



**3^ο Διεθνές Συνέδριο
Αρχαίας Ελληνικής
και Βυζαντινής Τεχνολογίας**

19-21 Νοεμβρίου 2024
ΜΕΓΑΡΟΝ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΑΘΗΝΩΝ

**3rd International Conference
Ancient Greek
and Byzantine Technology**

19-21 November 2024
MEGARON THE ATHENS CONCERT HALL

ΟΡΓΑΝΩΣΗ



ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΒΥΖΑΝΤΙΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Το Διοικητικό Συμβούλιο της Εταιρείας Διερεύνησης της Αρχαιοελληνικής και Βυζαντινής Τεχνολογίας (ΕΔΑΒΥΤ) ανέλαβε την ανάρτηση στην ιστοσελίδα της (www.edabyt.gr), σε ψηφιακή μορφή, των εργασιών του 3^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου Αρχαιοελληνικής και Βυζαντινής Τεχνολογίας (Αθήνα 19-21 Νοεμβρίου 2024).

Οι εργασίες είχαν γίνει αντικείμενο κρίσεων και σχολιασμού από την Επιστημονική Επιτροπή. Επιπλέον, έγιναν κι άλλες παρατηρήσεις και σχόλια κατά την συζήτηση που ακολούθησε μετά την προφορική τους παρουσίαση στο Συνέδριο.

Οι εργασίες αναρτώνται όπως κατατέθηκαν από τους συγγραφείς μετά την ολοκλήρωση του Συνεδρίου. Οι συγγραφείς φέρουν την ευθύνη του περιεχομένου της εργασίας τους, τόσο ως προς τις απόψεις τους όσο και ως προς την ακρίβεια και την ορθότητα των στοιχείων που παραθέτουν.

The Board of Directors of the Association for Research on Ancient Greek and Byzantine Technology (EDABYΤ) undertook the posting on its website (www.edabyt.gr) of the papers presented at the 3rd International Conference on Ancient Greek and Byzantine Technology (Athens, November 19-21, 2024).

The papers had been subject to reviews and comments by the Scientific Committee. Additionally, further observations and comments were made during the discussion that followed their oral presentation at the Conference.

The papers are posted as submitted by the authors after the conclusion of the Conference. The authors are responsible for the content of their work, both in terms of their views and the accuracy and correctness of the data they present.

ΑΝΑΒΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΟΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΜΒΥΘΙΣΤΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΦΡΥΚΤΩΡΙΩΝ

Δρ. Παναγιώτης Αντωνόπουλος¹, Καθ. Μανόλης Ι. Στεφανάκης² Αναπλ. Καθ. Εμμανουήλ
Φωκίδης³

¹ Ανεξάρτητος ερευνητής, e-mail: panosantonopoulos7733@gmail.com

² Πανεπιστήμιο Αιγαίου, e-mail: stefanakis@aegean.gr

³ Πανεπιστήμιο Αιγαίου, e-mail: fokides@aegean.gr

Περίληψη. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον αναφορικά με την αρχαία Ελληνική τεχνολογία. Το γεγονός αυτό αντανακλάται από την ίδρυση αντίστοιχων θεματικών μουσείων, τις αυξανόμενες δημοσιεύσεις και την τηλεοπτική προβολή. Ταυτόχρονα, μεγάλο ενδιαφέρον αναπτύσσεται γύρω από τις αναδυόμενες τεχνολογίες της Εικονικής Πραγματικότητας, οι οποίες, εκτός των άλλων χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό στην προσομοίωση μουσειακών χώρων και αρχαίων αντικειμένων. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας ενός εκπαιδευτικού λογισμικού Πλήρους Εμβυθιστικής Εικονικής Πραγματικότητας, με θέμα το τεχνολογικό επίτευγμα των αρχαίων Ελληνικών Φρυκτωριών, για το σύστημα Meta Quest. Στόχος του λογισμικού είναι η παροχή πληροφοριών στον χρήστη, αναφορικά με το ιστορικό πλαίσιο και τον τρόπο λειτουργίας της εφεύρεσης, καθώς επίσης και ο αυξημένος βαθμός διάδρασης του χρήστη με αυτή. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να πιάσει τους πυρσούς και να εκπέμψει γράμματα, όπως προβλέπεται από τη λειτουργία της εφεύρεσης, με εμφάνιση του κάθε φορά εκπεμπόμενου γράμματος. Αξιοποιήθηκαν κείμενο και αφήγηση διανθισμένη με εικόνες. Χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Blender, Unity και Visual Studio Code. Ο προγραμματισμός έγινε σε γλώσσα C#. Για τη δημιουργία του λογισμικού λήφθηκαν υπόψιν αναφορές από αρχαία κείμενα, καθώς και ανακατασκευές της εφεύρεσης από τα μουσεία αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας.

Λέξεις Κλειδιά: Εικονική Πραγματικότητα, Φρυκτωρίες, Πυρσεία, Meta Quest.



