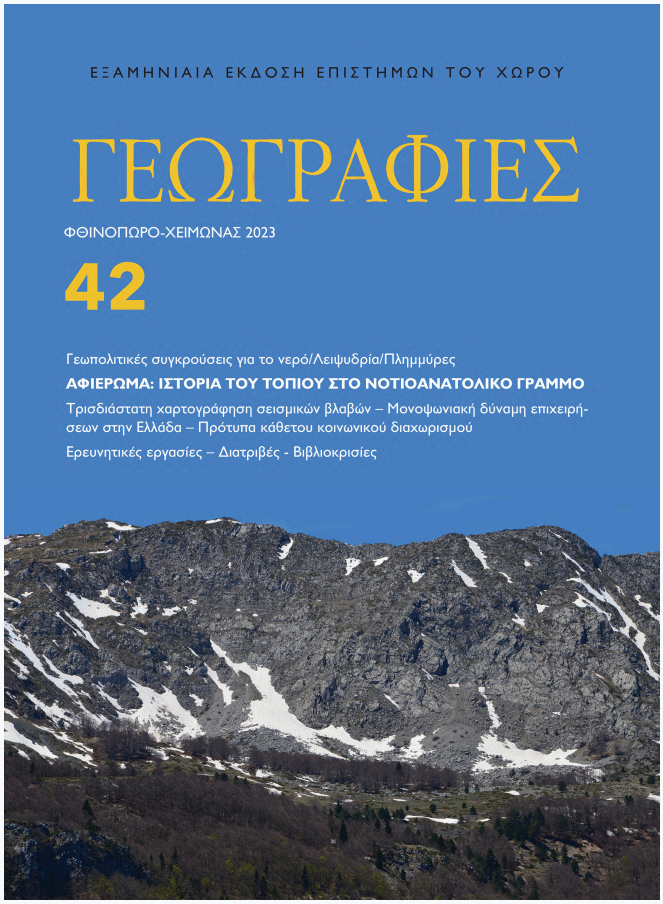
ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Γεωγραφίες

Αρ. 42 (2023)

Γεωγραφίες, Τεύχος 42, 2023



ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΟΥ ΤΟΠΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Γεώργιος Χατζιάρας, Μιχαήλ Χατζάκης, Αθανάσιος Τσακίρης, Δημοσθένης Ιωαννίδης, Δημήτριος Τζοβάρας

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 23/01/2026 03:59:32

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Γεώργιος Χατζιάρας, Μιχαήλ Χατζάκης, Αθανάσιος Τσακίρης, Δημοσθένης Ιωαννίδης, Δημήτριος Τζοβάρας
Εργαστήριο Εικονικής και Επαυξημένης Πραγματικότητας, ΕΚΕΤΑ/ΙΠΤΗΛ

Περίληψη
Το συγκεκριμένο άρθρο περιγράφει το σύστημα Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕπΠ) (Augmented Reality, AR) Eco Time-Machine, το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα παρατήρησης του οικολογικού μοντέλου μιας περιοχής στο χώρο και στο χρόνο καλύπτοντας σενάρια διαδοχής και διαταραχών τόσο στο παρελθόν αλλά και στο μέλλον, που αποτυπώνονται σε χάρτες κάλυψης 6 βασικών ειδών δασικής βλάστησης προσαρμοσμένα κατάλληλα, ώστε να παραχθεί η τρισδιάστατη οπτικοποίηση τόσο του εδάφους όσο και της βλάστησης. Η τελική εφαρμογή για συσκευές Android παρέχει τη δυνατότητα της επιτόπιας θέασης του παραγόμενου τρισδιάστατου μοντέλου βλάστησης σε επικάλυψη με το πραγματικό τοπίο χρησιμοποιώντας τεχνολογίες γεωαναφοράς (GPS) και προσανατολισμού του χρήστη.

Λέξεις-κλειδιά: Επαυξημένη Πραγματικότητα, Τρισδιάστατη Αναπαράσταση, Ιστορία Τοπίου, Οικολογικό Μοντέλο, Χωροχρονική οπτικοποίηση

3D Visualization of an Ecological Model for Landscape History using Augmented Reality technologies

Georgios Chatziaras, Michael Chatzakis, Athanasios Tsakiris, Dimosthenis Ioannidis, Dimitrios Tzovaras
Virtual and Augmented Reality Lab, CERTH/ITI

Abstract
This article describes the Eco Time-Machine Augmented Reality (AR) system, which offers the possibility of observing the ecological model of an area in space and time covering succession and disturbance scenarios both in the past and in the future, mapped onto cover maps of 6 key forest vegetation types adjusted appropriately to produce 3D visualization of both canopy and vegetation. The final application for Android devices provides the possibility of in-situ viewing of the generated 3D vegetation model overlaid with the real landscape using geo-referencing (GPS) and user orientation technologies.

Keywords: Augmented Reality, 3D Visualisation, Landscape History, Ecological Model, 4D Visualisation

Εισαγωγή

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα (ΕπΠ) τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται σε πολλά πεδία στη βιομηχανία με τη χρήση των νέων γυαλιών ΕπΠ, με σκοπό την προσφορά υπηρεσιών στους πελάτες, αλλά και στους κατασκευαστές. Κάποια παραδείγματα αυτών των πεδίων είναι η αρχαιολογία (Stuart 2012, Papagiannakis κ.ά. 2005), η αρχιτεκτονική και ο αστικός σχεδιασμός (Lee 2012, Alzahari και Alfouzan 2022), η εκπαίδευση (Shumaker και Lackey 2015,

Wu κ.ά. 2013, Lubrecht 2012, Plunkett 2019, Moro κ.ά. 2017, Birt κ.ά. 2018, Mourtzis κ.ά. 2019), οι βιομηχανικές κατασκευές (Boccaccio κ.ά. 2019, Mourtzis κ.ά. 2018, Michalos κ.ά. 2018), η πολεμική βιομηχανία (Kang κ.ά. 2010, Calhoun κ.ά. 2005) και τα βιντεοπαιχνίδια (Hawkings 2011).

Στο πεδίο της Ιστορίας Τοπίου δεν υπάρχει πληθώρα εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας, δεδομένου ότι τα περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης συνήθως χρησιμοποιούνται για να εξάγουν πιθανά σενάρια για το μέλλον παρά για το παρελθόν. Ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής που αναφέρεται στο φυσικό τοπίο βρίσκουμε στο ReforestAR (Luna κ.ά. 2022) όπου απεικονίζεται σε επαυξημένη πραγματικότητα η μεταβολή του τοπίου έπειτα από δεντροφύτευση. Οι περισσότερες όμως εφαρμογές ΕπΠ που σχετίζονται με μεταβολές στο τοπίο συνήθως έχουν να κάνουν με τον αστικό σχεδιασμό (Urban Planning),(Shih 2022), τις αγροτικές χρήσεις γης (Maulana 2022) και την κτηματογράφηση (Hairuddin κ.ά. 2021).

