαίτερη τεχνογνωσία και ως προς την αρχιτεκτονική και ως προς το σχεδιασμό και ως προς το σύστημα κίνησης. Η εργονομική καμπύνα ακολουθεί το

πρότυπο των προσομοιωτών πτήσης, υπό την έννοια ότι θέση, χειριστήρια, τιμόνι, χειρόφρενο, μίζα, όργανα ελέγχου οδήγησης / οδηγικής συμπεριφοράς και λοιπός εξοπλισμός είναι τα αυθεντικά κομμάτια που χρησιμοποιούνται στα αληθινά κυκλοφορούντα οχήματα και μάλιστα σε πραγματική κλίμακα ώστε να βοηθούν στη μεγαλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας.

Πέρα από το σχεδιασμό και την εργονομία, όσον αφορά στο σύστημα κίνησης, η αίσθηση της κίνησης κατά την οδήγηση, δημιουργείται από το συνδυασμό της ανάδρασης των γραφικών και ενός συστήματος κίνησης συνδεδεμένου στο κάτω τμήμα της καμπίνας του προσομοιωτή. Κατά αυτόν τον τρόπο, ο οδηγός αισθάνεται με ιδιαίτερα ρεαλιστικό τρόπο τις κινήσεις που αφορούν την επιβράδυνση, την επιτάχυνση και τις αριστερές και δεξιές στροφές του τιμονιού. Οι ανωμαλίες του δρόμου, οι υψομετρικές διαφορές (κατά την κατακόρυφο) επίσης αναπαράγονται. Από τη στιγμή που οι οθόνες παραμένουν σταθερές, το σύστημα ονομάζεται “σύστημα κίνησης με σταθερές βάσεις οθονών». Στην παρακάτω φωτογραφία απεικονίζονται και οι δύο βάσεις κίνησης, με την διαμήκη κίνηση να φαίνεται από επάνω και την εγκάρσια από κάτω.



Εικόνα 21: Δύο βάσεις κίνησης για προσομοίωση διαμήκουσ και εγκάρσιας κίνησης

Το σύστημα είναι απόλυτα ασφαλές από μηχανική άποψη, επειδή το κενό μεταξύ του επάνω και του κάτω τμήματος των βάσεων κίνησης έχει πλάτος μόνο 4 χιλιοστά. Για τη συγκεκριμένη μέθοδο κίνησης και τη συσκευή, έχει εκδοθεί πατέντα. Τα τμήματα αποτελούνται από δύο κινητήρες, δύο χειριστήρια για το ηλεκτρικό ρεύμα των κινητήρων και ένα διακόπτη για την επιλογή χειροκίνητου ελέγχου ή από τον υπολογιστή, αλλά και για την πλήρη απομόνωση της κάθε μίας ξεχωριστά ή και των δύο μαζί. Τα ηλεκτρονικά μέρη βρίσκονται στο εσωτερικό των βάσεων κίνησης.

Η μέγιστη γωνία κλίσης είναι  $6^\circ$ , το μέγιστο οριζόντιο βήμα είναι 11 εκ. Η μία κίνηση (pitch support FUFN) προσομοιώνει τις διαμήκεις δυνάμεις επιτάχυνσης – επιβράδυνσης. Γύρω από έναν εικονικό κάθετο άξονα στο επίπεδο των ματιών του οδηγού, η επάνω βάση στρέφεται γύρω από την κάτω. Η υποστήριξη της κύλισης (roll support FUFN) βασίζεται στην ίδιο κατασκευή, αλλά γυρίζει επίσης στο επίπεδο των ματιών, γύρω από το διαμήκη άξονα.

Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει με 4 τρόπους: Μόνο με τη διαμήκη κίνηση (επιτάχυνση – επιβράδυνση), μόνο με την εγκάρσια κίνηση (στροφές), με τη διαμήκη και την εγκάρσια κίνηση (επιταχύνσεις-στροφές), ή χωρίς καθόλου κίνηση. Για την ασφάλεια των χρηστών, υπάρχει

διακόπτης απενεργοποίησης για την κάθε μία κίνηση. Το σύστημα κίνησης μπορεί να μεταφέρει να βάρος 300 kg.

Το πλεονέκτημα του συστήματος κινήσεων είναι πως μπορούν να τοποθετούνται και οι δύο μαζί ή και κάθε μία ξεχωριστά. Εκ των υστέρων μπορεί να τοποθετηθεί και η δεύτερη κίνηση.

Τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε μίας κίνησης: Πλάτος 78 εκ., μήκος 1,00 μ., ύψος περίπου 25 εκ., βάρος εγκάρσιας κίνησης 100 kg, βάρος διαμήκου κίνησης 120 kg. Τροφοδοσία 220 - 230 V, 1,5 A.

Όσον αφορά στο σύστημα θέασης, αποτελείται από τουλάχιστον τρεις (3) οθόνες διαγωνίου τουλάχιστον 42inches η κάθε μία, τεχνολογίας LCD ή LED, με ανάλυση εικόνας 1920x1080 pixels και σάρωση 100Hz. Οι οθόνες βρίσκονται υπό γωνία τέτοια ώστε να ορίζουν οπτικό πεδίο 180°. Οι οθόνες βρίσκονται τοποθετημένες σε βάση και το σύστημα είναι αποσπώσιμο για ενδεχόμενη μεταφορά του.

Ακολουθεί ενδεικτική λίστα με τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, ενώ παρέχεται και τεχνική περιγραφή των προϊόντων - τεχνολογιών.

#### Τεχνική Περιγραφή:

Τύπος LCD ή LED

Αριθμός Οθονών: 3

Ανάλυση: 1280x1024 per channel.

Διαγώνιος οθόνης: 42"

Όσον αφορά στο σύστημα θέασης είναι τρισδιάστατο αφού αποτελείται από οθόνες τρισδιάστατης τεχνολογίας, σε 3D – Ready έκδοση, η οποία με την προσθήκη δύο επιπλέον ηλεκτρονικών υπολογιστών (για την παροχή της αναγκαίας για την τρισδιάστατη απεικόνιση υπολογιστικής ισχύος), προβάλλουν το περιβάλλον της οδήγησης τρισδιάστατα σε όλες τις οθόνες. Εναλλακτικά, με έναν υπολογιστή το πρόγραμμα μπορεί να προβάλλεται τρισδιάστατα μόνο στην κεντρική οθόνη.

Όσον αφορά στο λειτουργικό σύστημα, επισημαίνεται ότι για κάθε προσομοιωτή χρησιμοποιείται ένας υπολογιστής φυσιολογικού σχήματος. Οι προσωπικοί υπολογιστές ανταποκρίνονται στο καλύτερο διαθέσιμο υλικό στην αγορά.

#### Ενδεικτικά τεχνικά χαρακτηριστικά:

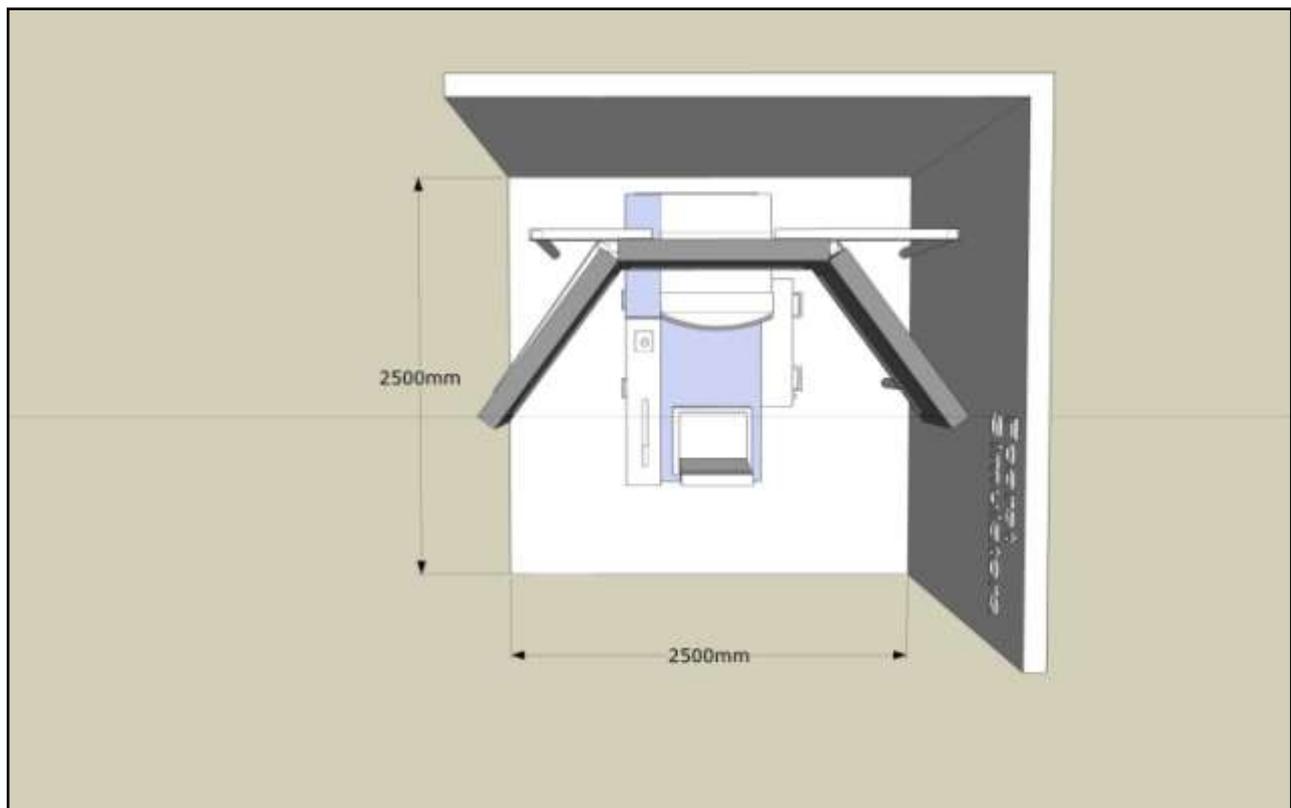
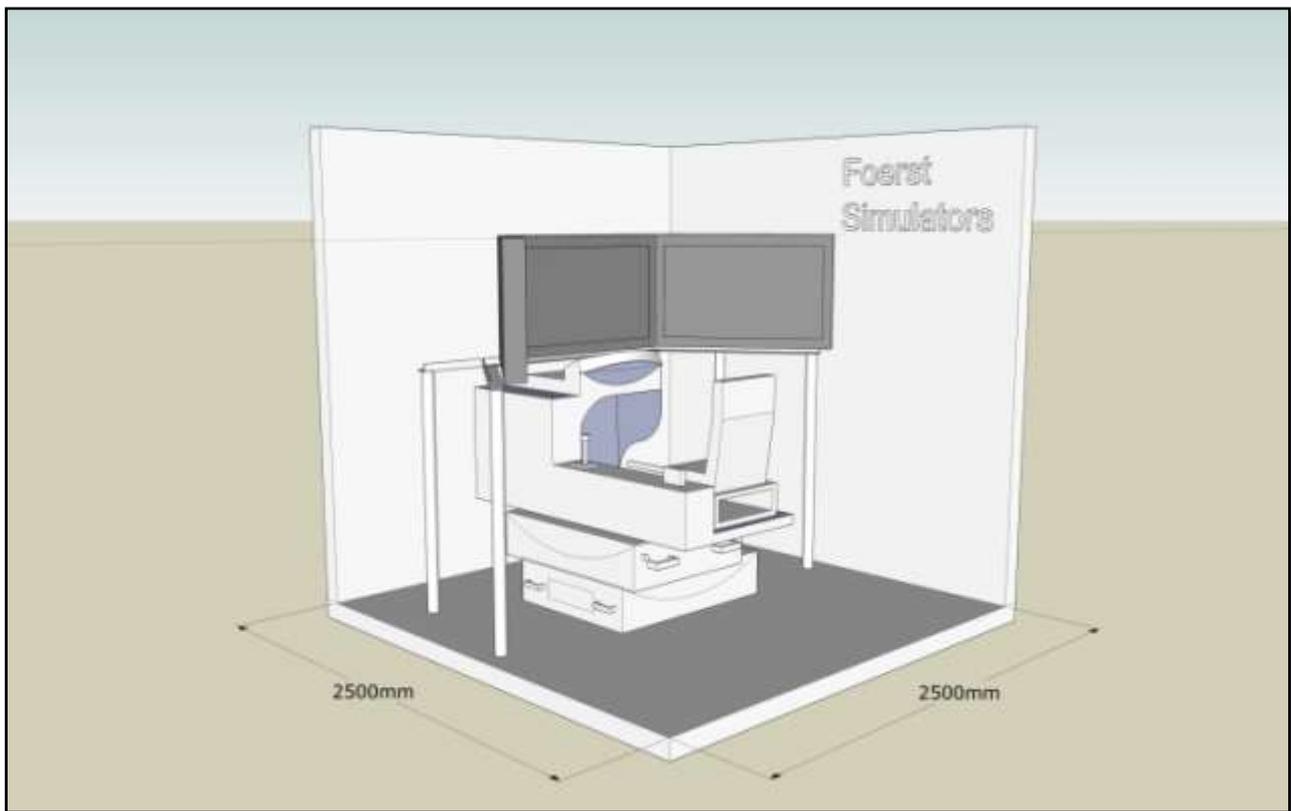
- Λειτουργικό Σύστημα: Windows 10 64bit
- CPU: QUAD Core
- Μνήμη RAM: 4GB
- Σκληρό δίσκο χωρητικότητας 300 GB τουλάχιστον
- Κάρτα γραφικών: ATI Radeon 5870 (1024MB μνήμης) ή νεότερη (καλύτερη)