1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια οι τεχνολογίες της Εικονικής Πραγματικότητας χρησιμοποιούνται ευρέως στη μουσειακή εκπαίδευση. Έχουν αναπτυχθεί λογισμικά για αρκετά θέματα όπως ρωμαϊκά μνημεία (ενδεικτικά, Egea-Vivancos and Arias-Ferrer 2021), ελληνικοί αρχαιολογικοί χώροι (ενδεικτικά, Christofi et al. 2018), γεγονότα του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου (ενδεικτικά, Marín-Morales et al. 2019) κ.α. Ωστόσο, ευάριθμες προσπάθειες εντοπίζονται στην ανάπτυξη λογισμικών με θέμα την αρχαία ελληνική τεχνολογία, παρά το μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον που παρατηρείται. Τα παραπάνω συνετέλεσαν στη απόφαση δημιουργίας των φρυκτωριών στα πλαίσια της Εικονικής Πραγματικότητας, για εκπαιδευτική χρήση και εκπαιδευτική έρευνα.

Π.Α.-Ε.Φ.

2. Η Φρυκτωρία Κατά την Αρχαιότητα

Με τον όρο φρυκτωρία¹ χαρακτηρίζεται ένα σύστημα οπτικής επικοινωνίας με αναμμένους πυρσούς. που χρησιμοποιήθηκε στην ελληνική αρχαιότητα για τη μετάδοση μηνύματος σε μακρινή απόσταση. Πρόκειται για ένα δίκτυο το οποίο αναπτύχθηκε αρκετά νωρίς, κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς, με μηνύματα που ήταν προσυμφωνημένα (π.χ. «κίνδυνος», «επίθεση» «νική» κ.ά).²

Ως εφεύρεση η φρυκτωρία ανάγεται στο τέλος της Εποχής του Χαλκού και τα χρόνια του Τρωικού Πολέμου. Αποτέλεσε το μέσο χάρη στο οποίο οι Αχαιοί φέρνονταν να μπόρεσαν, μέσα από ένα δίκτυο θέσεων, να ενημερώσουν μέσα σε μια νύχτα τον μυκηναϊκό κόσμο (και τις Μυκήνες) για την πτώση της Τροίας (Ομήρου Ιλιάς 18.210-213), Το δίκτυο των φρυκτωριών που μετέδωσε το μήνυμα της Ιλίου Πέρσεως από την Τροία στις Μυκήνες περιγράφει λεπτομερώς ο Αισχύλος (Αγαμέμνων 280-330), δια στόματος της βασίλισσας Κλυταιμνήστρας. Ενδιάμεσοι σταθμοί μεταδόσεως υπήρχαν στην Ίδη της Μυσίας, στο Ακρωτήρι της Λήμνου (σημερινή Πλάκα), στον Άθω, στο βουνό Μάκιστο και στις πλαγιές του Αραχναίου. Τη μέθοδο φέρεται να επινόησε ο Παλαμήδης (Σοφοκλής, Ναύπλιος, Fragment 432) και η άλωση της Τροίας έγινε γνωστή στις Μυκήνες μέσα σε μια νύχτα από τον βοηθό του, τον Σίνωνα.³ Καθώς ωστόσο οι πληροφορίες της γραμματείας είναι ελλιπείς, είναι μάλλον δύσκολο

¹ Βλ. Λεξικό Liddell-Scott, λμ. *φρυκτός*: Ι. *φρυκτός*, -ή, -όν, φλεγόμενος πυρσός ή δαυλός. Πρβλ. και το «άγγαρον πυρ», την αναγγέλουσα φωτιά, κατά τον Αισχύλο (Αγαμέμνων 258-280).

² Walker Moore 2017, 108. Για τις φρυκτωρίες γενικότερα βλ. επίσης Forbes 1966, 168-178. Holzmann, and Pehrson 2003², 1-29. Hershbell 1978, 82. Peithis 2021, 185-212. Sherwood et al. 2020, 678-680.

³ Βλ. και Sherwood et al. 2020, 678. Holzmann, and Pehrson 2003², 15-18. Tracy 1986. Peithis 2021, 186-187. Για τον Παλαμίδα, βλ. Sherwood et al. 2020, 28.



να αποσαφηνιστεί αν το σύστημα που αναφέρθηκε όντως λειτούργησε, όπως παραδίδεται.⁴

Η αρχαιολογική έρευνα, ωστόσο, τείνει να καταδείξει ότι αρκετά νωρίτερα, ήδη από την Παλαιοανακτορική Μινωική περίοδο (περ. 1900-1700 π.Κ.Ε.), είχε δημιουργηθεί ένα διευρυμένο και πυκνό δίκτυο οπτικής επικοινωνίας μεταξύ Ιερών Κορυφής και άλλων ορεινών θέσεων («σωρών») στην κεντρική Κρήτη. Το δίκτυο αυτό, κατά τους μελετητές, όχι μόνο εξυπηρετούσε τις τοπικές ανάγκες, αλλά γεφύρωνε το νοτιο-ανατολικό Αιγαίο και την απόσταση μεταξύ ανατολικής Κρήτης, Καρπάθου, και νοτιο-δυτικής Μικράς Ασίας κατά τη μινωική περίοδο, αποτελώντας το πρώτο αρχαιολογικά τεκμηριωμένο δίκτυο επικοινωνίας μέσω φωτιάς από κορυφή σε κορυφή.⁵