Με το σύστημα που αναπτύξαμε στο πλαίσιο του ερευνητικού Έργου Eco Time-Machine επιχειρήσαμε να γεφυρώσουμε το κενό που υφίσταται μεταξύ της ερευνητικής χρήσης ενός οικολογικού μοντέλου για τη διενέργεια σεναρίων προσομοίωσης που αφορούν κυρίως την επιστημονική κοινότητα και της επιτόπιας εμπειρίας του φυσικού τοπίου, αλλά και της ευαισθητοποίησης του κοινού ως προς τη μεταβολή αυτού από κλιματολογικές και ανθρώπινες παρεμβάσεις. Με τη χρήση μιας εφαρμογής ΕπΠ που μπορεί να αναπαριστά το τοπίο μίας περιοχής τόσο στο παρελθόν όσο και στο μέλλον βάσει δυνητικών σεναρίων, ο επισκέπτης μπορεί να εμβαθύνει στην ιστορία της, να κατανοήσει τους λόγους που έχουν συμβάλει στην τωρινή μορφή του τοπίου της, καθώς και να ενημερωθεί σχετικά με πιθανές διαταραχές που μπορεί να το μεταβάλουν ριζικά στο μέλλον.

Θεωρητικό υπόβαθρο

Ως Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality, AR) ορίζουμε την άμεση ή έμμεση, σε πραγματικό χρόνο, θέαση του φυσικού κόσμου, ο οποίος έχει επαυξηθεί με εικονικά στοιχεία δημιουργημένα από υπολογιστή (Carmigniani και Furht 2011). Οι όροι της ΕπΠ και της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality, VR) συχνά συγχέονται. Η διαφορά τους είναι ότι στην Εικονική Πραγματικότητα ο χρήστης απομονώνεται από το φυσικό περιβάλλον γύρω του και βλέπει μόνο έναν κόσμο δημιουργημένο στον υπολογιστή, ενώ στην ΕπΠ ο χρήστης βλέπει και τον πραγματικό κόσμο και τα δημιουργημένα επαυξημένα στοιχεία από τον υπολογιστή, τοποθετημένα στο χώρο. Συγκεκριμένα, η Γεωαναφερόμενη Επαυξημένη Πραγματικότητα (Location-Based Augmented Reality) (Paucher και Turk 2010) που χρησιμοποιούμε στο σύστημα του Eco Time-Machine αναφέρεται στην τεχνολογία χωροθέτησης τόσο της επαυξημένης πληροφορίας όσο και του χρήστη κατά τη θέασή της με βάση τη θέση και τον προσανατολισμό του που εξάγονται μέσω του συστήματος GPS και των αισθητήρων πυξίδας, γυροσκοπίου, επιταχυσιόμετρων και κλισιόμετρων μίας φορητής συσκευής.

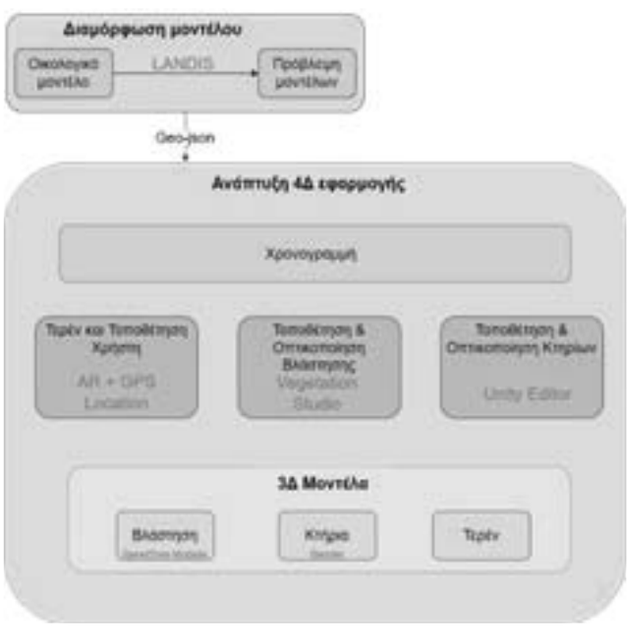
Με τον όρο Οικολογικό Μοντέλο αναφερόμαστε σε μοντέλο της διαδοχής και των διαταραχών του τοπίου που χρησιμοποιούνται για την έρευνα και τη διαχείριση των χρήσεων γης. Υπάρχουν διάφορα τέτοια μοντέλα στη βιβλιογραφία που το καθένα προσεγγίζει το πρόβλημα από διαφορετικές πλευρές λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος. Συνολικά, διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες βάσει του τύπου του μοντέλου σε Αναλυτικά και Στοχαστικά ή αλλιώς μοντέλα Προσομοίωσης. Τα αναλυτικά μοντέλα είναι συνήθως σχετικά απλά (συχνά γραμμικά) συστήματα, που μπορούν να περιγραφούν με ακρίβεια από ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων των οποίων η συμπεριφορά είναι ευρέως γνωστή. Τα αναλυτικά μοντέλα ονομάζονται επίσης συσχετιστικά μοντέλα ή εμπειρικά μοντέλα. Τα μοντέλα προσομοίωσης χρησιμοποιούν αριθμητικές τεχνικές για την επίλυση προβλημάτων για τα οποία τα αναλυτικά μοντέλα είναι μη πρακτικά ή αδύνατα. Ονομάζονται επίσης αριθμητικά μοντέλα ή μοντέλα που βασίζονται σε διαδικασίες. Μια προσέγγιση μοντέλου προσομοίωσης εστιάζει στην προσομοίωση λεπτομερών φυσικών ή βιολογικών διεργασιών που περιγράφουν ρητά τη συμπεριφορά ενός συστήματος. Τέτοια μοντέλα αποτελούν για παράδειγμα τα μοντέλα Tree and Stand Simulation (TASS) (Mitchel 1975), το 3-PG (Landsberg και Waring 1997), το FORECAST (Seely κ.ά. 2015) και το LANDIS-II (Scheller κ.ά. 2007).

Η αρχιτεκτονική του συστήματος

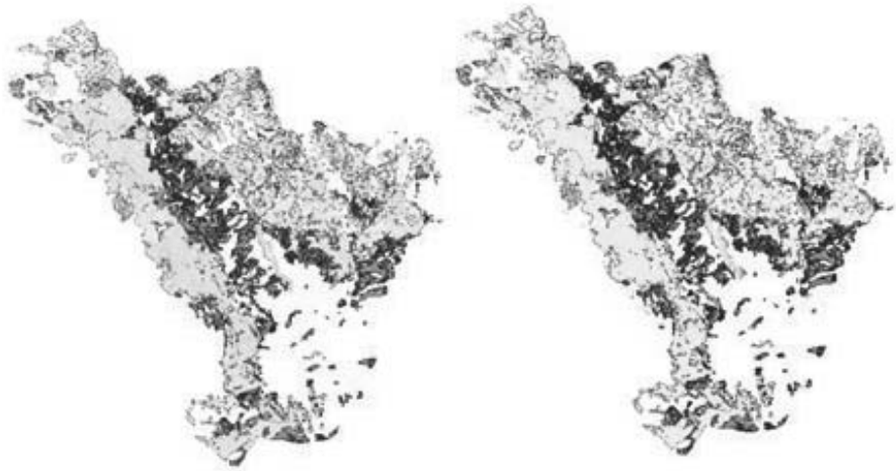
Το σύστημα τρισδιάστατης αναπαράστασης του οικολογικού μοντέλου της ιστορίας του τοπίου με χρήση τεχνολογιών Επαυξημένης Πραγματικότητας ενσωματώνει το λογισμικό εικονικής περιήγησης. Αποτελείται από μια σειρά υποσυστημάτων που παρατίθενται σχηματικά στο Σχήμα 1, το καθένα από τα οποία επιτελεί

μία διακριτή εργασία απαραίτητη για την τελική εφαρμογή χρήστη. Το **Υποσύστημα Διαμόρφωσης Μοντέλου** είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση του οικολογικού μοντέλου από την οποία παράγονται οι χάρτες διάδοσης βλάστησης στο χώρο και στο χρόνο. Από αυτή την εκτέλεση προκύπτουν επίσης τα χρονικά στιγμιότυπα που θα οπτικοποιηθούν στη **Χρονογραμμή**.