- Κάρτα δικτύου για τη σύνδεση με το internet
- DVD-ROM / RW Dual Layer
- Πληκτρολόγιο QWERTY και ποντίκι Laser USB

Το λογισμικό για την εκπαίδευση και επανεκπαίδευση οδηγών των προσομοιωτών FOERST είναι μοναδικό, αφού ο κατασκευαστής ασχολείται αποκλειστικά με την παραγωγή προσομοιωτών για εκπαίδευση οδηγών και τη διεξαγωγή ερευνητικών πειραμάτων σε θέματα συμπεριφοράς του οδηγού. Η εταιρεία συνεργάζεται με κορυφαία ερευνητικά κέντρα με σκοπό την περαιτέρω εξέλιξη των εκπαιδευτικών σεναρίων. Εκτός από τα σενάρια και την εκπαιδευτική σειρά τους, το λογισμικό περιλαμβάνει τη δυναμική οδήγησης, γεννήτρια ήχων και γραφικών, τη βάση δεδομένων, εικονικά αντικείμενα, τροποποιήσεις ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες της χώρας του πελάτη και το πρόγραμμα αξιολόγησης.

Επικουρικά, διατίθεται επίσης και σύστημα ήχου, παρέχοντας άλλη μία διάσταση στο όλο σύστημα. Το σύστημα ήχου αποτελείται από ένα μεγάφωνο ενεργητικού τύπου έτσι ώστε να μπορεί να συνδεθεί απευθείας στην έξοδο ήχου του υπολογιστή. Είναι τοποθετημένο εντός της καμπίνας του αυτοκινήτου. Όλοι οι ήχοι προέρχονται από ηχογραφήσεις, ιδιαίτερα ο ήχος της μηχανής, ο οποίος εξαρτάται από τις στροφές και τη ροπή της προσομοιωμένης μηχανής. Υπάρχουν διάφοροι άλλοι ήχοι όπως η μίζα, τα ελαστικά που τρίζουν, οι συγκρούσεις, η βροχή, ο άνεμος από την οδήγηση, ο ήχος των ελαστικών, της κυκλοφορίας και ανθρώπινη φωνή, ο ήχος του φρεναρίσματος, ο ήχος σύγκρουσης, οι ήχοι κραδασμών ανάλογοι του οδοστρώματος, οι ήχοι από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Τέλος, όσον αφορά στο στήσιμο της όλης εγκατάστασης, η συνολική καλυπτόμενη επιφάνεια (δεσμευόμενη έκταση), καθώς και ο τρόπος στησίματος, παρουσιάζεται στα παρακάτω σκαριφήματα.



Εικόνα 22: Κάτοψη ολοκληρωμένου συστήματος προσομοίωσης (καμπίνα, οθόνες κτλ.) της Smart Drive Ltd το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση εξέλιξης στην περίπτωση επιλογής καθιστού υποκειμένου.

## 4.2. Προηγμένα συστήματα κίνησης ως υποβάσεις (πλατφόρμες)

Οι τεχνολογίες της Smart Drive Ltd όσον αφορά στην προσομοίωση πρόκειται να εμπλουτιστούν με περαιτέρω οπτικοακουστικά μέσα και απτικά ερεθίσματα, αλλά και να προσαρμοστούν σε εξειδικευμένα, προηγμένα συστήματα κίνησης ώστε να προκύψει ένα ολοκληρωμένο τελικό προϊόν το οποίο να διεγείρει και να επενεργεί σε όλα τα αισθητήρια όργανα του χρήστη – χειριστή σε περιβάλλον εικονικής και επταυξημένης.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων κίνησης που υπάρχουν και που αναμένεται ότι είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες του έργου και πληρούν τις προδιαγραφές που απαιτούνται από ένα τέτοιο σύστημα, αναφέρονται παρακάτω. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες επιτρέπουν την κίνηση υπό τουλάχιστον 3 βαθμούς ελευθερίας, ενώ υπάρχουν και πλατφόρμες 6 ή και παραπάνω πολλαπλών βαθμών. Εξυπακούεται ότι συνήθως η αυξημένη πολυπλοκότητα κίνησης (ιδίως στα πιο εξελιγμένα μοντέλα) συνεπάγεται και αύξηση των βαθμών ελευθερίας, του βάρους και του αντίστοιχου κόστους.

Μολαταύτα, επισημαίνεται και στο σημείο αυτό ότι το σύστημα προσομοίωσης της Smart Drive Ltd θα εξυπηρετήσει και με το παραπάνω τις ανάγκες του παρόντος έργου υπό την προϋπόθεση ότι θα στηριχτεί / αναρτηθεί σε βάση κίνησης τουλάχιστον 3 βαθμών ελευθερίας, καθώς η τέταρτη διάσταση (4D) στην πλατφόρμα δυναμικής ανάδρασης πρόκειται να προσδοθεί από επιπρόσθετα εξωτερικά οπτικοακουστικά και απτικά ερεθίσματα ή, όπως επίσης προαναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους, ακόμη και με στόχο την όσφρηση. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά, τρεις εκ των κυριότερων υποβάσεων κίνησης με 2 βαθμούς ελευθερίας (2 DOF), με 3 βαθμούς ελευθερίας (3 DOF) και με 6 βαθμούς ελευθερίας (6 DOF).



Εικόνα 23: Ενδεικτικός μηχανισμός με 2 DOF (βαθμούς ελευθερίας) για χρήση του ως υπόβαση (πλατφόρμα) σε προσομοιωτή

Όσον αφορά στους λοιπούς αισθητήρες και ειδικότερα οι ενεργοποιητές επιτρέπουν την ανάπτυξη εξαιρετικά ρεαλιστικών εφαρμογών με λεπτομερείς υφές κίνησης, ταχύτητα, κραδασμούς κινητήρα και δυναμική του προσομοιωτή (π.χ. του οχήματος). Χρησιμοποιώντας το κιτ κίνησης SDK παρέχεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης πολλών ενεργοποιητών στο λογισμικό χρήστη / χειριστή ώστε, εντέλει, να δημιουργηθεί ένας ρεαλιστικός προσομοιωτής που να ανταποκρίνεται άμεσα στις

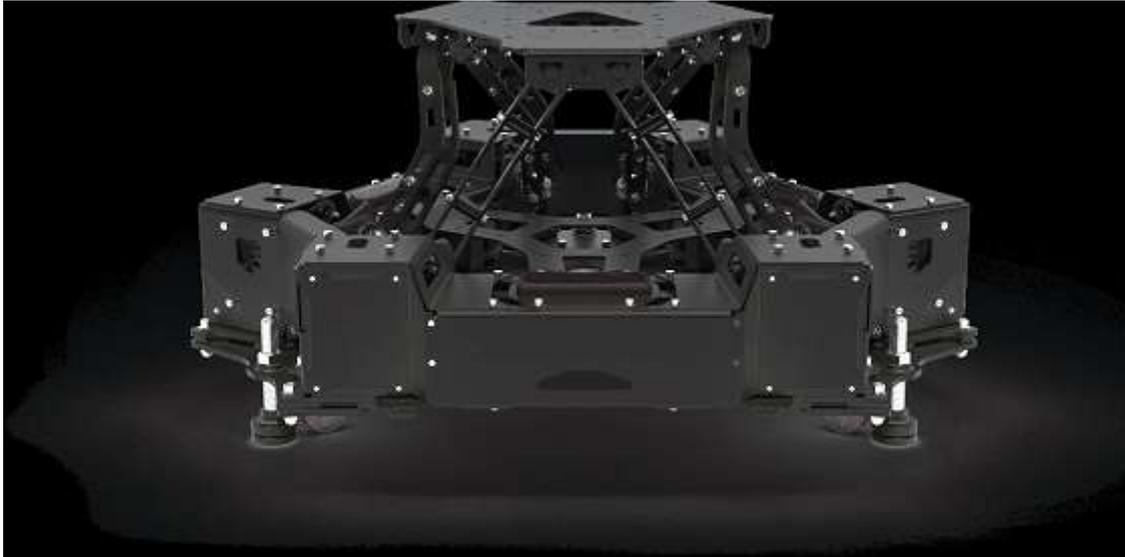
καταστάσεις που «τρέχουν» στην οθόνη βάσει προκαθορισμένων σεναρίων για να προσφέρει εμπειρία πραγματικής ζωής σε παιχνίδια ή εφαρμογές VR. Χρησιμοποιώντας απλό λογισμικό και το εργαλείο UNITY (που προαναφέρθηκε), το τελικό αποτέλεσμα απαντά σε προσομοιωτές κίνησης, πλατφόρμες κίνησης και δυναμικής ανάδρασης βιντεοπαιχνιδιών, ακόμη και σε ολόκληρες πλατφόρμες κίνησης πολλών χρηστών ταυτόχρονα (e.g. motion theatre).