Κατά τους Ιστορικού Χρόνους, πλέον, η χρήση της φρυκτωρίας μνημονεύεται ως ένα εργαλείο επικοινωνίας απλών μηνυμάτων στο πλαίσιο των στρατιωτικών επιχειρήσεων τον 5ο αι. π.Κ.Ε., κατά τους περσικούς πολέμους⁶ από τον Ηρόδοτο (Ίστορία 7.183-9.3) και κατά τον Πελοποννησιακό πόλεμο⁷ από τον Θουκυδίδη (Ίστορία 2.94-3.22, 7-8-3.80, 2-4.11-8.102).⁸ Το σύστημα εξελίχτηκε περαιτέρω με την εφεύρεση του υδραυλικού τηλέγραφου από τον Αινεία τον Τακτικό τον 4ο αιώνα π.Κ.Ε. (Πολύβιος, Ίστορία 10.44), επιτρέποντας τη μετάδοση περισσότερων προσυμφωνημένων μηνυμάτων⁹. Και πάλι όμως το σύστημα κρίθηκε ανεπαρκές (Πολύβιος, Ίστορία 10.45, 1-5), καθώς οι πληροφορίες που μεταβιβάζονταν παρέμεναν περιορισμένες και εν γένει ασαφείς.

Την μεγάλη επανάσταση στο οπτικό τηλεγραφικό σύστημα έφεραν πλέον τον 2ο αι. π.Κ.Ε. οι αλεξανδρινοί μηχανικοί Κλεόξενος και Δημόκλειτος¹⁰, ενώ ο ίδιος ο Πολύβιος συνέβαλλε στην βελτιστοποίησή του (Πολύβιος, Ίστορία 10.45.6-46.10), με την επινόηση της «πυρσεΐας», ενός συστήματος το οποίο δίνει τη δυνατότητα να μεταβιβάζεται η πληροφορία γράμμα-γράμμα ώστε ο αποστολέας να μπορεί να «συνομιλεί» με τον παραλήπτη. Το νέο σύστημα βασίστηκε στην αντιστοίχιση ενός ζεύγους πυρσών σε ένα συγκεκριμένο γράμμα του ελληνικού αλφαβήτου,¹¹ μια

⁴ Ciaramella 2015. Για την αντίθετη άποψη Taplin 2011.

⁵ Βλ. Panagiotakis et al. 2013, 13-27· Sarris et al. 2011. Για τα Ιερά Κορυφής ως χώρους μετάδοσης μηνυμάτων βλ. επίσης Panagiotakis 2004, 180-181· Peatfield 1983, 277· Soetens et al. 2002, 163, 166. Για την πιθανότητα ύπαρξης μινωικού Ιερού Κορυφής στη Φιλήρημο της Ρόδου, βλ. Sakellarakis 1996, 93-94· Benzi 1984, 97-102· Marketou 2009, 74-75· Johansson 2016, 11, 16. Για άλλα μινωικά ιερά κορυφής στο χώρο του Αιγαίου, Sakellarakis 1996, 92-98.

⁶ Walker Moore 2017, 109-114. Holzmann, and Pehrson 2003², 18-19.

⁷ Walker Moore 2017, 114-119. Holzmann, and Pehrson 2003², 19. Peithis 2021, 193-208.

⁸ Για τη χρήση του συστήματος στην Ανατολή και κυρίως στην Περσία κατά την κλασική αρχαιότητα βλ. Holzmann, and Pehrson 2003², 18 και 20-21.

⁹ Walker Moore 2017, 120· Sherwood et al. 2020, 679· Holzmann, and Pehrson 2003², 24-26. Hershbell 1978, 84-85. Peithis 2021, 190-191, 208-209. Kotsanas 2016 36-37. Diepenbroek 2019, 64-66.

¹⁰ Για τον Κλεόξενο βλ. Lammert 1921, για τον Δημόκλειτο, Hultsch 1905.

¹¹ Για την πυρσεΐα βλ. και Walker Moore 2017, 120-123· Sherwood et al. 2020, 679-680. Holzmann, and Pehrson 2003², 26-29. Hershbell 1978, 85-88. Peithis 2021, 191-192. Diepenbroek 2019, 66-69.



εξέλιξη που δεν αποκλείεται να υπήρξε απόρροια της ανόδου του μορφωτικού επιπέδου και του αλφαριθμητισμού των Ελλήνων από την ύστερη κλασική και κυρίως κατά την ελληνιστική περίοδο (Hershbell 1978, 88-91).

Η περιγραφή της εφεύρεσης έχει γίνει από τον Πολύβιο (Ιστορία 10, 43-47) και μπορεί να συνοψιστεί στα εξής:

Κάθε φρυκτωρία αποτελούταν από «δύο τοίχους με ύψος αναστήματος ανδρός» οι οποίοι απείχαν μεταξύ τους και στους οποίους υπήρχε η δυνατότητα ανάρτησης πέντε πυρσών στον καθένα. Μεταξύ των τοίχων υπήρχε ειδική διόπτρα (σκοπευτική διάταξη δύο αυλίσκων) για τη διάκριση από τον φρυκτωρό των δεξιών ή αριστερών πυρσών της απέναντι φρυκτωρίας. Επίσης, κάθε φρυκτωρός διέθετε πέντε πινακίδες με αναγεγραμμένα τα γράμματα του αλφαβήτου χωρισμένα σε πεντάδες (ο τελευταίος περιείχε τέσσερα γράμματα). Οι αριστεροί πυρσοί από το μέρος του πομπού-φρυκτωρού αναφέρονταν στον αριθμό της πινακίδας, ενώ οι δεξιοί στη σειρά του γράμματος της συγκεκριμένης πινακίδας (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Σχηματική απόδοση των πληροφοριών των 5 πινακίδων που χρησιμοποιούνται στην πυρσεία