Το υποσύστημα **Τερέν και Τοποθέτησης Χρήστη** χρησιμοποιεί GPS, πυξίδα, γυροσκόπιο και άλλους σχετικούς αισθητήρες ή και την κάμερα για να καθορίσει τη θέση και τον προσανατολισμό της συσκευής και χρησιμοποιείται κυρίως σε εξωτερικά ή ανοιχτά περιβάλλοντα. Το υποσύστημα **Τοποθέτησης και Οπτικοποίησης Βλάστησης** χρησιμοποιεί τα εξαγόμενα δεδομένα του οικολογικού μοντέλου ώστε να οριοθετήσει γεωγραφικά και να απεικονίσει σε τρισδιάστατη μορφή τη βλάστηση, ενώ για στατικά στοιχεία οπτικοποίησης το υποσύστημα **Τοποθέτησης και Οπτικοποίησης Κτιρίων** αναλαμβάνει την τρισδιάστατη αναπαράσταση και γεωγραφική χωροθέτηση κτιρίων και αντικειμένων σε διαφορετικές καταστάσεις ανά τα χρόνια.



Σχήμα 1. Τα υποσυστήματα του Eco Time-Machine.



Εικόνα 1: Αρχεία raster που προέκυψαν από την εκτέλεση του οικολογικού μοντέλου.

Το Οικολογικό Μοντέλο

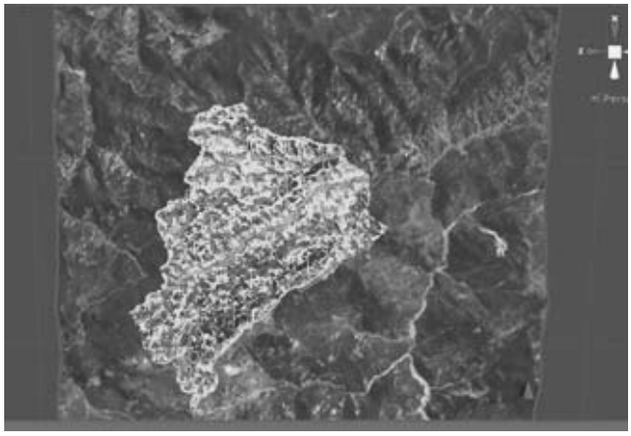
Όπως αναφέρθηκε, το οικολογικό μοντέλο που αναπτύχθηκε βασίσθηκε στο μοντέλο δασικής κάλυψης LANDIS PRO (https://cafnrfaculty.missouri.edu/gislab/landis/) και η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τη διαμόρφωση των παραμέτρων των μοντέλων της οικογένειας LANDIS (Forest Landscape Disturbance and Succession), τα οποία είναι μοντέλα προσομοίωσης της διαδοχής και των διαταραχών του δασικού τοπίου και χρησιμοποιούνται για την έρευνα και τη διαχείριση δασικών περιοχών. Είναι μοντέλα μορφής raster (Εικόνα 1) και λειτουργούν σε τοπία χαρτογραφημένα ως κυψέλες, με περιεχόμενες πληροφορίες για τη μακροζωία, τη διασπορά των σπόρων, την ανοχή σκιάς, την ανοχή πυρκαγιάς κ.ά. για να οδηγήσουν τη διαδοχή και τη διαταραχή, παρόμοιες με το λογισμικό Landsim (Roberts 1996, Roberts και Betz 1999).

Το LANDIS PRO είναι ένα σχετικά νέο μοντέλο, το οποίο βασίζεται σε πάνω από μια δεκαετία ανάπτυξης και δοκιμών του αρχικού μοντέλου LANDIS (He και Mladenoff 1999) (Mladenoff 2004). Το LANDIS PRO προσομοιώνει τη δυναμική της διαδοχής των δασών, της διασποράς των σπόρων, του ανέμου, της πυρκαγιάς, της βιολογικής διαταραχής (έντομα και ασθένειες), της συγκομιδής, της συσσώρευσης και αποσύνθεσης καυσίμων και της διαχείρισης καυσίμων.

Διαφέρει από τις προηγούμενες εκδόσεις των μοντέλων LANDIS, καθώς το LANDIS PRO παρακολουθεί τον αριθμό των δένδρων ανά ηλικιακές τάξεις και, κατά συνέπεια, ενσωματώνει πληροφορίες πυκνότητας και μεγέθους και διαδικασίες τάξης της συστάδας σε κάθε κελί.

Η ικανότητα του LANDIS PRO να προσομοιώνει, καθιστά δυνατή την πρόβλεψη της αλλαγής του δάσους για μια μεγάλη δασική περιοχή υπό διάφορα εναλλακτικά σενάρια κλίματος.

Για τη γεωγραφική κατανομή των ειδών βλάστησης στην τρισδιάστατη απεικόνιση επαυξημένης πραγματικότητας κρίθηκε απαραίτητη η μετατροπή των raster αρχείων που εξάγει το LANDIS PRO σε ανυσματική μορφή τύπου GeoJSON (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Πολυγωνικές περιοχές όπως προκύπτουν από ένα αρχείο ανυσματικής μορφής GeoJSON σε υπέρθεση με το τρισδιάστατο τερραίν

Το συγκεκριμένο είδος αρχείου χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση μιας ποικιλίας από γεωγραφικές δομές δεδομένων και γνωρίζει ιδιαίτερη αποδοχή από την ευρύτερη κοινότητα των Διαδικτυακών Χαρτών. Μπορεί να αναπαριστά μία γεωμετρία, ένα χαρακτηριστικό ή ένα σύνολο από χαρακτηριστικά. Το εν λόγω αρχείο παρέχει μια λίστα από πολυγωνικές περιοχές που καλύπτουν όλο το τοπίο. Κάθε υποπεριοχή ορίζεται από έναν διαφορετικό αριθμό σημείων με βάση το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Μέσω του συγκεκριμένου αρχείου προκύπτουν στοιχεία και συμπεράσματα που αφορούν τα είδη γης που συναντώνται στην περιοχή (δέντρα, λιθώνες, λιβάδια, καλλιέργειες, δρόμοι κ.λπ.) σε κάθε υποπεριοχή του εδάφους (grid). Ταυτόχρονα, για κάθε υποπεριοχή δίνεται το ποσοστό κάλυψης του συγκεκριμένου είδους δασικής βλάστησης, για το έτος 1945 και το 2015. Έτσι μέσω των μοντέλων πρόβλεψης προέκυψε ένα αντίστοιχο ποσοστό κάλυψης και για το έτος 1970.