Εικόνα 244: Ενδεικτικός μηχανισμός με 3 DOF (βαθμούς ελευθερίας) για χρήση του ως υπόβαση (πλατφόρμα) σε προσομοιωτή

Εξάλλου, αφού έγινε αναφορά βασικά σε επιπρόσθετο εξοπλισμό και λογισμικό, αξίζει να αναφερθεί η συνάφεια και η συμβατότητα της συγκεκριμένης τεχνολογίας με άλλες συσκευές και ειδικά προγράμματα εικονικής πραγματικότητας. Τέτοιες είναι το OCULUS / OCULUS Rift, HTC Vive & Vive pro. Η χρήση των πιο σύγχρονων και προηγμένων ακουστικών VR ενισχύει την εμπειρία, όμως παρόλο που όλα φαίνονται φυσικά, φωτορεαλιστικά και σχεδόν αληθινά υπάρχει ένα "αλλά", αφού κάθε διαθέσιμο σύστημα VR στην αγορά είναι ικανό να αντισταθμίσει και να εξαλείψει τις κινήσεις που προέρχονται από την πλατφόρμα κίνησης. Αυτό συμβαίνει διότι τα συστήματα κίνησης δημιουργούν αίσθηση των δυνάμεων που δρουν στο ανθρώπινο σώμα κάνοντας κάποιες κινήσεις. Αυτές οι κινήσεις αναγνωρίζονται από τα συστήματα VR ως κινήσεις κεφαλιού που είναι προφανώς λανθασμένες.

Όσο για το λογισμικό που χρησιμοποιείται, ενσωματώνει προηγμένους μαθηματικούς τύπους για να υπολογίσει την απαραίτητη αντιστάθμιση και το εφαρμόζει στο ακουστικό VR κατά το χρόνο εκτέλεσης. Εξαλείφει τις κινήσεις της πλατφόρμας από το σύστημα παρακολούθησης VR, με αποτέλεσμα οι εμπειρίες του χρήστη - χειριστή να είναι πιο απολαυστικές και αυθεντικές. Η μονάδα αντιστάθμισης είναι διαφανής για τους τελικούς χρήστες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με όλες σχεδόν τις πλατφόρμες κίνησης και το επίπεδο διόρθωσης μπορεί να προσαρμοστεί στις ατομικές προτιμήσεις των χρηστών με λίγες όσο και απλές ρυθμίσεις.



Εικόνα 255: Ενδεικτικός μηχανισμός με 6 DOF (βαθμούς ελευθερίας) για χρήση του ως υπόβαση (πλατφόρμα) σε προσομοιωτή.

Εντέλει, όπως παρουσιάζεται και παρακάτω, το ολοκληρωμένο σύστημα που θα προκύψει από την ενσωμάτωση κάποιων επιπρόσθετων τεχνολογιών που θα αναπαριστούν αντίστοιχα εξωτερικά ερεθίσματα πάνω στα συστήματα προσομοίωσης της Smart Drive Ltd, μπορεί να αναπαρασταθεί και από ένα «όρθιο» σύστημα, όπως περιγράφεται και στην παράγραφο «4.4 Εναλλακτικός τρόπος». Τέλος, υπάρχει ακόμη και το ενδεχόμενο ακόμη και της αγοράς κάποιου τμήματος του εξοπλισμού και η ανάπτυξη κάποιου άλλου, ανάλογα με τους πιθανούς συνδυασμούς που θα προκύψουν προς την κατεύθυνση μιας ολοκληρωμένης τεχνικά, άρτιας τεχνολογικά και σχεδιαστικά (αρχιτεκτονική συστήματος) και οικονομικά βιώσιμης λύσης, όσον αφορά στην υλοποίηση της πλατφόρμας δυναμικής ανάδρασης 4D. η μόνη προϋπόθεση και δυνητικά ο μοναδικός περιορισμός έγκειται στην πιθανότητα ενοποίησης των συστημάτων και της ύπαρξης διαλειτουργικότητας και συμβατότητας μεταξύ τους, οπότε η τελική απόφαση επαφίεται στη σύμφωνη γνώμη των εταιρών (ΙΠΤΗΛ και ΝΟΗΣΙΣ) της Κοινοπραξίας του έργου Activator.

### **4.3. Σύστημα σχεδίασης**

Σε μία αγορά, αυτή της εικονικής πραγματικότητας και των εφαρμογών της, η οποία αναμένεται να προσεγγίσει έναν ετήσιο κύκλο εργασιών της τάξεως των 35 περίπου δις δολαρίων ως το 2023 (πηγή: Greenlight Insights), η παράγραφος αυτή είναι αφιερωμένη στο σύστημα σχεδίασης τρισδιάστατων - 3D μοντέλων, animation, παιχνίδια, εικόνες και άλλες εφαρμογές, πληρώνοντας απόλυτα τις ανάγκες του έργου Activator. Το Autodesk 3ds Max, πρώην Studio 3D και 3D Studio Max, αποτελεί ένα επαγγελματικό πρόγραμμα γραφικών 3D για την παραγωγή 3D animations, μοντέλων, παιχνιδιών και εικόνων. Αναπτύσσεται και παράγεται από την Autodesk Media and Entertainment. Διαθέτει δυνατότητες μοντελοποίησης και ευέλικτη αρχιτεκτονική plugin, ενώ ως προαπαιτούμενο έχει τη χρήση του σε πλατφόρμα Microsoft Windows. Χρησιμοποιείται συχνά από προγραμματιστές τηλεοπτικών παιχνιδιών, πολλά τηλεοπτικά στούντιο και αρχιτεκτονικά στούντιο απεικόνισης, στην κατασκευή και επεξεργασία οπτικών εφέ ταινιών, καθώς επίσης και στην προοπτικοποίηση ταινιών. Για τα εργαλεία μοντελοποίησης και κινούμενης εικόνας, η τελευταία έκδοση του 3ds Max διαθέτει επίσης shaders (όπως απόφραξη περιβάλλοντος και υποεπισκόπηση), δυναμική προσομοίωση, συστήματα σωματιδίων, ραδιοσυχνότητα, δημιουργία χάρτη, φωτισμό, προσποποιημένη διεπαφή μηχανής / προγράμματος χρήστη - χειριστή, νέα εικονίδια και τη δική της γλώσσα συγγραφής.

Επιπλέον, δεδομένου ότι κατά την ερχόμενη δεκαετία τα λογισμικά ανοιχτού κώδικα για Η/Υ πρόκειται να εδραιωθούν και να κυριαρχήσουν, το Blender αποτελεί σούιτα δημιουργίας ελεύθερων και ανοικτών τρισδιάστατων γραφικών. Υποστηρίζει το σύνολο του τρισδιάστατου μοντέλο (3D pipeline modeling), το rigging, το animation, την προσομοίωση, την απόδοση, τη σύνθεση και την παρακολούθηση κίνησης, την επεξεργασία βίντεο κτλ.

Εξάλλου, σύμφωνα και με αυτά που παρουσιάζονται παραπάνω, εκτός από το OCULUS Rift των πάνω από 300000 επίσημων χρηστών στον κόσμο, φαίνεται ότι το επόμενο βήμα είναι το HTC Vive. Αποτελεί μηχανήμα που ενσωματώνει σύστημα κεφαλής για την προβολή και προσομοίωση οπτικοακουστικών ερεθισμάτων εικονικής πραγματικότητας, καθώς και άλλα χειριστήρια και τεχνολογίες, το οποίο αναπτύχθηκε από την HTC και την Valve. Το σετ μικροφώνου-ακουστικού χρησιμοποιεί την τεχνολογία παρακολούθησης "κλίμακας δωματίου", επιτρέποντας στον χρήστη να μετακινείται σε τρισδιάστατο χώρο και να χρησιμοποιεί χειριστήρια χειρός που παρακολουθούνται με κίνηση για να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον. Οι τεχνολογίες και τα συστήματα που περιλαμβάνει είναι (πηγή: Wikipedia):

- Vive Headset: Το ακουστικό Vive έχει ρυθμό ανανέωσης 90 Hz και οπτικό πεδίο 110 μοιρών. Η συσκευή χρησιμοποιεί δύο πάνελ OLED, ένα ανά μάτι, το καθένα από τα οποία έχει ανάλυση οθόνης 1080 × 1200 (2160 × 1200 συνδυασμένα εικονοστοιχεία). Τα χαρακτηριστικά ασφαλείας περιλαμβάνουν μια κάμερα που βλέπει προς τα εμπρός και επιτρέπει στο χρήστη να παρακολουθεί το περιβάλλον του χωρίς να αφαιρεί το σετ μικροφώνου-ακουστικού. Το λογισμικό μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει την κάμερα για να εντοπίσει οποιαδήποτε κινούμενα ή στατικά αντικείμενα σε ένα δωμάτιο. Μέσα από τα εξωτερικά κελύφη του ακουστικού υπάρχουν δεκάδες αισθητήρες υπέρυθρων που ανιχνεύουν τους παλμούς υπέρυθρων σταθμών βάσης για να προσδιορίσουν την τρέχουσα θέση του ακουστικού σε ένα χώρο. Άλλοι αισθητήρες περιλαμβάνουν αισθητήρα G, γυροσκόπιο και αισθητήρα εγγύτητας.
- Vive Controllers: Οι ελεγκτές έχουν πολλαπλές μεθόδους εισόδου που περιλαμβάνουν ένα track pad, κουμπιά πιασίματος και μια σκανδάλη δύο σταδίων και μια χρήση ανά φόρτιση περίπου 6 ωρών. Από το δαχτυλίδι του ελεγκτή υπάρχουν 24 υπέρυθροι αισθητήρες που ανιχνεύουν τους σταθμούς βάσης για τον προσδιορισμό της θέσης του ελεγκτή. Το σύστημα παρακολούθησης SteamVR χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της θέσης του ελεγκτή με ακρίβεια κλάσματος ενός χιλιοστού, με ρυθμούς ενημέρωσης που κυμαίνονται από 250 Hz έως 1 kHz.
- Vive Base Stations (σταθμοί βάσης) ή Lighthouse tracking system: Αποτελείται από δύο μαύρα κουτιά που δημιουργούν ένα εικονικό χώρο 360° μοιρών με ακτίνα περίπου 5 μέτρων. Οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν χρονομετρημένους υπέρυθρους παλμούς σε 60 παλμούς ανά δευτερόλεπτο οι οποίοι στη συνέχεια συλλαμβάνονται από το σύστημα κεφαλής και τους ελεγκτές με ακρίβεια κάτω από το χιλιοστόμετρο. Ο ασύρματος συγχρονισμός μειώνει την ποσότητα των καλωδίων καθώς και τα πρότυπα σπειρώματα που κάνουν τους σταθμούς βάσης πρακτικούς για χρήση σε ένα σπίτι ή μια αίθουσα προβολής ή πολλαπλών χρήσεων.
- Vive Tracker: Αποτελεί αξεσουάρ παρακολούθησης κίνησης και έχει σχεδιαστεί για να συνδέεται με φυσικά εξαρτήματα και ελεγκτές, ώστε να μπορεί να παρακολουθείται μέσω του προαναφερθέντος συστήματος (Lighthouse tracking system). Οι Vive Trackers διαθέτουν μια υποδοχή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επικοινωνία με το εξάρτημα στο οποίο είναι συνδεδεμένο. Αρχικά, το Vive Tracker πωλήθηκε ως αυτόνομο προϊόν και σε δέσμες – σετ με αξεσουάρ και παιχνίδια που σχεδιάστηκαν για να ενσωματωθούν μαζί του,

όπως το Hyper Blaster (ελεγκτής ελαφρού πιστολιού) και μια ρακέτα σχεδιασμένη για αθλητικά παιχνίδια. Άλλα αξεσουάρ τρίτων έχουν σχεδιαστεί για χρήση με τους Vive Trackers, όπως μπάντες που έχουν σχεδιαστεί για να συνδέονται με τα χέρια ή τα πόδια των χρηστών για να επιτρέπουν την παρακολούθηση (των κινήσεων και της στάσης) του σώματος.