ΑΡΙΣΤΕΡΟΙ ΠΥΡΣΟΙ	ΔΕΞΙΟΙ ΠΥΡΣΟΙ				
	1	2	3	4	5
Πινακίδα 1	A	B	Γ	Δ	E
Πινακίδα 2	Z	H	Θ	I	K
Πινακίδα 3	Λ	M	N	Ξ	O
Πινακίδα 4	Π	P	Σ	T	Y
Πινακίδα 5	Φ	X	Ψ	Ω	

Η έναρξη της διαδικασίας αποστολής γινόταν με την ανάρτηση δύο πυρσών από τον πομπό, την επιβεβαίωση με την ανάρτηση δύο πυρσών από τον δέκτη και το κατέβασμα των πυρσών και από τους δύο, γεγονός που σηματοδοτούσε ότι και οι δύο πλευρές ήταν έτοιμες για την επικοινωνία.

Ο σηματοδότης στη συνέχεια αναρτούσε τους πρώτους πυρσούς στον αριστερό τοίχο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δηλώσει την πινακίδα που θα χρησιμοποιήσει, έναν για την πρώτη, δύο για τη δεύτερη κ.ο.κ. Στη συνέχεια αναρτούσε πυρσούς στον δεξιό τοίχο για να δηλώσει το ανάλογο γράμμα της πινακίδας. Για παράδειγμα, όταν υψώνονταν τρεις πυρσοί στον αριστερό τοίχο και πέντε στον δεξιό, γινόταν εκπομπή του γράμματος «O».

Το σύστημα της πυρσείας μπορεί να χαρακτηριστεί ψηφιακό (πενταδικό των δύο ψηφίων), προδρομικό της νεότερης τεχνολογίας (Diepenbroek 2019, 69-72) και μοναδικό στο είδος του μέχρι τουλάχιστον τον 9^ο αι. μ.Κ.Ε.¹² Αυτό το εξελιγμένο

¹² Για την πρώτη νέα αναφορά σε τηλεγραφικό σύστημα επικοινωνίας που αναπτύχθηκε από τον Λέοντα τον Φιλόσοφο ή Μαθηματικό του Βυζαντίου κατά τη διάρκεια της βασιλείας του Θεόφιλου (829-842), βλ. Holzmann, and Pehrson 2003², 30.



σύστημα μεταφοράς μηνυμάτων των ελληνοιστικών χρόνων επιχειρείται να αναπαραχθεί, στο πλαίσιο της Εμβυθιστικής Εικονικής Πραγματικότητας (Immersive Virtual Reality, IVR).

Μ.Ι.Σ.

3. Διαδικασία Δημιουργίας των Φрукτωριών στο Πλαίσιο της Εμβυθιστικής Εικονικής Πραγματικότητας

3.1. Προσανατολισμός

Η δημιουργία των φрукτωριών, καθώς και άλλων επτά αρχαίων ελληνικών εφευρέσεων στα πλαίσια της εικονικής πραγματικότητας, αποτέλεσε μέρος της διδακτορικής διατριβής «Δημιουργία και αξιολόγηση λογισμικού Πλήρως Εμβυθιστικής Εικονικής Πραγματικότητας για τη μουσειακή εκπαίδευση στην αρχαία ελληνική τεχνολογία».

Η διαδικασία δημιουργίας των φрукτωριών, καθορίστηκε σε μεγάλο βαθμό, από την εκπαιδευτική φύση και στόχευση του λογισμικού. Η επιλογή της εφεύρεσης των φрукτωριών έγινε για δύο λόγους. Πρώτον, γιατί εμφανίζει κοινά στοιχεία με τις σημερινές τεχνολογίες επικοινωνίας και δεύτερον γιατί είναι αλληλεπιδραστική. Η σημερινή τεχνολογία επικοινωνίας των ηλεκτρονικών συσκευών βασίζεται σε εκπομπή και λήψη ψηφιακού σήματος, που εμπεριέχει μια ακολουθία από λογικά 0 και 1 της άλγεβρας Boole. Με αρκετά όμοιο μοτίβο λειτουργούσε και η επικοινωνία με τις αρχαίες φрукτωρίες, όπου ο αναμμένος πυρσός θα μπορούσε να αντιστοιχιστεί στο ψηφίο 1 και το σκότος στο ψηφίο 0. Αυτή η σειρά αναμμένων και σβηστών πυρσών, αποκωδικοποιούνταν με βάση πινακίδες γραμμάτων. Αναφορικά με την αλληλεπίδραση της εφεύρεσης, για να τη λειτουργήσει ο χρήστης, θα έπρεπε να τοποθετεί και να αποτοποθετεί πυρσούς στις κατάλληλες θέσεις των τοιχίων, με στόχο την εκπομπή του κατάλληλου μηνύματος.