Αυτό που αξίζει να σημειωθεί εν προκειμένω είναι πως κατόπιν παραδοχής, σε κάθε υποπεριοχή εμφανίζονται από τα δεδομένα το πολύ δύο κατηγορίες ειδών.


```
"M.PEFKI", "Cover_1945": "60%", "Age_1945": "orima", "Categ_2015": "M.PEFKI", "Cover_2015": "80%", "Ag
"M.PEFKI", "Cover_1945": "40%", "Age_1945": "orima", "Categ_2015": "M.PEFKI", "Cover_2015": "80%", "Ag
"DRYS-M.PEFKI", "Cover_1945": "60%", "Age_1945": "orima", "Categ_2015": "DRYS-M.PEFKI", "Cover_2015":
"LIVADI", "Cover_1945": "10%", "Age_1945": "orima", "Categ_2015": "OXYA", "Cover_2015": "100%", "Age_2
"DRYS-M.PEFKI", "Cover_1945": "40%", "Age_1945": "neara", "Categ_2015": "DRYS-M.PEFKI", "Cover_2015":
```

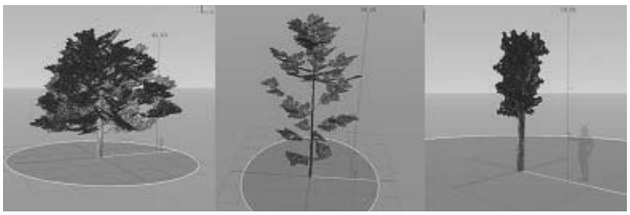

Εικόνα 3: Τμήμα του αρχείου GeoJSON στο οποίο περιέχονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με τα είδη και τα ποσοστά κάλυψης ανά υποπεριοχή του κανάβου.

Για παράδειγμα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3 παρακάτω, στη συγκεκριμένη υποπεριοχή συναντώνται 2 είδη δέντρων (δρυς και μαύρη πεύκη), παρουσιάζεται το ποσοστό κάλυψης % του πρώτου έναντι του δεύτερου για το έτος 1945 και για το έτος 2015. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της στατιστικής δημιουργήθηκε το ανάλογο ποσοστό για το έτος 1970. Ακόμη, αξίζει να αναφερθεί, πως σε κάθε περίπτωση το ποσοστό ακολουθείται από έναν αντίστοιχο χαρακτηρισμό (ώριμα, νεαρά και δενδρύλλια).

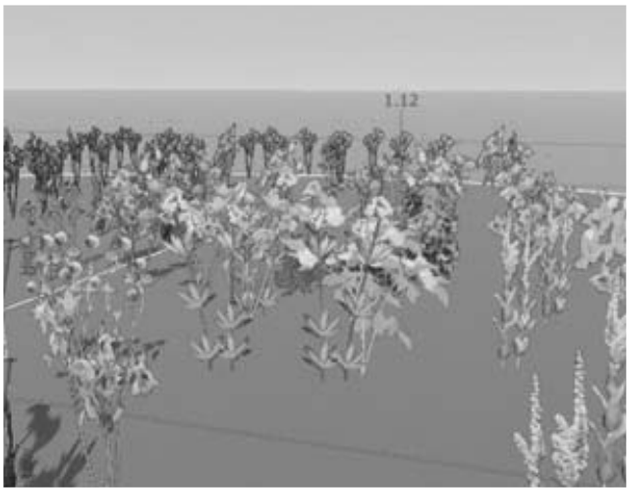
Μετατροπή των χαρτών διάδοσης σε τρισδιάστατες αναπαραστάσεις βλάστησης και εδάφους

Για την απεικόνιση των δέντρων χρειάστηκαν αρχικά πληροφορίες για το ποια είδη συναντώνται στη συγκεκριμένη περιοχή. Τα απαιτούμενα ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή ενός αρχείου GeoJSON, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο στάδιο εργασίας. Επίσης, με βάση το ίδιο αρχείο καθορίστηκαν οι ηλικιακές κατηγορίες που απεικονίστηκαν για το κάθε είδος. Κατόπιν αξιοποιήθηκαν πληροφορίες και μετρήσεις σχετικά με την εμφάνιση των διαφόρων ειδών δέντρων (διαστάσεις, χρώμα φυλλώματος, χρώμα κορμού, υφή κ.λπ.). Οι πληροφορίες αυτές προέκυψαν από φωτογραφικό υλικό κατά τη διάρκεια επιτόπιας έρευνας στην περιοχή και τη μελέτη ανάλογης βιβλιογραφίας στο διαδίκτυο (Κοράκης 2015). Αξίζει να επισημανθεί πως ο ηλικιακός διαχωρισμός έλαβε χώρα μόνο για την περίπτωση των δέντρων. Για τα ποώδη φυτά (λουλούδια κ.ο.κ.) δημιουργήθηκε αποκλειστικά ένα μοντέλο για κάθε είδος.

Για την υλοποίηση της τρισδιάστατης αναπαράστασης των δέντρων χρησιμοποιήθηκε ως βασικό εργαλείο το Speedtree Modeler (Speedtree 2022). Η υλοποίηση των μοντέλων χωρίστηκε και σε αυτήν την περίπτωση σε δύο πυλώνες: ο πρώτος αφορά τη δημιουργία μοντέλων στο Speedtree Modeler με τα αντίστοιχα πλέγματα πολυγώνων και ο δεύτερος τις υφές (textures) των φύλλων και του κορμού, για μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση του κάθε είδους.



Εικόνα 4: Δρυς σε περιοχή με χαμηλή (αριστερά), υψηλή (κέντρο) πυκνότητα βλάστησης και βοσκημένη (δεξιά).



Εικόνα 5: Ποώδη φυτά- ταυτόχρονη απεικόνιση πολλών διαφορετικών ειδών.

Για την υλοποίηση της τρισδιάστατης αναπαράστασης των ποωδών φυτών χρησιμοποιήθηκε επίσης ως βασικό εργαλείο το Speedtree Modeler. Παρομοίως σε αυτή την περίπτωση η υλοποίηση των μοντέλων βασίστηκε σε δύο πυλώνες: ο πρώτος αφορά τη δημιουργία μοντέλων στο Speedtree Modeler με τα αντίστοιχα πλέγματα πολυγώνων και ο δεύτερος αφορά τις υφές (textures) των φύλλων και των ανθών, για μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση του κάθε είδους (Εικόνα 5).

Για την αναπαράσταση της βλάστησης δημιουργήθηκαν 12 διαφορετικά είδη δέντρων μέσω του εργαλείου Speedtree το καθένα με τις δικές του υφές (textures) και πολλαπλά επίπεδα λεπτομέρειας. Καθώς η τελική εφαρμογή πρόκειται να τρέχει σε κινητά τηλέφωνα τα οποία ως επί το πλείστον διαθέτουν χαμηλότερη υπολογιστική ισχύ σε σχέση με έναν υπολογιστή απαιτούνται μοντέλα με σχετικά χαμηλό αριθμό πολυγώνων ακόμα και στο μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας, διατηρώντας όμως μια ρεαλιστική απεικόνιση. Τα διαφορετικά είδη δέντρων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και ο αριθμός των πολυγώνων τους φαίνονται στον Πίνακα 1.