- Vive Deluxe Audio Strap: Αποτελεί αξεσουάρ που προσθέτει ενσωματωμένα εξωτερικά ακουστικά, βελτιώνοντας την άνεση του HMD χάρη στην καλύτερη κατανομή βάρους (έντασης) του ήχου.
- Vive Wireless Adapter: Αρχικά, ο συγκεκριμένος αντάπτορας κυκλοφόρησε ως αξεσουάρ των HTC Vive και Vive Pro. Επιτρέπει την ασύρματη σύνδεση του συστήματος κεφαλής με τον Η/Υ.
- Valve index controllers: Το Vive μπορεί να χρησιμοποιήσει τους ελεγκτές Valve Index Controllers (γνωστοί κατά την ανάπτυξη ως ελεγκτές αρθρώσεων) που αναπτύχθηκαν από την Valve.

Επισημαίνεται ότι αρχικώς το Vive απαιτούσε υπολογιστές με Microsoft Windows, αλλά σύντομα πέρασε και σε Linux και MacOS, με σκοπό τη σχεδίαση εφαρμογών προγραμμάτων και παιχνιδιών.

#### 4.3.1 Εξέλιξη Vive

Όσον αφορά στην εξέλιξη, περί τα τέλη του 2018 η HTC παρουσίασε ένα αναβαθμισμένο μοντέλο Vive γνωστό ως HTC Vive Pro. Διαθέτει οθόνες υψηλότερης ανάλυσης, μεγαλύτερη ανάλυση 1440x1600 ανά μάτι, μαζί με μια δεύτερη κάμερα προς τα έξω, προσαρμοσίμα ακουστικά, μικρόφωνο για ανάλυση ακύρωσης θορύβου και ανανεωμένο σχέδιο με πιο ισορροπημένη μορφή, ενώ έχει και ελαφρύτερο βάρος και μέγεθος. Το Vive Pro χρησιμοποιεί υποδοχή USB 3.0 (USB Type A) και Display Port για σύνδεση με τον υπολογιστή. Μια κρυφή υποδοχή USB-C μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση μιας πρόσθετης συσκευής USB στο Vive Pro HMD. Το Vive Pro πωλείται παράλληλα με το πρωτότυπο ως μοντέλο υψηλού επιπέδου. Το πακέτο μόνο για το προβολικό σύστημα κεφαλής Vive Pro απευθύνεται σε υπάρχοντες χρήστες Vive, καθώς οι Lighthouse Base Stations πρέπει να χρησιμοποιούν το σετ μικροφώνου-ακουστικού, αλλά δεν περιλαμβάνονται στη συσκευασία. Δύο διαφορετικές δέσμες / εκδόσεις πωλούνται στην αγορά εδώ και πάνω από ένα έτος:

- i. Το Vive Pro Starter Kit, που περιλαμβάνει ένα προβολικό σύστημα κεφαλής Vive Pro και τους αρχικούς σταθμούς βάσης SteamVR 1.0 Lighthouse, καθώς και ελεγκτές.
- ii. Το Vive Pro Full Kit, που περιλαμβάνει ένα προβολικό σύστημα κεφαλής Vive Pro και τους πιο πρόσφατους σταθμούς βάσης SteamVR 2.0 Lighthouse, καθώς και ελεγκτές.

Το Vive Pro, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο με τους σταθμούς βάσης SteamVR 1.0 όσο και με το SteamVR 2.0 Lighthouse, είναι συμβατό με όλα τα υπάρχοντα αξεσουάρ Vive. Ωστόσο, όλα τα εξαρτήματα Vive δεν υποστηρίζουν και τις δύο διαθέσιμες εκδόσεις των σταθμών βάσης Lighthouse Base Stations. Οι σταθμοί βάσης SteamVR 2.0 δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τους ελεγκτές που αποστέλλονται με το πρότυπο πακέτο Vive και τους αρχικούς Vive Trackers (πριν "Vive Tracker 2018"). Οι σταθμοί βάσης SteamVR 2.0 επιτρέπουν τη χρήση περισσότερων από δύο σταθμών βάσης σε ένα (οπτικά αδιάκριτο) δωμάτιο, το οποίο επιτρέπει να υποστηριχθεί ένας χωροδιατηρημένος χώρος μεγέθους έως και 10 x 10 m.

Επικουρικά, νέα προϊόντα λανσαρίστηκαν κατά το τελευταίο ημερολογιακό έτος (από τα τέλη του 2019 και εντεύθεν):

- ✓ Vive Pro Eye, τον Ιανουάριο του 2019, αποτελώντας μια αναβαθμισμένη έκδοση του HTC Vive Pro. Η νέα συσκευή διαθέτει ενσωματωμένη λειτουργία για την παρακολούθηση των οφθαλμών (eye monitoring and tracking), η οποία επιτρέπει την αλληλοεπικαλυπτόμενη απόδοση και την ανοικτή συνομιλία σε VR, καθώς και επιλογές προσβασιμότητας για χρήστες που δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τακτικούς ελεγκτές κίνησης.
- ✓ Vive Focus, το Νοέμβριο του 2018, ως ένα αυτόνομο (σε αντίθεση με το δέσιμο σε υπολογιστή) προβολικό σύστημα κεφαλής που πρωτολανσαρίστηκε στην Κίνα και στη συνέχεια κυκλοφόρησε και σε παγκόσμιο επίπεδο (σε 37 χώρες).
- ✓ Vive Cosmos, το Νοέμβριο του 2018 (αποκαλύφθηκε επισήμως στις 7 Ιανουαρίου), που περιλαμβάνει σετ μικροφώνου-προβολικού συστήματος κεφαλής που περιλαμβάνει το σύστημα κεφαλής με αναδιπλούμενη οθόνη που επιτρέπει στον χρήστη να βλέπει τον πραγματικό κόσμο χωρίς να βγάζει το σετ εντελώς, τέσσερις κάμερες εντοπισμού (δύο μπροστά και μία σε κάθε πλευρά) και δύο ελεγκτές κίνησης ακουστικών. Άμεσα θα κυκλοφορήσει πρόσθετη τεχνολογία που θα επιτρέψει τη συμβατότητα με το αρχικό σύστημα παρακολούθησης SteamVR. Ωστόσο, οι ελεγκτές της Cosmos δεν υποστηρίζουν την παρακολούθηση SteamVR.

Τέλος, όσον αφορά στις προδιαγραφές του συστήματος, ο παρακάτω πίνακας είναι χαρακτηριστικός και παρέχεται από τον επίσημο ιστότοπο της Vive (πηγή: <https://developer.vive.com/resources/knowledgebase/vive-specs/>):

Πίνακας 3: Προδιαγραφές και τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών Vive

#### Headset Specs

Screen: Dual AMOLED 3.6" diagonal

Resolution: 1080 x 1200 pixels per eye (2160 x 1200 pixels combined)

Refresh rate: 90 Hz

Field of view: 110 degrees

Safety features: Chaperone play area boundaries and front-facing camera

Sensors: SteamVR Tracking, G-sensor, gyroscope, proximity

Connections: HDMI, USB 2.0, stereo 3.5 mm headphone jack, Power, Bluetooth

Input: Integrated microphone

Eye Relief: Interpupillary distance and lens distance adjustment

Controller Specs

Sensors: SteamVR Tracking

Input: Multifunction trackpad, Grip buttons, dual-stage trigger, System button, Menu button

Use per charge: Approx. 6 hours

Connections: Micro-USB charging port

Tracked Area Requirements

Standing / seated: No min. space requirements

Room-scale: 6'6" x 4'11" min. room size, 11'5" x 11'5" max

Minimum Computer Specs

Graphics: NVIDIA® GeForce® GTX 1060 or AMD Radeon™ RX 480, equivalent or better.

Processor: Intel® Core™ i5-4590 or AMD FX™ 8350, equivalent or better

Memory: 4 GB RAM or more

Video out: HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 or newer

USB ports: 1x USB 2.0 or better port

Operating system: Windows® 7 SP1, Windows® 8.1 or later, Windows® 10

**4.4. Εναλλακτικός τρόπος – Όρθια θέση του χρήστη**

Στην παράγραφο αυτή, περιγράφεται μία εναλλακτική λύση ως προς ένα πιθανό σενάριο σχεδιασμού και αρχιτεκτονικής του ολοκληρωμένου συστήματος – τελικού προϊόντος που συνιστά μία προηγμένη πλατφόρμα δυναμικής ανάδρασης 4D, που θα «επιτρέπει» την εισαγωγή και εμπύθιση του χρήστη – χειριστή σε περιβάλλον εικονικής ή / και επαυξημένης πραγματικότητας, ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής και του κάθε project.

Στην περίπτωση αυτή, με τη βοήθεια χειριστηρίων, πλατφόρμας κίνησης, ζώνης συγκράτησης - ισορροπίας και συστήματος προβολής κεφαλής, ο χρήστης – χειριστής, έστω και φαινομενικά,



περπατάει και προβαίνει σε διάφορες κινήσεις, ανάλογα με το σενάριο που τρέχει.

Εικόνα 26: Εναλλακτικό «όρθιο» σύστημα εμβύθισης σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι υπάρχουν εταιρείες οι οποίες ήδη έχουν αναπτύξει προϊόντα κατέχοντας δεκάδες διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας, εστιάζοντας σε διάφορους ερευνητικούς τομείς όπως οι διαδραστικές τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας, ο εργονομικός σχεδιασμός και η τεχνολογία δέσμευσης κίνησης. Δραστηριοποιούνται στον τομέα ανάπτυξης τεχνολογιών με σκοπό την αποτελεσματικότερη εμβύθιση σε εικονικά περιβάλλοντα μόλις την τελευταία δεκαετία, ενώ πολλά από τα project τους φαίνεται να συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον της ερευνητικής και όχι μόνο κοινότητας, αφού χρηματοδοτούνται μέσω της πλατφόρμας κοινωνικής χρηματοδότησης kickstarter crowdfunding και άλλα παρόμοια κανάλια και μηχανισμούς στήριξης και οικονομικής βοήθειας.

Η μέχρι σήμερα εμπειρία από την επαφή της Smart Drive Ltd με την αγορά είναι ότι δεν υπάρχει κάποιο αξιόπιστο και έτοιμο προϊόν το οποίο να συνδυάζει αφενός τα χαρακτηριστικά της όρθιας θέσης, αφετέρου να μπορεί αυτό το σύστημα να εδράζεται επί εδάφους κινητής βάσης για την προσομοίωση των δονήσεων και των υπόλοιπων κινήσεων. Σύμφωνα με εσωτερική πληροφόρηση που έχει λάβει η Smart Drive Ltd από εταιρείες/συνεργάτες της που παραδίδουν συστήματα κίνησης ανά τον κόσμο, έχουν προηγηθεί προσπάθειες για την ανάπτυξη ενός συστήματος προσομοίωσης το οποίο να περιλαμβάνει ταυτόχρονα όρθια θέση και υπόβαση κίνησης με 2, 3 ή και 6 βαθμούς ελευθερίας, όμως όλες κατέληξαν χωρίς το επιθυμητό αποτέλεσμα και το κυριότερο έχοντας επενδυθεί σημαντικά ποσά και χρόνος.