3.2. Η Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα

Η Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα είναι το είδος της Εικονικής Πραγματικότητας που χρησιμοποιεί συσκευές πλήρους εμβύθισης (Head Mounted Devices, HMD), προκειμένου να αποκόψει τον χρήστη από το φυσικό περιβάλλον και να τον εμβυθίσει στο εικονικό (Φωκίδης και Τσολακίδης 2011,50).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το σύστημα Meta Quest, ένα αυτόνομο σύστημα εικονικής πραγματικότητας αποτελούμενο από HMD και δύο χειριστήρια Oculus Touch. Το σύστημα φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Το Meta Quest. Πηγή: <https://3dmodels.org/3d-models/oculus-quest-2/>

Για τη δημιουργία των φρυκτωριών, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης Blender. Μετά τη σχεδίαση των φρυκτωριών, αλλά και αντικειμένων του περιβάλλοντος που δεν εντοπίστηκαν σε αποθετήρια, τα μοντέλα πέρασαν στο Unity. Το Unity είναι ίσως το πιο διαδεδομένο λογισμικό δημιουργίας εικονικών κόσμων και παιχνιδιών. Τέλος, για τη συγγραφή των custom scripts που όριζαν τις λειτουργίες των φρυκτωριών, αλλά και των πληροφοριακών στοιχείων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Visual Studio Code. Τα custom scripts συγγράφηκαν στην αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού C#.

3.3. Παράγοντες Εικονικής Πραγματικότητας

Η έρευνα γύρω από τις επιδράσεις της Εικονικής Πραγματικότητας περιστρέφεται γύρω από παράγοντες (factors), οι οποίοι διαμορφώνουν την γενικότερη εμπειρία του χρήστη. Κάποιοι από αυτούς τους παράγοντες λήφθηκαν υπόψιν κατά τη δημιουργία των φρυκτωριών και παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η εμπύθιση (immersion) αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά των συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας και συνδέεται με την αίσθηση του χρήστη, ότι βρίσκεται εντός του εικονικού περιβάλλοντος (Φωκίδης και Τσολακίδης 2011, 72-73).
- Η αλληλεπίδραση (interactivity) αποτελεί διακριτικό χαρακτηριστικό των συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας, σε σχέση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατων γραφικών (animation video, εφέ). Η αλληλεπίδραση επιτυγχάνεται με τη χρήση αισθητήρων και συσκευών, οι οποίες επιτρέπουν στον χρήστη τη διαχείριση αντικειμένων του εικονικού κόσμου (Muhanna 2015, 348).
- Το simulator sickness (ζάλη από τη χρήση της Εικονικής Πραγματικότητας). Τα συστήματα Πλήρους Εμπύθισης αποκόπτουν τελείως τον χρήστη από το φυσικό περιβάλλον και τον εμπυθίζουν στο εικονικό. Ωστόσο, σε αυτού του είδους τα συστήματα εμφανίζεται ζάλη των χρηστών. Οι δημιουργοί λογισμικών καταβάλουν προσπάθειες για την ελάττωση του φαινομένου (Dużmańska et al. 2018,2).



- Η αισθητική (aesthetics/appeal). Η αισθητική είναι ένας βασικός παράγοντας, καθώς συμβάλει στην ρεαλιστικότητα της εφαρμογής και καθορίζεται από την ποιότητα των τρισδιάστατων γραφικών (Φωκίδης και Τσολακίδης 2011, 53).

3.4. Δημιουργία Πληροφοριακών Στοιχείων

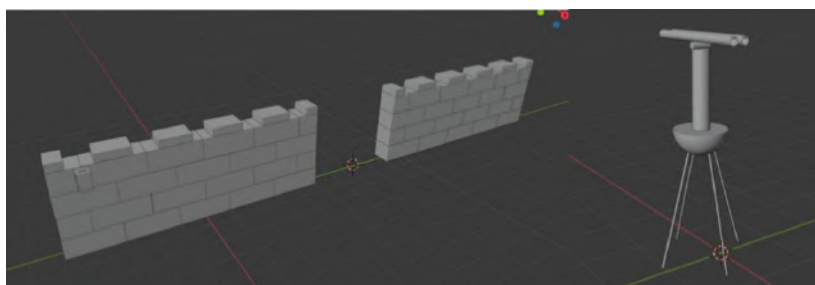
Λόγω της εκπαιδευτικής στόχευσης του λογισμικού, αποφασίστηκε να διαθέτει πληροφοριακό κείμενο, αντίστοιχο αυτών που διατίθενται για την πλαισίωση μουσειακών εκθεμάτων. Επιπρόσθετα, αποφασίστηκε ο εμπλουτισμός του λογισμικού και με αφήγηση, συνοδευόμενη από εικόνες. Στόχος αμφοτέρων των πληροφοριακών δυνατοτήτων, ήταν η πληροφόρηση του χρήστη αναφορικά με τη χρήση, τη λειτουργία, αλλά και το ιστορικό πλαίσιο της εφεύρεσης. Επιχειρήθηκε η δημιουργία ενός -όσο το δυνατόν- περισσότερο αλληλεπιδραστικού περιβάλλοντος, εξαντλώντας τις δυνατότητες των τεχνολογικών μέσων της εποχής (2020). Γι' αυτόν τον λόγο αποφασίστηκε η ενεργοποίηση των παραπάνω πληροφοριακών στοιχείων από τον χρήστη, απτικά, μέσω των χειριστηρίων.