Αφού οριστούν οι ζώνες βλάστησης πάνω στο τερέν προσθέτουμε σε καθεμία ζώνη τον τύπο βλάστησης που της αντιστοιχεί (Εικόνα 6). Με βάση τα δεδομένα του GeoJSON καθορίζουμε την πυκνότητα που θα έχει ο τύπος στο συγκεκριμένο χώρο. Επίσης, μπορούμε να τροποποιήσουμε και την κλίμακα και το ύψος με βάση την ηλικία.

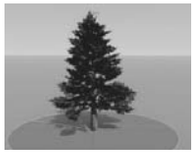
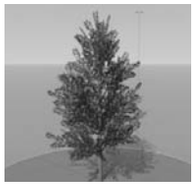
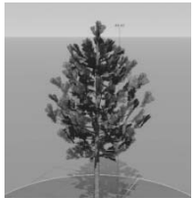
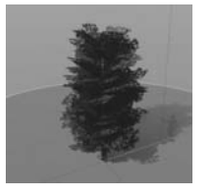
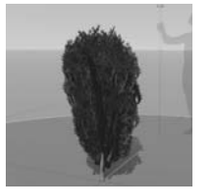
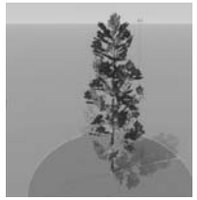
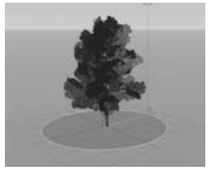
Εικόνα 6: Ζώνη που έχει οριστεί ως λιβάδι με το φυτό Caltha Palustris σε πυκνότητα 70%.

Για ζώνες που δεν αντιστοιχούν σε δέντρα χρησιμοποιούμε τα αντίστοιχα 3D αντικείμενα. Για παράδειγμα στις ζώνες που έχουν οριστεί με τον τύπο «Λιθώνες» προσθέτουμε τρισδιάστατα μοντέλα βράχων (Εικόνα 7).

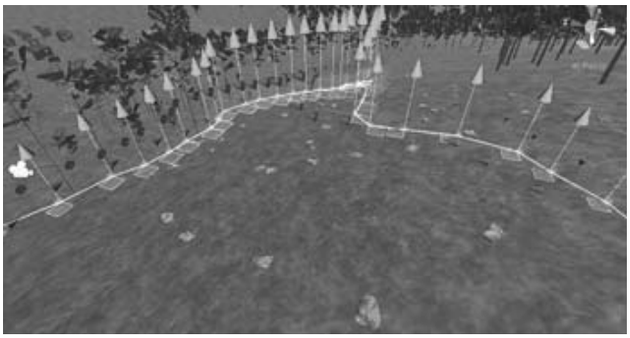
Αντίστοιχα, οπτικοποιείται και το τερέν με βάση τα στοιχεία του GeoJSON. Το τερέν που προκύπτει είναι ένα τρισδιάστατο πλέγμα που αποτυπώνει τόσο το ανάγλυφο όσο και τον τύπο του εδάφους. Στη δημιουργία 3D μοντέλων μετά τη διαδικασία της μοντελοποίησης ακολουθεί η δημιουργία υφών (texturing) και το ταίριασμα αυτών στο μοντέλο (uv mapping).

Με τον όρο UV mapping εννοούμε τη διαδικασία προβολής μιας δισδιάστατης εικόνας πάνω στην επιφάνεια ενός τρισδιάστατου μοντέλου για το ταίριασμα των υφών. Τα γράμματα U και V υποδηλώνουν τους άξονες της δισδιάστατης υφής γιατί τα X, Y και Z χρησιμοποιούνται ήδη για να περιγράψουν τους άξονες του τρισδιάστατου αντικειμένου στο χώρο του μοντέλου. Οι υφές που χρησιμοποιούνται καθορίζουν την επιφάνεια του εδάφους και πώς αυτό φαίνεται, συμπεριλαμβανομένων του χρώματος και της ανάλυσής του. Ακολουθούμε μια αυτόματη διαδικασία δημιουργίας υφών που ονομάζεται splatting (Εικόνα 7). Με βάση τις περιοχές που έχουν οριστεί από το αν αυτές περιέχουν βλάστηση ή άλλα στοιχεία τις «βάφουμε» με την αντίστοιχη υφή. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν για το τερέν 4 διαφορετικές υφές που αναπαριστούν αντίστοιχα κοίτες ποταμών, δρόμους, χλωρή βλάστηση, λιθώνες. Παράδειγμα αυτής της απεικόνισης των εν λόγω υφών στο τερέν παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.

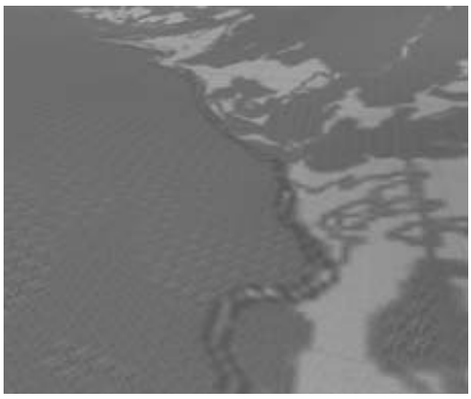
Πίνακας 1: Τύποι τρισδιάστατων μοντέλων δέντρων

Α/Α	Ονομασία	Αριθμός τριγώνων κλαδιών	Αριθμός τριγώνων φύλων	Σύνολο	Τρισδιάστατη απεικόνιση
1	Abies	118	207	325	
2	Quercus	72	29	101	
3	Populous tremula	118	108	226	
4	Pinus nigra	238	295	533	
5	Quercus ceris	18	112	130	
6	Salix caprea	92	192	284	
7	Carpinus Orientalis	12	190	202	
8	Juniperus communis	10	48	58	
9	Ostrya carpinifolia	180	146	326	
10	Fraxinus ornus	18	112	130	
11	Alnus glutinosa	180	130	310	
12	Acer pseudoplatanus	166	175	341	

Γεωγραφίες-42.indd 66 28/11/2023 2:53:31 μμ



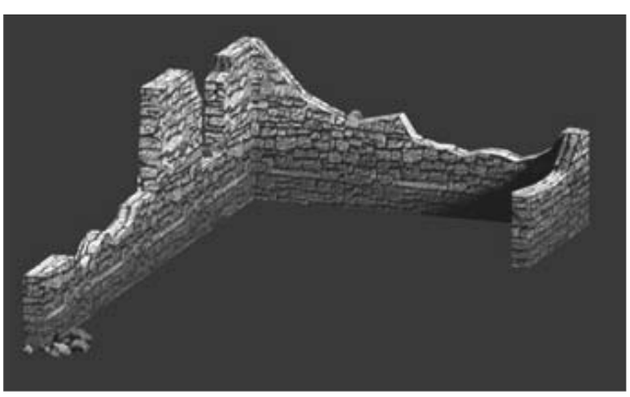
Εικόνα 7: Περιοχή με βράχους και κάναβος βλάστησης



Εικόνα 8: Εφαρμογή της τεχνικής splatting στην επιφάνεια του κανάβου.

Τρισδιάστατη αναπαράσταση κτισμάτων και άλλων στατικών αντικειμένων

Η τρισδιάστατη αναπαράσταση των κτισμάτων (Εικόνα 9) στην πρόσφατη εκδοχή τους στηρίχθηκε στη σημερινή κατάσταση του οικισμού της Παλιάς Κοτύλης και οι πληροφορίες προήλθαν από φωτογραφικό υλικό που συλλέχθηκε κατά τη διάρκεια επισκέψεων στην περιοχή (Εικόνα 10) και από τους χάρτες Google.