Στόχος του έργου Activator είναι η κατασκευή ενός συνολικού συστήματος (software – hardware) το οποίο πρωτοτυπώντας θα αναδείξει το πολιτισμικό προϊόν της Ελλάδας και όχι η επίλυση τεχνικών προβλημάτων που έχουν συσσωρευτεί στην παγκόσμια αγορά προσομοιωτών. Η Smart Drive Ltd θεωρεί ότι δεν αποτελεί αντικείμενο του παρόντος έργου (Activator) η κατασκευή ενός πρωτότυπου συστήματος κίνησης και ανάδρασης το οποίο θα επιλύσει προβλήματα που υπάρχουν στην παγκόσμια αγορά προσομοιωτών. Λαμβάνοντας υπόψη το δεδομένο που αναφέρθηκε παραπάνω ότι έχουν αποτύχει κορυφαίες εταιρείες να παράξουν προϊόν σε ένα λογικό κόστος ή τουλάχιστον με τον προϋπολογισμό που διαθέτει το έργο για την κατασκευή του συνόλου «καμπίνα-σύστημα κίνησης» ο συνδυασμός όρθιου χρήστη και συστήματος κίνησης με πολλαπλούς βαθμούς ελευθερίας φαίνεται απαγορευτικός. Αυτό συμβαίνει και για έναν ακόμα λόγο: Την ασφάλεια του χρήστη από πτώσεις ή/και χτυπήματα περί του εξοπλισμού προσομοίωσης.

Συνεπώς εάν προχωρήσει η ομάδα του έργου στην επιλογή μίας τέτοιας λύσης για όρθιο χρήστη, αυτό θα πρέπει να γίνει ανεξάρτητα από την επιλογή λύσης με κίνηση και καθιστή θέση. Αυτό όμως σημαίνει πως εάν επιλεγούν δύο λύσεις διπλασιάζεται το κόστος απόκτησης και κυρίως προσαρμογής του λογισμικού και στις δύο αυτές λύσεις, κάτι που θα πρέπει οπωσδήποτε να ληφθεί σοβαρά υπόψη στις αποφάσεις που θα λάβει ο ομάδα του έργου για την πορεία της ολοκλήρωσης της «καμπίνας προσομοίωσης».

#### 4.5. Σύγκριση βάσεων κίνησης για τη δημιουργία της καμπάνιας προσομοίωσης για το έργο Activator

Δεδομένων των παραπάνω στοιχείων προκύπτει ότι υπάρχουν διάφορες μέθοδοι οι οποίες είναι δυνατόν να αναπαραστήσουν την κίνηση των τριών (3) διαφορετικών εφαρμογών λογισμικού εικονικής πραγματικότητας οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν στο έργο Activator.

Το έργο Activator έχει στόχο την παρουσίαση της Αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας και του σημαντικότερου πολιτισμού που είχε αναπτυχθεί εκείνη την εποχή, μέσα από μία εύπεπτη διαδικασία ψυχαγωγίας με διαδραστικό τρόπο που είναι οι προσομοιωτές.

Κεντρικό σύνθημα και μήνυμα της Smart Drive Ltd είναι ότι η διασκέδαση και η εκπαίδευση «πάνε μαζί», και αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τη εκμάθηση με διαδραστικό τρόπο και βιωματικό.

Η υλοποίηση θεωρητικής-διαδραστικής εκπαίδευσης και πρακτικής εκπαίδευσης και η χρήση εκπαιδευτικού **προσομοιωτή χειρισμού ανυψωτικού περονοφόρου μηχανήματος και άλλων διαδραστικών εργαλείων βιωματικής εκπαίδευσης**, καταστούν το σεμινάριο ιδιαίτερα ελκυστικό, ενδιαφέρον και το κυριότερο αποτελεσματικό. Είναι επιστημονικά τεκμηριωμένο ότι αποτελούν μία βέλτιστη πρακτική για τη μεγιστοποίηση του προσδοκώμενου αποτελέσματος και είναι καινοτόμο και μοναδικό στην Ευρωπαϊκή αγορά αφού συνδυάζει τις νέες τεχνολογίες με τα Ευρωπαϊκά Standards.

Από το Παραδοτέο 1.2 προκύπτουν τα εξής σενάρια όπως αποτυπώνονται στον παρακάτω Πίνακα:

Πίνακας 4: Σενάρια, επιλογές τύπων χρηστών, αντικειμένων και προσδιορισμός αναδράσεων

Σενάρια / Επιλογές	Η πολιορκία της Ρόδου	Το ναυάγιο των Αντικυθήρων	Ο πρώτος πολιτισμός της Ευρώπης
Στόχος	Ο χρήστης να γνωρίσει την πολιορκητική τεχνολογία των αρχαίων Ελλήνων μέσα από τη εικονική χρήση της Ελέπολης	Ο χρήστης έρχεται σε επαφή με: <ul style="list-style-type: none"> <li>το μηχανισμό των Αντικυθήρων</li> <li>Το ναυάγιο των Αντικυθήρων και</li> <li>Την Αστρονομία ως κατεξοχήν Ελληνικής επιστήμης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Η γνωριμία του χρήστη με τον προϊστορικό οικισμό του Ακρωτηρίου της Σαντορίνης, του πρώτου πολιτισμού στην Ευρώπη.</li> <li>Η κατανόηση της τεράστιας επίδρασης μίας φυσικής καταστροφής (έκρηξη ηφαιστείου)</li> </ul>
Χρονολογία	305-304 π.Χ. – Πολιορκία της Ρόδου	Στο παρόν (2020 μ.Χ.) με μεταφορά στο 1900 μ.Χ.	1613 π.Χ. – Ύστερη εποχή του Χαλκού

Τόπος	Το Λιμάνι της Ρόδου.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Αίθουσα «Ναυάγιο των Αντικυθήρων» στο Μουσείο Αρχαίας Τεχνολογίας (σήμερα)</li> <li>2. Λιμάνι Αντικυθήρων (1900 μ.Χ.)</li> <li>3. Γραφείο ερευνητή – επιστήμονα (σήμερα)</li> </ol>	Σαντορίνη (Θήρα) – οικισμός Ακρωτηρίου
Πρωταγωνιστές	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Δημήτριος ο Πολιορκητής</li> <li>2. Στρατιώτης ο Ροδίτης</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ερευνητή - Επιστήμονα</li> <li>2. Συμιακού σφουγγαρά</li> </ol>	Κάτοικος του οικισμού
Πολεμικά Όπλα	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολιορκητικός Κριός,</li> <li>• Κόραξ,</li> <li>• Καταπέλτης,</li> <li>• Τόξο,</li> <li>• Δόρυ,</li> <li>• Δάδα,</li> <li>• Γάντζος με αλυσίδα</li> </ul>		
Σκηνικό	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σούρουπο στο λιμάνι της Ρόδου με στρατιώτες εκατέρωθεν.</li> <li>• Παρουσίαση πολεμικών όπλων, σπαθί (ρόλος Δημητρίου Πολιορκητή και τόξο (ρόλος Ροδίτη στρατιώτη)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Μουσείο με σκοτεινή αίθουσα και κατευθυνόμαστε στο Ναυάγιο των Αντικυθήρων</li> <li>2. Πρωί στο λιμάνι των Αντικυθήρων ο σφουγγαράς παρατηρεί μία μεταλλική λάμψη</li> <li>3. Στο γραφείο ο ερευνητής προσπαθεί να συνθέσει τα θραύσματα του πρώτου υπολογιστή στον κόσμο</li> </ol>	Λιθόστρωτος δρόμος του νησιού με καθημερινή ζωή, πέτρινα σπίτια σε πυκνή δόμηση αστικού περιβάλλοντος, εργασιακό περιβάλλον (βάρκες, ψαράδες, συλλογή κρόκων από γυναίκες). Αρχή των πρώτων σεισμικών δονήσεων

<p>Ροή Δράσης</p>	<p>1. Ο χρήστης ως Δημήτριος Πολιορκητής:</p> <p>Ανεβαίνει μέσω σκάλας από όροφο σε όροφο, με χρήση τόξου, καταπέλτη, ακόντιου, πολιορκητικού κριού, κόρακα.</p> <p>2. Ο χρήστης ως Ροδίτης στρατιώτης:</p> <p>Μέσα από τα τείχη ρίχνει βέλη, χρησιμοποιεί δόρυ, δάδα, γάντζο με αλυσίδα και χτίζει πέτρινο.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Κλείσιμο σεναρίου:</li> </ul> <p>Ο Δημήτριος απομακρύνεται, ο «Κολοσσός της Ρόδου» βρίσκεται στο πλοίο, οι Ροδίτες πουλάν την Ελέπολη και κατασκευάζουν με τα χρήματα αυτά τον «Κολοσσό της Ρόδου».</p>	<p>1. Ο χρήστης ως ερευνητής βρίσκεται στο Μουσείο, αγγίζοντας τη βιτρίνα με το Μηχανισμό των Αντικυθήρων τηλεμεταφέρεται με αίσθηση δόνησης σε ένα καράβι</p> <p>2. Ο χρήστης ως σφουγγαράς και το πρωί στο λιμάνι καταδύεται και συλλέγει θραύσματα με αίσθηση ανύψωσης προς την επιφάνεια της θάλασσας. Φτάνοντας στην επιφάνεια, τηλεμεταφέρεται στο Μουσείο με αίσθηση δόνησης.</p> <p>3. Ο χρήστης ως ερευνητής συνθέτει τα κομμάτια του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.</p>	<p>1. Ο χρήστης βλέπει μία καμένη πέτρα, την πιάνει. Περπατάει στο αστικό περιβάλλον και φτάνει σε ένα σπίτι με πιθάρια.</p> <p>2. Σηκώνει ένα πιθάρι (αίσθηση αντίστασης) για να το τακτοποιήσει και νιώθει την πρώτη σεισμική δόνηση (αίσθηση αντίστασης). Τα πιθάρια πέφτουν και σπάνε. Οι πέτρες από τον τοίχο αρχίζουν να πέφτουν.</p> <p>3. Βγαίνει από το κτίσμα και πάει στο λιμάνι. Μπαίνει σε ένα πλοίο κρατώντας ένα πιθάρι και υπάρχει θαλασσοταραχή (αίσθηση κουνήματος).</p> <p>4. Πιάνει ένα κουπί με δυσκολία (αίσθηση αντίστασης), το ηφαίστειο βρυχάται (αίσθηση δόνησης) και ξανοίγεται στο πέλαγος παρατηρώντας την καταστροφή από ασφαλές μέρος στο τέλος του σεναρίου</p>
-------------------	---	--	---

Κατόπιν των παραπάνω είναι εμφανές ότι ο χρήστης δύναται να βρίσκεται είτε καθιστός, είτε όρθιος, με επικρατέστερο σενάριο την καθιστή θέση, η οποία είναι περισσότερο κοντά στα σενάρια 2 και 3 (Το ναυάγιο των Αντικυθήρων και του Πρώτου Πολιτισμού στην Ευρώπη).

Η καθιστή θέση του χρήστη είναι περισσότερο ασφαλής και δεν χρειάζεται κάποιου είδους αγκύρωση του χρήστη όπως αυτή εμφανίζεται στην Εικόνα 27 της παραγράφου 4.4 όπου και περιγράφεται μία εναλλακτική μέθοδος αξιοποίησης του λογισμικού, με τον χρήστη να είναι εμφανώς όρθιος και αγκυρωμένος. Εκείνο που πιθανόν δε φαίνεται με την πρώτη ματιά, είναι ότι καμία από τις δύο (2) παρατεθείσες λύσεις της Εικόνας 27 δε χρησιμοποιεί κανενός είδους υπόβασης κίνησης (πλατφόρμας), η οποία αποτελεί ξεκάθαρα ένα αντικείμενο που διάφορες επιστημονικές, ερευνητικές και βιομηχανικές ομάδες προσπάθησαν να εφαρμόσουν, ανεπιτυχώς όμως μέχρι σήμερα, μάλιστα με προϋπολογισμό πολλαπλάσιο του έργου Activator.