Για τη λειτουργία των πληροφοριακών στοιχείων, σχεδιάστηκαν στο λογισμικό Blender δύο νομίσματα. Κατόπιν, πέρασαν στο λογισμικό Unity, όπου και ντύθηκαν με υφές πραγματικών αρχαίων νομισμάτων. Έπειτα, συγγράφηκε custom script, που τα περιστρέφει. Τέλος, συγγράφηκε ειδικό custom script, το οποίο ανίχνευε την επαφή των χειριών του χρήστη, με κάθε ένα από τα νομίσματα και ενεργοποιούσε αντίστοιχα το πληροφοριακό κείμενο ή την αφήγηση με τις εικόνες.

3.5. Δημιουργία των Φρυκτωριών στο Λογισμικό Blender

Η σχεδίαση των φρυκτωριών βασίστηκε στην περιγραφή του Πολύβιου του Μεγαλοπολίτη (Ιστορία 10, 45-47) και στην ανακατασκευή του Κώστα Κοτσανά (Kotsanas 2015,81).

Αρχικά, δημιουργήθηκε μια μόνο θέση για πυρσό και στη συνέχεια, εντός του Unity, αυτή αντιγράφηκε, δημιουργώντας άλλες 19 θέσεις. Μετά τα τοιχεία, σχεδιάστηκε η διόπτρα, με τη βοήθεια της οποίας ο φρυκτωρός απομόνωνε οπτικά κάθε ένα από τα τοιχεία της απέναντι φρυκτωρίας. Στην Εικόνα 2 φαίνεται μέρος από τη σχεδίαση των φρυκτωριών στο λογισμικό Blender.





Εικόνα 2. Σχεδίαση των φρουκτωριών στο Blender

3.6. Δημιουργία των Φρουκτωριών στο Unity

Πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των μοντέλων στο Unity, όπου έγινε και η σχεδίαση της πινακίδας για την αποκωδικοποίηση των σημάτων. Σχεδιάστηκε μια ενιαία πινακίδα αντί των πέντε ξεχωριστών σε μικρή απόσταση, έτσι ώστε να απλουστευτεί η εποπτεία της λειτουργίας της εφεύρεσης, λόγω της εκπαιδευτικής στόχευσης του λογισμικού. Η σχεδίαση της εφεύρεσης ολοκληρώθηκε με την προσθήκη και την παραμετροποίηση των υφών.

Το επόμενο στάδιο της ανάπτυξης, ήταν η προσθήκη του avatar και των πυρσών. Το avatar εισήχθη έτοιμο, μιας και είχε ξαναχρησιμοποιηθεί και σε άλλες αρχαίες ελληνικές εφευρέσεις. Οι πυρσοί ανακτήθηκαν από το αποθετήριο Unity Store και παραμετροποιήθηκαν προκριμένου να καταστούν αλληλεπιδραστικοί, δηλαδή ο χρήστης να είναι σε θέση να τους πιάσει, να τους τοποθετήσει στις υποδοχές, ακόμα και να τους εκσφενδονίσει.

Η μέχρι στιγμής διαδικασία ανάπτυξης είχε ως αποτέλεσμα τη λειτουργία των φρουκτωριών, όπως και στον φυσικό κόσμο. Ωστόσο, αν η ανάπτυξη παρέμενε σε αυτό το στάδιο δεν θα γινόταν χρήση των εποπτικών δυνατοτήτων που προσφέρονται από την τεχνολογία. Επίσης, στόχος ήταν η δυνατότητα δυναμικής αλληλεπίδρασης (interactivity) του χρήστη με την εφεύρεση και όχι απλώς η παρατήρησή της. Έτσι λοιπόν αποφασίστηκε η αναβάθμιση του λογισμικού με την προσθήκη προβολής του εκπεμπόμενου κάθε φορά γράμματος. Δηλαδή ανάλογα με τον συνδυασμό των πυρσών στα τοιχία, αποφασίστηκε να προβάλλεται πάνω από αυτά το αντίστοιχο, βάσει του κώδικα επικοινωνίας, γράμμα, ενώ δεν θα έπρεπε να προβάλλεται κανένα γράμμα εάν η αλληλουχία των πυρών δεν ήταν σωστή.

Για να πραγματοποιηθεί αυτή η σύνθετη λειτουργία, συντάχθηκαν custom scripts. Λόγω της αντικειμενοστραφούς γλώσσας C#, κατέστη δυνατή η επικοινωνία μεταξύ των scripts. Το γενικό μοτίβο της λειτουργίας του προγραμματισμού -χωρίς εμβάθυνση σε τεχνικές λεπτομέρειες- ήταν η δημιουργία ειδικών custom scripts τα οποία έλεγχαν, σε κάθε κύκλο λειτουργίας, το εάν στην κάθε μια από τις επάνω υποδοχές των τοιχίων, έχει τοποθετηθεί πυρσός. Έπειτα, αυτά τα 10 scripts έδιναν αναφορά στο κεντρικό custom script για τις θέσεις των πυρσών. Στο κεντρικό script χρησιμοποιήθηκε η κλασική προγραμματιστική δομή IF-ELSE IF-ELSE, σε συνδυασμό με πράξεις της άλγεβρας Boole, προκειμένου να προβάλλεται κάθε φορά το κατάλληλο γράμμα, αλλά και προκειμένου να διακόπτεται η προβολή, όταν ο συνδυασμός των πυρσών δεν ήταν σωστός.