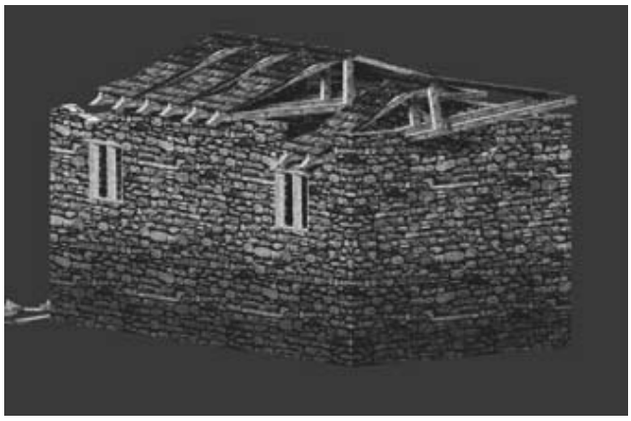


Εικόνα 9: Μοντέλο κτίσματος του οικισμού για το 2015 βασισμένο στη σημερινή κατάστασή του.

Εικόνα 10: Υπαρκτό ερειπωμένο κτίσμα του σημερινού οικισμού.

Για να επιτευχθεί η αναπαράσταση των κτιρίων σε παλαιότερες χρονικές περιόδους έπρεπε να γίνουν γνωστές οι διαστάσεις του κάθε κτιρίου. Παρατηρώντας τη φωτογραφία του οικισμού του 1945 (Εικόνα 11) και λαμβάνοντας υπόψη τις σημερινές διαστάσεις των κτισμάτων του εγκαταλελειμμένου πλέον οικισμού δημιουργήθηκε η παλαιότερη εκδοχή κάθε κτίσματος του οικισμού (Εικόνα 12). Τα πλέγματα πολυγώνων των κτιρίων χωρίστηκαν σε 3 βασικές κατηγορίες: τοιχοποιία, σκεπή και κουφώματα. Το αποτέλεσμα της τοποθέτησης των κτισμάτων αυτών στη συνολική τρισδιάστατη απεικόνιση του 4D οικολογικού μοντέλου για τη χρονιά του 1945 παρατίθεται στην Εικόνα 13.

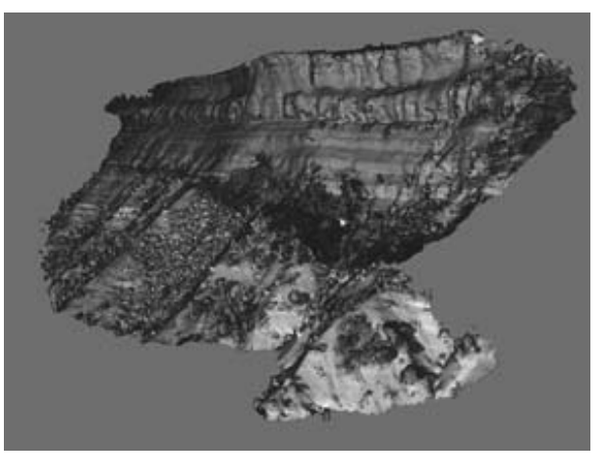
Εικόνα 11: Φωτογραφία της παλιάς Κοτύλης το 1945.



Εικόνα 12: Μοντέλο κτίσματος για το 1970 με διαβρωμένη σκεπή και ορατές τις δοκούς.

Επίσης, έπειτα από διενέργεια σάρωσης με υπερπτήση drone δημιουργήθηκε τρισδιάστατη αναπαράσταση της γεωμορφολογικής δομής με το όνομα Χάρος που αποτελεί αξιοσημείωτο φυσικό αξιοθέατο της περιοχής· η αποτύπωσή του στον τρισδιάστατο κάνναβο δεν ήταν ικανής λεπτομέρειας και πολυπλοκότητας. Το αποτέλεσμα της αναπαράστασης αυτής παρατίθεται στην Εικόνα 14.

Εικόνα 13: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του οικισμού της Κοτύλης στη μορφή του 2015 ενσωματωμένος με τον κάναβο και τη βλάστηση που προκύπτει από το οικολογικό μοντέλο.



Εικόνα 14: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του Χάρου.

Η εφαρμογή Επαυξημένης Πραγματικότητας

Η τελική εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας αναπτύχθηκε στην πλατφόρμα ανάπτυξης τρισδιάστατων εφαρμογών Unity3D και προορίζεται για φορητές μονάδες (ταμπλέτες και κινητά τηλέφωνα). Αυτό αυτομάτως δημιουργεί έναν πολύ μεγάλο περιορισμό. Οι δυνατότητες των συγκεκριμένων μηχανημάτων και η υπολογιστική ισχύς τους είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με αυτή ενός σταθερού υπολογιστή. Συνεπώς το μέγεθος της εφαρμογής έπρεπε να προσαρμοστεί ανάλογα με τις δυνατότητές τους. Τέθηκε λοιπόν εξαρχής ο περιορισμός του αριθμού πολυγώνων τού κάθε μοντέλου και κατ' επέκταση της συνολικής εφαρμογής, ειδικά αν λάβει κανείς υπόψη του τη γεωγραφική έκταση η οποία απεικονίζεται στην εφαρμογή. Πρόκειται για μια μεγάλη σε έκταση περιοχή η οποία περιλαμβάνει εκτός από τον οικισμό της παλιάς Κοτύλης και πολλές δασικές εκτάσεις διαφόρων ειδών βλάστησης (π.χ. οξιά, ελάτη, δρυς κ.λπ.). Συνεπώς όπως αναφέρθηκε, απαιτήθηκε η δημιουργία μοντέλων πολλών διαφορετικών ειδών δέντρων και φυτών σε διάφορες ηλικίες, αλλά και η ταυτόχρονη απεικόνιση όλων αυτών των αντικειμένων σε πολλαπλά αντίτυπα, ώστε να καλύπτεται το οπτικό πεδίο θέασης του χρήστη μέσα από την οθόνη της συσκευής, πράγμα που επιβαρύνει ακόμη περισσότερο την εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας.

Για τη μεγαλύτερη εμβάθυνση του χρήστη στην εμπειρία της επαυξημένης πραγματικότητας σχεδιάστηκε η κατάλληλη διεπαφή για την εφαρμογή. Καθώς ο χρήστης εισέρχεται στην εφαρμογή μέσω της αρχικής οθόνης μπορεί να επιλέξει να ξεκινήσει το εικονικό του ταξίδι μέσω του κεντρικού κουμπιού με το οποίο γίνεται η μετάβαση στην AR σκηνή και ανοίγει η εικόνα της κάμερας. Σε πρώτο στάδιο εμφανίζεται μόνο το τρισδιάστατο τερέν χωρίς λεπτομέρειες και η εικόνα της κάμερας της συσκευής, ο χρήστης καλείται να προβεί σε ευθυγράμμιση εφόσον υπάρχει απώλεια ακριβείας και ο ίδιος το επιθυμεί. Με βάση τις τιμές που λαμβάνονται από το GPS και την πυξίδα, το τερέν ευθυγραμμίζεται και εμφανίζεται το μήνυμα επιτυχούς ευθυγράμμισης στην οθόνη.