Η καθιστή θέση επικρατεί της όρθιας ακόμα και για την περίπτωση της Άλωσης του Ρόδου, όπου υπάρχει μάχη και υπάρχει ανάδραση με τα χειριστήρια και τα πολεμικά όπλα τα οποία έχουν ανάδραση. Η συμμετοχή σε μάχη μπορεί να γίνει είτε με όρθια, είτε με καθιστή θέση, όμως καθιστή προφανώς είναι και η παραδοσιακά λειτουργική σε κάθε περίπτωση.

Τα σενάρια αυτά περιλαμβάνουν γραφείο ερευνητή για τη συναρμολόγηση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων και συλλογή αντικειμένων από ναυάγιο, ενώ το 3<sup>ο</sup> σενάριο περιλαμβάνει κίνηση σε σκάφος με κυματισμό και δονήσεις. Σε αυτό το σενάριο είναι απαραίτητη η δυνατότητα σημαντικής ανύψωσης/ βύθισης (σε εκατοστά). Η ανύψωση στο Ναυάγιο των Αντικυθήρων αποτελεί σημαντικό τμήμα της τηλεμεταφοράς κατά την ανάβαση του δύτη προς την επιφάνεια της θάλασσας. Παράλληλα όμως αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα ρεαλισμού στην έκρηξη του Ηφαιστείου της Σαντορίνης. Στην τελευταία μπορεί να αποδοθεί ρεαλιστικότερα η κίνηση του πλοίου μέσα από τα τεράστια κύματα μέσω της πλευρικής ή/και της διαμήκουσ παρέκκλισης. Από την άλλη οι εγκάρσιες και οι διαμήκεις στροφές υποστηρίζουν άνετα την αίσθηση ρεαλισμού στον τελικό χρήστη της αίσθησης κίνησης των κυματισμών.

Σε συνέχεια της περιγραφής των σεναρίων και των απαιτήσεων που καταδεικνύει το καθένα από αυτά, θα πρέπει να μελετηθεί συγκριτικά η διαθεσιμότητα συστημάτων κίνησης ως υπόβαση για την κατασκευή επ' αυτών της «καμπίνας» η οποία θα φιλοξενεί το χρήστη. Στον Πίνακα 5 που ακολουθεί έχουν απαριθμηθεί τα βασικότερα εκ των χαρακτηριστικών, όπως ενδεικτικές τεχνικές προδιαγραφές, δυνατότητες και περιορισμοί της κάθε λύσης, όσον αφορά την όρθια και καθιστή χρήση από τους ενδιαφερόμενους. Επιπλέον, αναλύονται οι δυνατότητες μεταφοράς της κάθε λύσης, η απαραίτητη αγκύρωση του χρήστη για λόγους ασφάλειας και προστασίας της σωματικής του ακεραιότητας. Τέλος, αναφέρονται ενδεικτικά κόστη απόκτησης του εξοπλισμού της υπόβασης, μετατροπής και διασύνδεσής της με το υπό ανάπτυξη λογισμικό από το ΙΠΤΗΛ/ΕΚΕΤΑ και γίνεται μία παράθεση του κόστους συντήρησης.

Η αναφορά γίνεται σε μηχανισμούς που βρίσκονται στο μέσο Ευρωπαϊκό όρο, αποκλείοντας κατασκευαστές από την Κίνα και άλλες Ασιατικές χώρες. Το ίδιο συμβαίνει και με τις ΗΠΑ, τον Καναδά ή την Αυστραλία. Οι πρώτες χώρες είναι πολύ φθηνές μεν, αλλά σχετικά αναξιόπιστες όσον αφορά τη διάρκεια ζωής, ενώ οι δεύτερες χώρες παρέχουν ακριβότερες λύσεις, σχετικά αξιόπιστες, όμως πρέπει να συνυπολογιστεί και το κόστος εκτελωνισμού και τα σημαντικά ακριβότερα μεταφορικά τα οποία συνοδεύουν εφ' όρου ζωής το προϊόν, αφού για κάθε ανταλλακτικό πιθανόν χρειαστεί, θα επηρεάζουν την τελική τιμή προς τα επάνω.

Πίνακας 5: Σύγκριση τυπικών συστημάτων κίνησης (ως υπόβασης) με διαφορετικούς βαθμούς ελευθερίας (2-3-6)

A/A	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	2 DOF	3 DOF	6 DOF
1	Μηχανικά Μέρη	Μέτρια	Σύνθετα	Πολύ Σύνθετα
2	Θέση Χρήστη Καθιστή	Ναι	Ναι	Ναι
3	Θέση Χρήστη Όρθια	Ναι	Ναι	Όχι
4	Αγκύρωση Όρθιου Χρήστη	Ναι	Ναι	----
5	Ευελιξία Συχνής Μεταφοράς (σε Εκθέσεις)	Μεγάλη	Μέτρια	Αδύνατη
6	Χρήση επί κινητού μέσου (φορητό, τρέιλερ)	Ναι	Ναι	Όχι
7	Ηλεκτρομαγνητικό φρένο	Όχι	Ναι	Ναι
8	Συμβατότητα με μηχανές γραφικών Unity / Unreal	Ναι	Ναι	Ναι
9	Συμβατότητα με VR	Ναι	Ναι	Ναι
10	Διαστάσεις σε εκατοστά (ενδεικτικά)	50 X 60	130 X 120	130 X 120
11	Ωφέλιμο φορτίο σε κιλά (ενδεικτικά)	150 – 350	150 - 350	150 - 350
12	Απόβαρο υπόβασης κίνησης σε κιλά (ενδεικτικά)	50 – 70	200 – 300	300 - 400
13	Μέγιστη Κατανάλωση σε KW (ενδεικτικά)	1 - 2	4 - 5	5 - 6
14	Ελάχιστο ύψος από έδαφος μέχρι την οροφή της υπόβασης σε εκατοστά (ενδεικτικά)	30 - 40	50 - 60	30 - 40
15	Heave (ανύψωση) σε εκατοστά (ενδεικτικά)		25 – 30	20 – 25

16	Pitch (διαμήκης στροφή)	10 - 15	20 - 30	30 - 40
17	Roll (εγκάρσια στροφή)	10 - 15	20 - 30	20 - 30
18	Yaw (περιστροφή)			20 - 30
19	Surge (Κίνηση διαμήκους παρέκκλισης)			10 - 20
20	Sway (Κίνηση πλευρικής παρέκκλισης)			10 - 20
21	Μέσο Κόστος αγοράς των 2 DOF: 18 KEuros (Έστω X)	X	1,7*X	3*X
22	Κόστος Προσαρμογής Λογισμικού: (Έστω Ψ το κόστος για τους 2DOF)	Ψ	1,4 * Ψ	2 * Ψ
23	Κόστος Συντήρησης: (Έστω Z το κόστος για τους 2DOF)	Z	1,5 * Z	2,8 * Z

Από τον παραπάνω Πίνακα προκύπτει ότι:

- Το σύστημα με τους 2 DOF** είναι ένα πολύ απλούστερο σύστημα, το οποίο διαθέτει διαμήκη και εγκάρσια στροφή. Οι στροφές αυτές είναι σημαντικές για την προσομοίωση των κυματισμών, αλλά και της ανάβασης και κατά κατάβασης από σκάλες. Επίσης προσομοιώνουν τις στροφές του χρήστη προς τα δεξιά και αριστερά. Είναι εύκολα μεταφερόμενο και χωρίς μεγάλες απαιτήσεις για συντήρηση, υστερεί όμως στην κίνηση της ανύψωσης την οποία δε διαθέτει και που είναι εξαιρετικά σημαντική όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.
- Το σύστημα με τους 3 DOF** είναι ένα πιο σύνθετο σύστημα, το οποίο διαθέτει ανύψωση (πολύ σημαντική παράμετρος για τις δονήσεις και την αίσθηση της ανύψωσης σε όλα τα περιγραφέντα σενάρια του Π1.2) διαμήκη στροφή, αλλά και εγκάρσια στροφή. Είναι ιδανικό τόσο για καθιστό, όσο και για όρθιο χρήστη (λαμβάνομένων υπόψη των περιορισμών που αναφέρθηκαν στον 4.4), για τον καθιστό χρήστη δεν απαιτείται αγκύρωση, για τον όρθιο χρήστη απαιτείται αγκύρωση (και τα όσα αναφέρθηκαν στο 4.4), και είναι ιδιαίτερα κατάλληλο τόσο για χρήση εντός του Νόησις, όσο και εκτός, είτε επί σταθερού μέρους (σε κάποια έκθεση στην οποία θα μεταφερθεί), είτε επί κινητής έκθεσης σε κάποιο όχημα (φορτηγού, τρέιλερ κλπ). Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό εάν σκοπεύει το Νόησις να το χρησιμοποιήσει και εκτός του χώρου του στη Θεσσαλονίκη. Επίσης είναι και ο μηχανισμός εκείνος ο οποίος δίνει τη μεγαλύτερη ανύψωση κατά τη κατακόρυφο (Heave), κάτι που είναι άκρως απαραίτητο σε όλα τα σενάρια που εμπριέχουν κυματισμό, ανύψωση κλπ, δηλαδή στα περισσότερα από τα δοσμένα σενάρια του Παραδοτέου Π1.2.

- **Το σύστημα με τους 6 DOF** είναι ένα ακόμα πιο σύνθετο σύστημα, το οποίο προορίζεται αποκλειστικά για καθήμενο χρήστη. Δε συνιστάται για τη χρήση του σε όρθιο χρήστη, εκτός εάν λάβουν χώρα αυστηροί περιορισμοί της κίνησης μέσα από το λογισμικό ελέγχου της υπόβασης κίνησης. Όμως τότε περιορίζεται σημαντικά η ικανότητα προσομοίωσης κινήσεων της υπόβασης, συνεπώς εν τέλει γίνεται αγορά ενός ακριβότερου και πολυπλοκότερου συστήματος με ότι αυτό συνεπάγεται σε κόστη λειτουργίας και συντήρησης και εν τέλει χρησιμοποιείται ένα μέρος του συστήματος. Στην περίπτωση του καθιστού χρήστη, το σύστημα των 6 DOF μπορεί να λειτουργήσει κανονικά παρέχοντας όλη τη δυναμική του όσον αφορά την προσομοίωση. Αυτό το σύστημα είναι κατάλληλο μόνο για σταθερή χρήση, επειδή κατά τη μεταφορά ή τη μετακίνησή του πιθανόν υπάρξουν απορρυθμίσεις των πολλών υποσυστημάτων που απαρτίζεται και συνεπώς θα χρειαστούν έξοδα επισκευών. Πέραν των παραπάνω 3 κινήσεων (του 3DOF) εκτελεί ακόμα τρεις: Περιστροφή γύρω από τον άξονα (όχι πλήρη όμως και αυτό είναι περιοριστικό), κίνηση πλευρικής και κίνηση διαμήκουσ παρέκκλισης. Όπως έχει περιγραφεί και προκύπει από το Πίνακα 4, δεν υπάρχουν σημαντικά σημεία όπου απαιτείται η προσομοίωσης παρέκκλισης (διαμήκουσ ή/και εγκάρσιας) η οποία αφορά κυρίως προσομοιώσεις αγωνιστικών ή απλών οχημάτων ή αεροπλάνων, παρά μία τέτοια εφαρμογή. Επιπλέον, η προσομοίωση της παρέκκλισης όσον αφορά τον προγραμματισμό στο λογισμικό που διασυνδέει το αρχικό λογισμικό του ΕΚΕΤΑ/ΙΠΤΗΛ, με την υπόβαση που προσδίδει την κίνηση έχει σημαντικά παραπάνω κόστη.