Μετά την επιτυχή δοκιμή της εφεύρεσης, δημιουργήθηκαν και τα δευτερεύοντα στοιχεία του περιβάλλοντος. Δημιουργήθηκε ειδική διαμόρφωση του εδάφους ώστε οι φρουκτωρίες να βρίσκονται πάνω σε λόφο. Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκε απέναντι από τις λειτουργικές φρουκτωρίες και δεύτερος λόφος με άλλες φρουκτωρίες.



Πραγματοποιήθηκε ειδική στόχευση της διόπτρας ώστε όταν ο χρήστης κοιτά μέσα της, όντως να προκύπτει οπτική απομόνωση των απέναντι δύο τοιχίων μεταξύ τους. Επίσης, τοποθετήθηκε ασπίδα και δόρυ αρχαίου πολεμιστή, σχεδιάστηκαν σκαλιά και τοποθετήθηκαν πολλά ακόμα αντικείμενα περιβάλλοντος, τα περισσότερα από τα οποία πάρθηκαν από αποθετήρια (ενδεικτικά, δέντρα, θάμνοι, λουλούδια, skybox). Στόχος του εμπλουτισμού του λογισμικού με τα επιπλέον αντικείμενα ήταν η επίτευξη μεγαλύτερης εμπύθισης (immersion) του χρήστη στον εικονικό κόσμο. Η όλη σκηνή ορίστηκε να είναι νύχτα, μιας και τη νύχτα οι πυρσοί είναι ορατοί σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις.

Η διαδικασία ανάπτυξης, όπως είναι αναμενόμενο, ήταν δέσμια των περιορισμών της πλατφόρμας εκτέλεσης. Για να μπορέσει να συγκεραστεί η λεπτομέρεια των γραφικών, με τον περιορισμό σε πολύγωνα του Meta Quest, η γενική ιδέα ήταν η σχεδίαση λεπτομερειακών αντικειμένων, που αφορούν στην εφεύρεση (τοιχία, διόπτρα, πινακίδα) και η χρήση δευτερευόντων αντικειμένων με χαμηλότερο αριθμό πολυγώνων. Βάση αυτού του σκεπτικού έγινε σταθμισμένη διαχείριση των πόρων του συστήματος με στόχο την βέλτιστη αισθητική (aesthetics/appeal). Επιπρόσθετα, για τη μείωση του simulator sickness, τα τοιχία, η διόπτρα η πινακίδα και τα νομίσματα σχεδιάστηκαν σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης θα είχε τη δυνατότητα να πλοηγείται και να αλληλεπιδρά με την εφεύρεση, χωρίς τη χρήση του μοχλού κίνησης του χειριστηρίου, αλλά περπατώντας.

Συνοψίζοντας, καρπός της διαδικασίας δημιουργίας ήταν μια πλήρως αλληλεπιδραστική λειτουργική εφεύρεση, η οποία εμπεριείχε επιπρόσθετα πληροφοριακά στοιχεία. Στιγμιότυπα από την εφεύρεση φαίνονται στις Εικόνες 3,4,5.



Εικόνα 3. Άποψη των φρυκτωριών με προβολή πληροφοριακού κειμένου



Εικόνα 4. Το νόμισμα ενεργοποίησης της αφήγησης



Εικόνα 5. Προβολή του γράμματος Z

Π.Α. – Ε.Φ.