Ο χρήστης αφού επιλέξει τη χρονική περίοδο που θέλει να μεταφερθεί, εμφανίζεται στην οθόνη ένα μήνυμα αναμονής μέχρι να μετατραπούν τα δεδομένα της εξόδου του οικολογικού μοντέλου σε περιοχές βλάστησης πάνω στον κάνναβο.

Στη συνέχεια γίνεται η απεικόνιση της βλάστησης και των υπολοίπων περιβαλλοντικών στοιχείων και ο χρήστης είναι ελεύθερος να περιηγηθεί στο τοπίο κρατώντας τη συσκευή (Εικόνες 15, 16).

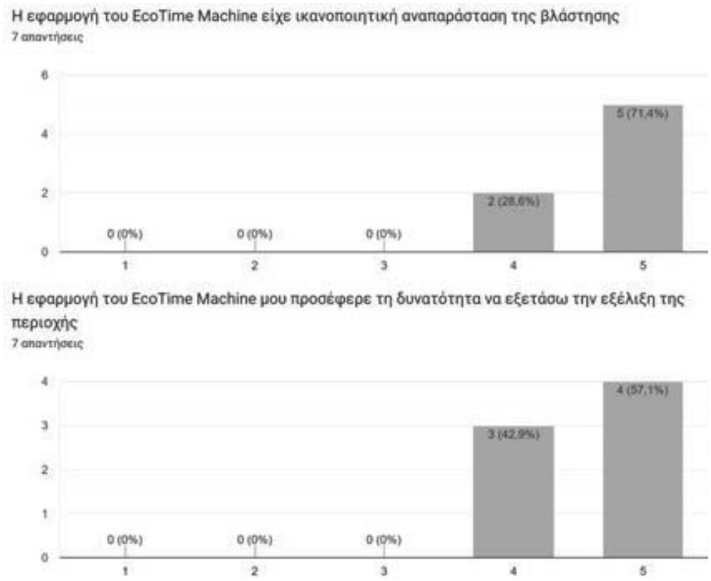
Εικόνα 15: Η αναπαράσταση του τοπίου τη χρονολογία 2015 και η χρονοσειρά επιλογής χρονικής περιόδου στο κάτω μέρος της οθόνης.

Εικόνα 16: Απεικόνιση του ίδιου τοπίου τη χρονολογία 1945.

Αποτελέσματα πιλοτικών δοκιμών

Εικόνα 17: Πιλοτική χρήση της εφαρμογής Επαυξημένης Πραγματικότητας Eco Time-Machine στην περιοχή του Πάρκου Συμφιλίωσης.

Κατά το διήμερο 27-28 Οκτωβρίου 2022 διεξήχθησαν επιτόπιες πιλοτικές δοκιμές με τη συμμετοχή του κοινού και με απευθείας χρήση της εφαρμογής στο περιβάλλον τοπίο της περιοχής του Πάρκου Συμφιλίωσης (Εικόνα 17). Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών τα οποία αποτυπώθηκαν σε αντίστοιχα ερωτηματολόγια



Εικόνα 18: Παραδείγματα στατιστικών της αξιολόγησης της εφαρμογής Επαυξημένης Πραγματικότητας στην ιστορία τοπίου

αξιολόγησης που συμπληρώθηκαν από τους συμμετέχοντες (βλ. Εικόνα 18) προκύπτει ότι τα αποτελέσματα έγιναν δεκτά με ευρέως θετική αντιμετώπιση. Η χρήση όμως της επαυξημένης πραγματικότητας αυξάνεται τα τελευταία χρόνια και μαζί της αυξάνονται και οι προσδοκίες των χρηστών σχετικά με την τεχνολογία αιχμής. Η αναδυόμενη αυτή τεχνολογία μπορεί να επωφεληθεί ιδιαίτερα από την αξιολόγηση της χρηστικότητας.

Συμπεράσματα

Στη διάρκεια των τεσσάρων ετών που διήρκησε το έργο Eco Time-Machine, επιχειρήσαμε να δημιουργήσουμε ένα πλήρες σύστημα που να επιτρέπει τη μοντελοποίηση και τρισδιάστατη απεικόνιση του φυσικού τοπίου στο χώρο και στο χρόνο. Αυτό το επιτελέσαμε με τη χρήση τεχνολογιών Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕπΠ) και οικολογικών μοντέλων Προσομοίωσης που συνδυάσαμε σε μία τελική εφαρμογή χρήστη σε φορητές συσκευές Android με απώτερο στόχο την επιτόπια εμπειρία της ιστορίας του τοπίου και των πιθανών επιπτώσεων στο μέλλον από ανθρώπινες παρεμβάσεις και κλιματικές διαταραχές. Το αποτέλεσμα της έρευνας και της ανάπτυξης που διενεργήθηκε δοκιμάσθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Κοτύλης στο Γράμμο και αξιολογήθηκε τόσο από επιστημονικό κοινό όσο και από επισκέπτες της περιοχής με πολύ θετικά αποτελέσματα. Οι προκλήσεις που παρουσιάστηκαν κατά την αξιολόγηση είναι πολλές και θέτουν τις βάσεις για περαιτέρω

εξέλιξη τόσο της έρευνας όσο και της ανάπτυξης αντίστοιχων εφαρμογών στο μέλλον.

Με αυτό κατά νου ορισμένες δυνατές βελτιώσεις του συστήματος έχουν ήδη αναγνωρισθεί και καταγραφεί και αφορούν κυρίως το μέρος της ανάπτυξης του οικολογικού μοντέλου και της ενσωμάτωσης αυτού σε μία τρισδιάστατη απεικόνιση. Το παρόν σύστημα απαιτεί αρκετή χειρωνακτική εργασία προκειμένου τα πρωτόλεια αποτελέσματα που εξάγονται από το οικολογικό μοντέλο να διαμορφωθούν κατάλληλα με σκοπό την απεικόνισή τους στην πλατφόρμα ανάπτυξης της εφαρμογής. Επίσης, το μέγεθος των δεδομένων που απαιτούνται από τη μετατροπή αυτή αυξάνεται εκθετικά σε σχέση με το γεωγραφικό μέγεθος και το χρονικό διάστημα που καλύπτεται για μια περιοχή με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εκτέλεση της εφαρμογής παρά μόνο σε συσκευές με μεγάλη μνήμη και επεξεργαστική ισχύ. Τέλος, ως προς την ακρίβεια της τοποθέτησης και προσανατολισμού χρήστη και τρισδιάστατων αναπαραστάσεων, θα επιχειρήσουμε στο μέλλον τη βελτίωση των παραμέτρων αυτών, δεδομένου ότι κατά τη θέαση απομακρυσμένων τοπίων, ακόμα και η απόκλιση μερικών μέτρων θέσης ή μοιρών προσανατολισμού επιφέρει ορατές αναντιστοιχίες μεταξύ φυσικού και εικονικού τοπίου.

Ευχαριστίες

Το έργο Eco Time-Machine υποστηρίχθηκε εν μέρει με επιχορήγηση της ελληνικής κυβέρνησης και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία 2014-2020» (ΕΠΑΝεΚ 2014-2020).

Βιβλιογραφία

Alzahari, N. M. και Alfouzan, F. A. (2022), «Augmented Reality (AR) and Cyber-Security for Smart Cities – A Systematic Literature Review», *Sensors* 22(7), σ. 2792.