Επιπλέον πρέπει να ληφθεί πολύ σοβαρά υπόψη η αναφορά στο προηγούμενο υποκεφάλαιο περί ασφάλειας του χρήστη, ενώ υπάρχει και κάτι ακόμα πιο σοβαρό το οποίο έχει άμεσο αντίκτυπο στην καθιέρωση ή μη του νέου συστήματος στην παγκόσμια αγορά προσομοίωσης, ψυχαγωγίας και ενημέρωσης:

Ο χρήστησ φορώντας τα γυαλιά της εικονικής πραγματικότητας ήδη μεταβαίνει σε έναν παράλληλο κόσμο όπου ο εγκέφαλος αποπροσανατολίζεται και διεισδύει σε ένα περιβάλλον που του δημιουργεί μία σύγχυση με την πραγματικότητα. Αυτό μεταφράζεται σε ένα είδος ναυτίας και στη διεθνή βιβλιογραφία περιγράφεται ως *kinetosis* ή *simulation sickness*. Όσο περισσότεροι βαθμοί ελευθερίας και συνεπώς κινήσεων εάν προστεθούν στο σύστημα αυτό θεωρητικά προσεγγίζει την πραγματικότητα, άρα ο ανθρώπινος εγκέφαλος αμβλύνει αυτή την αίσθηση της ναυτίας λόγω της χρήσης ενός συστήματος που δεν είναι πραγματικό.

Αυτό ισχύει στη θεωρία, όμως η πράξη και η εμπειρία της Smart Drive Ltd από την μακρόχρονη εμπειρία της με το αντικείμενο της προσομοίωσης είναι ότι ικανή και αναγκαία συνθήκη είναι το σύστημα προσομοίωσης της κίνησης να λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να περιγράφει ακριβώς την πραγματικότητα, η οποία και τελικά θα αποτυπωθεί στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2 για τους προσομοιωτές, πρέπει να υπάρχει ένα πολύ ρεαλιστικό, αξιόπιστο και συνεπώς πολύ ακριβό σύστημα κίνησης, όπως για παράδειγμα αυτά που διαθέτουν οι αυτοκινητοβιομηχανίες ή τα κέντρα ερευνών του εξωτερικού όπου το όχημα ολισθαίνει σε ράγες για την πλευρική και τη διαμήκη παρέκκλιση, ώστε να προσομοιωθεί πλήρως η πραγματικότητα και να αποσοβηθεί το φαινόμενο της ναυτίας λόγω προσομοίωσης.

Η εμπειρία της Smart Drive Ltd έχει αποδείξει ότι όσο μικρότεροι σε ηλικία είναι οι χρήστες, τόσο μικρότερη είναι η ανάπτυξη του δυσάρεστου αυτού φαινομένου. Αυτό συμβαίνει επειδή ο εγκέφαλός τους είναι περισσότερο εξοικειωμένος με τα ηλεκτρονικά παιχνίδια, ασχέτως βαθμών ελευθερίας κίνησης ή και καθόλου κίνησης πολλές φορές. Ένα τέτοιο προϊόν όμως απευθύνεται σε όλες τις ηλικίες και τους τουρίστες, οι οποίοι όπως αποδεικνύουν οι στατιστικές έχουν κάποια ηλικία η οποία δεν τους επιτρέπει αρκετές φορές να είναι τόσο εξοικειωμένοι με την τεχνολογία.

#### **4.6. Ενδεικτικά παραδείγματα μετατροπής της υπόβασης κίνησης σε πλήρες σύστημα προσομοίωσης για χρήση με σύστημα εικονικής πραγματικότητας**

Ο Πίνακας 5 περιγράφει την υπόβαση με την κίνηση επί της οποίας θα κατασκευαστεί εκ νέου μία καμπίνα καθιστού ή όρθιου χρήστη. Αυτό θα αποφασιστεί από τους εμπλεκόμενους στο έργο και σταθμίζοντας τα σενάρια όπως περιγράφονται συνοπτικά στον Πίνακα 4 του παρόντος Π3.1, ή αναλυτικά στο Π1.2.

Στο κόστος της απόκτησης του εξοπλισμού για την κίνηση του «προσομοιωτή προβολής του Αρχαίου Ελληνικού Πολιτισμού» θα πρέπει να συνυπολογιστούν τα κάτωθι πέντε (5) εργαλεία:

1. **Υπόβαση η οποία παράγει την κίνηση:** Έχει περιγραφεί παραπάνω στο 4.5 αναλυτικά, ενώ έχουν δοθεί ενδεικτικά κόστη απόκτησης, συντήρησης και μετατροπής του λογισμικού (και σε συγκριτικό Πίνακα).
2. **Ανωδομή του συστήματος προσομοίωσης:** Η κυρίως καμπίνα επί της οποίας θα κάθεται (ή θα είναι όρθιος) ο χρήστης και θα χειρίζεται το όλο παίγνιο με τα χειριστήρια. Η κυρίως καμπίνα θα σχεδιαστεί και κατασκευαστεί επιπλέον της υπόβασης και αποτελεί την ανωδομή του συστήματος προσομοίωσης.
3. **Τα χειριστήρια,** τα οποία θα πρέπει να διαθέτουν ανάδραση.
4. **Ηλεκτρονικός υπολογιστής υψηλής υπολογιστικής ισχύος** ώστε να μπορεί να αναλάβει να διεκπεραιώσει τη σύνδεση του λογισμικού που θα δημιουργηθεί από τον εταίρο ΕΚΕΤΑ/ΙΠΤΗΛ με το hardware
5. **Μεγάλη επίπεδη οθόνη, τουλάχιστον 55"** για την περίπτωση που επιλεγεί το σύστημα προσομοίωσης να κινείται και να περιφέρεται κινητές εκθέσεις ή 65"-75" για την περίπτωση που επιλεγεί το σύστημα προσομοίωσης που θα κατασκευαστεί να παραμείνει μόνιμα στο χώρο του εταίρου Νόησις.

Το τελικό προϊόν που θα πρέπει να προμηθευτεί η ομάδα του έργου θα περιλαμβάνει τα παραπάνω 5 στοιχεία με τα περιεχόμενά τους και θα οδηγήσει τελικά σε μία λύση η οποία εκτός από κόστη ανάπτυξης λογισμικού θα περιλαμβάνει και κόστη ανάπτυξη της ανωδομής-κυρίως καμπίνας προσομοίωσης με τα χειριστήρια.

Αυτό σημαίνει κατασκευή από την αρχή ενός συστήματος ανωδομής το οποίο θα σχεδιαστεί στο επόμενο στάδιο της παρούσας μελέτης (παραδοτέο Π3.2). Ακολουθεί ένα ενδεικτικό παράδειγμα από την κατασκευή και λειτουργία ενός συστήματος προσομοίωσης που είναι πακτωμένο επί εδάφους υπόβασης με 3 βαθμούς ελευθερίας (3 DOF).

Η κατασκευή του συστήματος της ανωδομής απαιτεί υλικά και την κατασκευή μίας νέας καμπίνας η οποία όσον αφορά τα υλικά θα πρέπει να συμπεριληφθεί στην αγορά του εξοπλισμού. Η διασύνδεση των χειριστηρίων και του λογισμικού του ΙΠΤΗΛ/ΕΚΕΤΑ με την υπόβαση (η οποία παράγει την κίνηση) αφορά το τμήμα εκείνο του Π3.2 που αφορά τις υπηρεσίες συναρμολόγησης του εξοπλισμού. Ειδικότερα σχετίζεται με τα συστήματα και υποσυστήματα του εξοπλισμού προσομοίωσης, αλληλεπίδρασης και δυναμικής ανάδρασης όσον αφορά την ενοποίηση και βελτιστοποίηση μιας ολοκληρωμένης διεπαφής ανθρώπου – μηχανής.

Η κατασκευή της ανωδομής περιγράφεται ενδεικτικά σε ένα παράδειγμα παρόμοιου προσομοιωτή ο οποίος χρησιμοποιεί σύστημα VR, υπόβασης κίνησης και κατασκευής νέας ανωδομής:



Εικόνα 27: Σχεδιασμός και κατασκευή της ανωδομής για την πλατφόρμα κίνησης με 3 DOF (Α' Φάση)

Στο πρώτο στάδιο (Α' Φάση) της σύνδεσης της ανωδομής με την πλατφόρμα κίνησης με τους 3 DOF, καταρχήν σχεδιάζεται η ανωδομή και ξεκινάει η κατασκευή της (Εικόνα 28).



Εικόνα 289: Σύνδεση της ανωδομής με την πλατφόρμα κίνησης με 3 DOF (Β' Φάση)

Η ανωδομή συνδέεται επί της κινητής βάσης και ξεκινάει το δοκιμαστικό τμήμα της κατασκευής (Β' Φάση), όπως φαίνεται στην Εικόνα 29.

Εν συνεχεία λαμβάνει χώρα η κάλυψη της υπόβασης (πλατφόρμας κίνησης) ώστε να συνδεθεί οπτικά με την ανωδομή. (Γ' Φάση), όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 30.

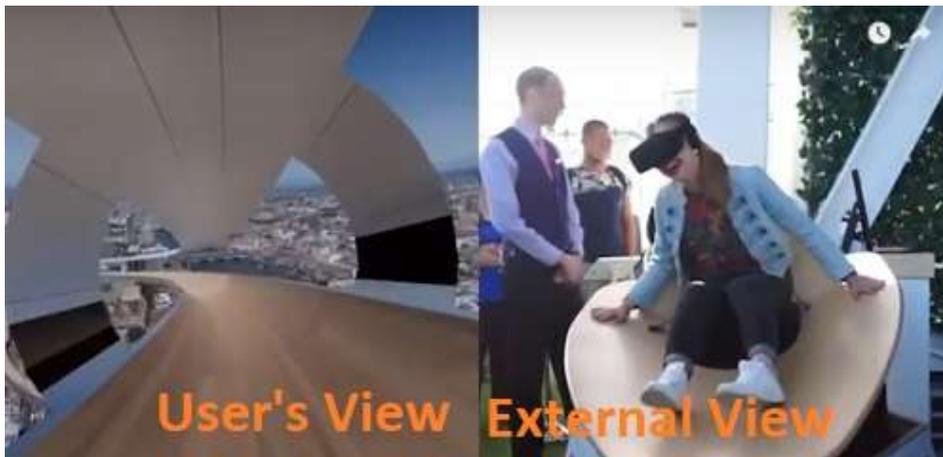


Εικόνα 29: Κάλυψη της υπόβασης (πλατφόρμας κίνησης) ώστε να συνδεθεί με την ανωδομή (Γ' Φάση)



Εικόνα 30: Σύστημα σε χρήση: Εξωτερική εικόνα (αριστερά) - Εικόνα χρήστη (δεξιά)

Στο τέλος παρουσιάζεται ένα ελκυστικό προϊόν προσομοίωσης με τη χρήση 3 βαθμών ελευθερίας, όπως φαίνεται και από τις Εικόνες 31-33.



Εικόνα 31: Σύστημα σε χρήση: Εικόνα χρήστη (αριστερά) - Εξωτερική εικόνα (δεξιά)



Εικόνα 32: Σύστημα σε χρήση: Ο ρεαλισμός που επιτυγχάνει ο συνδυασμός κίνησης και λογισμικού αποτυπώνεται καθαρά στις αντιδράσεις όλων των χρηστών.