Βιβλιογραφία

- Benzi M., 1984. Evidence for a Middle Minoan settlement on the acropolis at Ialysos (Mt. Philerimos). In: R. Hägg and N. Marinatos (ed.). In: *The Minoan Thalassocracy: Myth and Reality*. Proceedings of the Third International Symposium at the Swedish Institute in Athens, 31 May-5 June 1982, Skrifter Utgivna av Svenska Institutet i Athen, 40 XXXII: Stockholm, p. 93-106.
- Christofi, M., Kyrilitsias, C., Michael-Grigoriou, D., Anastasiadou, Z., Michaelidou, M., Papamichael, I., & Pieri, K., 2018. A tour in the archaeological site of Chirokoitia using virtual reality: a learning performance and interest generation assessment. *Advances in digital cultural heritage*, p. 208-217.
- Ciaramella, V.T., 2015. *Message of Fire. An examination of the distances between the signal fires lit to announce the fall of Troy and determining if the relay system could work as found in the play 'Agamemnon' by Aeschylus*. On: <https://chs.harvard.edu/wp-content/uploads/2020/07/Message-of-Fire.pdf>
- Diepenbroek, M., 2019. From Fire Signals to ADFGX: A Case Study in the Adaptation of Ancient Methods of Secret Communication, *KLEOS - The Amsterdam Bulletin of Ancient Studies and Archaeology* 2, p.63-76.
- Dużmańska, N., Strojny, P., & Strojny, A., 2018. Can simulator sickness be avoided? A review on temporal aspects of simulator sickness. *Frontiers in psychology* 9, p.2132.
- Egea-Vivancos, A., & Arias-Ferrer, L., 2021. Principles for the design of a history and heritage game based on the evaluation of immersive virtual reality video games. *E-Learning and Digital Media* 18, p. 383-402.
- Forbes, R.J. 1966. *Studies in Ancient Technology*, vol. 6. Leiden.
- Hershbell, J.P. 1978. The Ancient Telegraph: War and Literacy, in E.A. Havelock and J.P. Hershbell (ed.). In: *Communication Arts in the Ancient World* (New York: Hastings House, 81-92.
- Holzmann, G.J. and B. Pehrson 2003. *The Early History of Data Networks*. Hoboken, N.J.: J. Wiley and Sons.
- Hultsch, F. 1905. *Demokleitos*, *RE* V.1.132.
- Johansson, C., 2016. Minoan colonies. Terms and features in an archaeological identification, *Kandidatuppsats i Arkeologi* 15.0 hp, VT, 4-27.
- Kotsanas, K. 2015. *The inventions of the Ancient Greeks*. Pyrgos. Private Edition.
- Kotsanas, K. 2016. *The Hi-Tech Inventions of Ancient Greece The Origins of Our Modern Technology. An exhibition at the European Patent Office, Munich*. European Patent Office - The Hellenic Industrial Property Organisation - Museum of Ancient Greek Technology, Katakolo, Greece - Archimedes' Museum Ancient Olympia, Greece.
- Lammert, F. 1921. *Kleoxenos* 2, *RE* XI.1.807.



- Liddell, H.G. 1984. *A lexicon abridged from Liddell and Scott's Greek-English lexicon*. Oxford: New York: Clarendon Press.
- Marín-Morales, J., Higuera-Trujillo, J. L., De-Juan-Ripoll, C., Llinares, C., Guixeres, J., Iñarra, S., and Alcañiz, M., 2019. Navigation comparison between a real and a virtual museum: time-dependent differences using a head mounted display. *Interacting with Computers* 31, p. 208-220.
- Marketou, T., 2009. Ialysos and its neighbouring areas in the MBA and LBA periods: a chance for peace. In: *The Minoans in the central, eastern and northern Aegean—new evidence. Acts of a Minoan Seminar, 22–23 January 2005 in collaboration with the Danish Institute at Athens and the German Archaeological Institute at Athens*, edited by C.F. Macdonald, E. Hallager, and W.D. Niemeier. Monographs of the Danish Institute at Athens 8. Athens: Danish Institute at Athens, p. 73–92.
- Muhanna, M. A., 2015. Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences* 27, p. 344-361.
- Panagiotakis, N., 2004. Contacts between Knossos and the Pediada region in central Crete. In: G. Cadogan, E. Hatzaki, A. Vasilakis (ed.), *Knossos: Palace, City, State*. BSA Studies 12, p. 177-186.
- Panagiotakis, N., 2013. *The earliest communication system in the Aegean, Electrione* 2, p. 13-27.
- Peatfield, A.D., 1983. The topography of Minoan peak sanctuaries, *BSA* 78, p. 273-279.
- Peithis, S.Chr., 2021. Tactical and strategic communications in ancient Greece, Fifth Century BC. Doctoral thesis (Ph.D). London: University College London.
- Sakellarakis, Y., 1996, Minoan Religious Influence in the Aegean. The Case of Kythera, *BSA* 91, p. 81-99.
- Sarris A., Kakoulaki, G., Panagiotakis N., 2011. Reconstructing the Minoan Communication Network in Central Crete. In: E. Jerem, F. Redo and V. Szeverenyi (ed.), *Proceedings of the 36th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology On the Road to Reconstructing the Past*, Hungary, p. 57- 65.
- Sherwood, A.N., M. Nikolic, J.W. Humphrey, and J.P. Oleson. 2020. *Greek and Roman Technology A Sourcebook of Translated Greek and Roman Texts*. Second Edition, Oxon- N. York: Routledge.
- Soetens, S., Driessen, J., Sarris, A., Topouzi, S. 2002., The minoan peak sanctuary landscape through a GIS approach, *Archeologia e Calcolatori* 13, p.161-170.
- Taplin, O., 2011. Klytimestra's Beacons, *Dionysus ex Machina* 2, p. 339-344.
- Tracy, S.V., 1986. The Beacon Fire in the Agamemnon, *CQ* 36, p. 257-260.
- Walker Moore D., 2017. Proof through the night: representations of fire-signaling in Greek historiography, *Histos* 9, p.108-127.



Φωκίδης, Ε., και Τσολακίδης, Κ., 2011. *Η εικονική πραγματικότητα στην εκπαίδευση θεωρία και πράξη*. Εκδόσεις Διάδραση.



ΑΙΓΙΔΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Υπουργείο Πολιτισμού

ΧΟΡΗΓΟΙ



ΤΕΧΝΙΚΟ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΤΗΡΙΟ
ΕΛΛΑΔΑΣ



ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΕ ΤΕΡΝΑ

ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ



ΜΕΓΑΡΟ
ΜΟΥΣΙΚΗΣ
ΑΘΗΝΩΝ