Birt, J., Stromberga, Z., Cowling, M. και Moro, C. (2018), «Mobile Mixed Reality for Experimental Learning and Simulation in Medical and Health Sciences Education», *Information* 9(2), σ. 31.

Boccaccio, A., Cascella, G. L., Fiorentino, M., Gattulo, M., Manghisi, V. M. και Uva, A. E. (2019), «Exploiting Augmented Reality to Display Technical Information on Industry 4.0 P&ID», *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufactoring II*, Springer International Publishing, σ. 282-291.

Calhoun, G. L., Draper, M. H., Abernathy, M. F., Delgado, F. και Patzek, M. (2005), «Synthetic Vision System for Improving Unmanned Aerial Vehicle Operator Situation Awareness», *2005 Proceedings of SPIE Enhanced and Synthetic Vision* 5802, σ. 219-230.

Carmigniani, J. και Furht, B. (2011), «Augmented Reality: An Overview», *Handbook of Augmented Reality*, Νέα Υόρκη: Springer.

Hairuddin, F., Rasam, A., Rauf, A. και Hezri, P. (2022), «Development of a 3D cadastre augmented reality and visualization in Malaysia», The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLVI-4/W3-2021, σ. 123-130. 10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W3-2021-123-2022.

He, H. και Mladenoff, D. (1999), «Spatially Explicit and Stochastic Simulation of Forest Landscape Fire Disturbance and Succession», *Ecology*, σ. 81-99.

Kang, S. P., Choi, J., Suh, S. και Kang, S. (2010), «Design of mine detection robot for Korean mine field», *2010 IEEE.*

Landsberg, J. J., Waring, R. H. (1997), «A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning», *Forest Ecology and Management* 95(3), σ. 209-228.

Lee, G. (2012), «CityViewAR outdoor AR visualization», *Proceedings of the 13th International Conference of the NZ Chapter of the ACM'S Special Interest Group on Human-Computer Interaction – CHINZ '12*, Chinz '12, ACM, 97.

Lubrecht, A. (2012), «Augmented Reality for Education», *Wayback Machine The Digital Union*, The Ohio State University, 24 April 2012.

Luna, M., Gomes, E., Gonçalves, A., Rodrigues, N., Marto, A., Ascenso, R. (2022), «ReforestAR: An Augmented Reality Mobile Application for Reforest Purposes, 17th International Conference on Computer Graphics Theory and Applications, σ. 180-187.

Maulana, H., Sato, T. και Kanai, H. (2022), «Spatial Augmented Reality (SAR) System for Agriculture Land Suitability Maps Visualization» στο Virtual, Augmented and Mixed Reality: Applications in Education, Aviation and Industry: 14th International Conference, VAMR 2022, Held as Part of the 24th HCI International Conference, HCII 2022, Virtual Event, June 26 – July 1 2022, Proceedings, Part II. Βερολίνο, Χαϊδελβέργη: Springer-Verlag, σ. 314-328.

Michalos, G., Kousi, N., Karagiannis, P., Gkournelos, C., Dimoulas, K., Koukas, S., Mparis, K., Papavasileiou, A. και Makris, S. (2018), «Seamless human robot collaborative assembly – An automotive case study»,

Mechatronics 55, σ. 194-211.

Mitchell, K. J. (1975), «Stand description and growth simulation from low-level stereophotos of tree crowns», *J. For.* 73, σ. 12-16.

Mladenoff, D. J. (2004), «LANDIS and forest landscape models», *Ecological Modelling* 180(1), σ. 7-19.

Moro, C., Stromberga, Z., Raikos, A. και Stirling, A. (2017), «The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy: VR and AR in Health Sciences and Medical Anatomy», *Anatomical Sciences Education* 10(6), σ. 549-559.

Mourtzis, D., Zogopoulos, V., Katagis, I. και Lagios, P. (2018), «Augmented Reality based Visualization of CAM Instructions towards Industry 4.0 paradigm: a CNC Bending Machine case study», *Procedia CIRP* 70, σ. 368-373.

Mourtzis, D., Zogopoulos, V. και Xanthi, F. (2019), «Augmented reality application to support the assembly of highly customized products and to adapt to production re-scheduling», *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 105(9), σ. 3899-3910.

Papagiannakis, G., Schertenleib, S., O'Kennedy, B., Arevalo-Poizat, M., Magnetat-Thalmann, N., Stoddart, A. και Thalmann, D. (2005), «Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii», *Computer Animation and Virtual Worlds* 16(1), σ. 11-24.

Paucher, R., και Turk, M. (2010), «Location-based augmented reality on mobile phones», στο 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition-Workshops (σ. 9-16). IEEE.

Plunkett, K. (2019), «A Simple and Practical Method for Incorporating Augmented Reality into the Classroom and Laboratory», *Journal of Chemical Education* 96(11), σ. 2628-2631.

Roberts, D. W. (1996), «Landscape vegetation modelling with vital attributes and fuzzy systems theory», *Ecol. Model.* 90, σ. 175-184.

Roberts, D. W., Betz, D. W. (1999), «Simulating landscape vegetation dynamics of Bryce Canyon National Park with the vital attributes/fuzzy systems model VAFS/LANDSIM», στο D. J. Mladenoff, W. L. Baker (επιμ.), *Spatial Modeling of Forest Landscape Change*, Κέιμπριτζ: Cambridge University Press, σ. 277-308.

Scheller, R. M., Domingo, J. B., Sturtevant, B. R., Williams, J. S., Rudy, A., Gustafson, E. J., Mladenoff, D. J. (2007), «Design, development, and application of LANDIS-II, a spatial landscape simulation model with flexible temporal and spatial resolution», *Ecological Modelling* 201(3–4), σ. 409-419.

Seely, B., Welham, C. και Scoullar, K. (2015), «Application of a Hybrid Forest Growth Model to Evaluate Climate Change Impacts on Productivity, Nutrient Cycling and Mortality in a Montane Forest Ecosystem», PloS one. 10.

Shih, N.-J., Qiu, Y.-H. (2022), «Resolving the Urban Dilemma of Two Adjacent Rivers through a Dialogue between GIS and Augmented Reality (AR) of Fabrics», *Remote Sensing* 14(17), σ. 4330.

Shumaker, R. και Lackey, S. (2015), Virtual, Augmented and Mixed Reality: 7th International Conference, VAMR 2015. *HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, 2-7 August 2015, Proceedings*. Springer.

Speedtree, https://www.speedtree.com/

Stuart, E. (2012), «Augmenting Phenomenology: Using Augmented Reality to Aid Archaeological Phenomenology in the Landscape», *Journal of Archaeological Method and Theory* 19(4), σ. 582-600.

Wu, H., Lee, S., Chang, H. και Liang, J. (2013), «Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education», *Computers & Education* 62, σ. 41-49.

Unity3D, https://www.unity3d.com

Κοράκης, Γ. (2015), Αυτοφυή δασικά δέντρα και θάμνοι της Ελλάδας, Δασική βοτανική (ηλεκτρ. βιβλ.), Αθήνα, Σύνδεσμος ελληνικών ακαδημαϊκών βιβλιοθηκών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ανακτήθηκε 06 Ιουλίου 2020, από https://repository.kallipos.gr/handle/11419/744 .