Στα παραπάνω αποτυπώθηκε ένα παράδειγμα σχεδιασμού, κατασκευής και χρήσης ενός συστήματος προσομοίωσης για καθαρά ψυχαγωγικούς σκοπούς, ενός συστήματος που βασίζεται και εδράζεται επί εδάφους κίνησης με 3 βαθμούς ελευθερίας (3 DOF). Όπως αποδεικνύεται από τις εικόνες των χρηστών, η ανύψωση (η οποία πρέπει να είναι σημαντικής απόστασης), η διαμήκης στροφή, καθώς και η εγκάρσια στροφή είναι αρκετές για να τρομάζουν πολύ τους χρήστες, οι οποίοι σε συνδυασμό με το λογισμικό και τη συσκευή VR την οποία φορούν, παρακολουθούν μία πτώση και ολίσθηση από μεγάλο ύψος.

Παρόμοια είναι η φιλοσοφία στην περίπτωση της χρήσης ενός συστήματος με 6 βαθμούς ελευθερίας (6 DOF) όπως αποτυπώνεται στην παρακάτω Εικόνα 34. Στο σύστημα αυτό απεικονίζεται ένα σημαντικό ακριβότερο σύστημα το οποίο πρόκειται να βγει στην παραγωγή το τελευταίο τέταρτο ή τρίμηνο του 2020 και δεν αποτελεί εργαλείο εκπαίδευσης ή ψυχαγωγίας αλλά επαγγελματικό προσομοιωτή που θα επιτελεί συγκεκριμένη λειτουργία.



Εικόνα 33: Σύστημα με βάση (πλατφόρμα) κίνησης με 6 βαθμούς ελευθερίας (6 DOF) και βραχίονες με διαδραστική συμπεριφορά (ανάδραση με το χρήστη).

## Κεφάλαιο 5. Σύνοψη

Στο παρόν παραδοτέο, αφού πραγματοποιήθηκε μία σύντομη αναδρομή στα συστήματα προσομοίωσης εικόνας, ήχου και κίνησης, εξετάστηκαν οι διαθέσιμες εναλλακτικές επιλογές όσον αφορά στα εργαλεία σχεδίασης ενός ολοκληρωμένου συστήματος, το οποίο, μέσω ειδικής πλατφόρμας 4D, θα είναι σε θέση να παρουσιάσει μία σειρά εκθεμάτων του ΝΟΗΣΙΣ τα οποία θα έχουν σχέση με την προβολή του Ελληνικού πολιτισμού.

Η έρευνα αγοράς αλλά και η μελέτη της τεχνολογικής εξέλιξης των διαθέσιμων συστημάτων που διενεργήθηκε από την εταιρία Smart Drive Ltd κατέδειξε ότι για την ανάπτυξη της πλατφόρμας δυναμικής ανάδρασης με τους προηγμένους αισθητήρες και σύστημα κίνησης με ενεργοποιητές, δεν απαιτείται να ξεπεραστούν οι συνολικά 4 βαθμοί ελευθερίας (3 για περιγραφή κίνησης και ένας ως ήχος, δόνηση, βύθιση, μυρωδιά κτλ εξωτερικά οπτικοακουστικά, απτικά κτλ. ερεθίσματα).

Οι 3 βαθμοί ελευθερίας (ανύψωση-βύθιση, εγκάρσια και διαμήκης περιστροφή) σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις των τελικών χρηστών. Δεν χρειάζεται / απαιτείται απαραίτητα και περιστροφή γύρω από τους άξονες κίνησης, υπό την έννοια ότι δεν αλλοιώνεται το τελικό αποτέλεσμα, αλλά εξυπηρετείται ο σκοπός του έργου για παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών περιήγησης σε ελληνικά ιστορικά μνημεία και ανάδειξης του αρχαιολογικού πολιτισμού σε περιβάλλον εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας.

Βέβαια, φαίνεται ως βέλτιστη μία λύση που θα στηριχτεί είτε σε σφαιρική βάση κίνησης είτε ακόμη και σε σύστημα «όρθιας» διάταξης, όπως περιγράφεται στα Κεφάλαια 2, 3 και 4. Με σκοπό η πλατφόρμα να καταστεί όσο πιο αντιπροσωπευτική ως προς τη μετάδοση μιας ρεαλιστικής βιωματικής εμπειρίας προς το χρήστη, η εταιρεία Smart Drive Ltd που είναι υπεύθυνη για την κατασκευή, ανάπτυξη και επιμέλεια του όλου συστήματος, συμπεριλαμβανομένης και της καμπίνας προσομοίωσης, διερεύνησε και τις μεθόδους κίνησης και δυναμικής ανάδρασης μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών.

Πάντως, σε κάθε περίπτωση, τον τελευταίο λόγο, θα τον έχουν οι βασικοί εταίροι του έργου, οι οποίοι καλούνται να «παντρέψουν» την τεχνολογική εξέλιξη με σύγχρονες μεθόδους σχεδιασμού με σκοπό τη συμβατότητα και διαλειτουργικότητα των χρησιμοποιούμενων συζευγμένων συστημάτων και τεχνολογιών με σκοπό την τεχνική και λειτουργική αριστεία, όπως και την επιχειρηματική επιτυχία του όλου εγχειρήματος.

## Βιβλιογραφία

- [1] Boese H., Ermert H., Tunayar A., Monkman G. (2004). "A novel haptic sensor – actuator system for virtual reality". Proceedings of EuroHaptics 2004, Munich Germany, June 5-7, 2004.
- [2] Cipresso P., Giglioli I.A.C., Raya M.A., Riva G., (2018). "The past, present and future of virtual and augmented reality research: A network and cluster analysis of the literature". Front Psychol. 2018; Vol. 9: 2086. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02086.
- [3] Dahmani L, Ledoux AA, Boyer P, Bohbot VD (2012). "Wayfinding: the effects of large displays and 3-D perception". Behav Res Methods. 2012 Jun;44:447–454.
- [4] Fitch GM, Bowman DS, Llaneras RE (2015). "Distracted driver performance to multiple alerts in a multiple-conflict scenario". Human factors. 2014 Dec;56:1497–1505.
- [5] Greve JM, Santos L, Alonso AC, Tate DG. (2015). "Driving evaluation methods for able-bodied persons and individuals with lower extremity disabilities: a review of assessment modalities". Clinics. 2015 Sep;70:638–647.
- [6] Hakim Mohellebi, Stéphane Espié, Hichem Arioui, Ali Amouri, Abderrahmane Kheddar (2004). "Low cost motion platform for driving simulator". ICMA: International Conference on Machine Automation, Nov 2004, N/A, Japan. 5th, pp.271-277, 2004.
- [7] Ida N. (2013). "Sensors, Actuators, And Their Interfaces: A Multidisciplinary Introduction (Materials, Circuits And Devices)". ISBN-10: 1613530064, ISBN-13: 978-1613530061. DOI:10.1049/sbcs502e.
- [8] Innes CR, Jones RD, Anderson TJ, Hollobon SG, Dalrymple-Alford JC. (2009). "Performance in normal subjects on a novel battery of driving-related sensory-motor and cognitive tests". Behav Res Methods. 2009 May;41:284–294.
- [9] Marciano H, Yeshurun Y. 2015. "Perceptual load in different regions of the visual scene and its relevance for driving". Human factors. 2015 Jun;57:701–716.
- [10] Nef T, Muri RM, Bieri R, Jäger M, Bethencourt N, Tarnanas I, Mosimann UP. (2013). "Can a novel web-based computer test predict poor simulated driving performance? a pilot study with healthy and cognitive-impaired participants". Journal of Medical Internet Research. 2013;15:e232.
- [11] Rodseth J., Washabaugh E.P., Ali Al Haddad, Kartje P., Tate D.G. and Chandramouli K. (2018). "A novel low cost solution for driving assessment in individuals with and without disabilities". PMC. NCBI, doi: 10.1016/j.apergo.2017.07.002.
- [12] Song K., Kim S.H., Jin S., Kim S., Lee S., Kim J.S., Park J.M., Cha Y., (2019). "Pneumatic actuator and flexible piezoelectric sensor for soft virtual reality glove system". Scientific reports 9, Article number: 8988 (2019).
- [13] Bekiaris E., Panou M. and TRAINALL consortium, (2007). Deliverable 1.1 – final: "Benchmarking and classification of CBT tools for driver training". Integrated System for driver

Training and Assessment using Interactive education tools and New training curricula for ALL modes of road transport. WP1: Training needs and scenarios definition. Activity 1.1: Benchmarking and classification of existing tools and technologies.

- [14] Wang D., Guo Y., Liu S., Zhang Y., Xu W., Xiao J. (2019). "Haptic display for virtual reality: progress and challenges". *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, Volume 1, Issue 2, April 2019, Pages 136-162. doi.org/10.3724/SP.J.2096-5796.2019.0008
- [15] <https://www.topspeed.com/cars/car-news/new-state-of-the-art-driving-simulator-for-mercedes-benz-ar97645.html>
- [16] <http://hartzellprop.com/evolution-of-flight-simulation/>
- [17] <https://www.aeroexpo.online/aeronautic-manufacturer/cockpit-simulator-1885.html>
- [18] <https://aviongroup.aero/simulator/>
- [19] [https://www.latam.com/vamos/en\\_us/articles/on-the-road/how-flight-simulator-work/](https://www.latam.com/vamos/en_us/articles/on-the-road/how-flight-simulator-work/)
- [20] <https://stason.org/TULARC/sports/flight-simulators/08-What-is-a-6-DOF-model-Flight-Simulator-Theory.html>
- [21] [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_reality\\_headset](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality_headset)
- [22] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6232426/>
- [23] [https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality)
- [24] <https://fasetech.com/shop/catalog/racingcube-m1/slider-c1/rc4-4dof-p12>
- [25] <https://fasetech.com/about>
- [26] <https://www.vrxsim.com/motion/3dof/>
- [27] <https://www.vrxsim.com/motion/6dof/>
- [28] [https://en.wikipedia.org/wiki/Degrees\\_of\\_freedom\\_\(mechanics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Degrees_of_freedom_(mechanics))
- [29] <https://benchmarks.ul.com/compare/best-vr-headsets>
- [30] <https://www.feelthree.com/>
- [31] [www.Wikipedia.org](http://www.Wikipedia.org)
- [32] Γαρδέλης Κ., Μουστάκας Κ., (2017). "Ανάπτυξη συστήματος προσομοίωσης οδήγησης με φυσική και απτική αλληλεπίδραση σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας". Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Η/Υ, Τομέας Ηλεκτρονικής και Η/Υ, Εγαστήριο Εικονικής Πραγματικότητας, Πάτρα, 2017.
- [33] Καραγιανίδου Π., Βαρελάς Σ., Φωτιάδης Θ., (2019). "Ο Στρατηγικός ρόλος των εφαρμογών Εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας στη Διαχείριση προορισμών". Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Κοινωνικών Επιστημών, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διοίκηση Τουριστικών Επιχειρήσεων (ΔΤΕ), Πανεπιστήμιο Πατρών, 2019.
- [34] Μίντσης Γ., Μπάσμπας Σ., Ταξιλιάρης Χ., (2003). "Η συμβολή της τεχνολογίας των προσομοιωτών οδήγησης στην οδική ασφάλεια". Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών

Έργων, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2003.

[35] Μπεκιάρης Ε., Πάνου Μ., Τσιούτρας Α., (2001). “Η χρήση των σύγχρονων εκπαιδευτικών εργαλείων και μεθόδων στην εκμάθηση της οδήγησης”. ΑΔΗΡΠΤΟ, ΙΜΕΤ – ΕΚΕΤΑ, Θεσσαλονίκη, 2003.

[36] Μπούρας Χ., (2017). . “Τηλεματική και Νέες Υπηρεσίες. Εικονική πραγματικότητα Δικτυακά εικονικά περιβάλλοντα”. Έκδοση: 2 .0 . Πάτρα 2017 . Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1089/>.