



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΟΡΦΗ  
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ**

**Κωνσταντίνος Μαυρογεώργος**

Επιβλέπων: Βύρων Νάκος, Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπουσα: Ανδριανή Σκοπελίτη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΔΠΜΣ  
«ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

Αθήνα, Φεβρουάριος 2023





# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ  
ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ**

**Κωνσταντίνος Μαυρογεώργος**

Επιβλέπων: Βύρων Νάκος, Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπουσα: Ανδριανή Σκοπελίτη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2023



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και των σπουδών μου στο ΔΠΜΣ «ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου θέλω να ευχαριστήσω όλους αυτούς που μου συμπαραστάθηκαν σε αυτήν την διαδρομή, αυτούς που με βοήθησαν να κατανοήσω καλύτερα τις έννοιες στον καινούριο για μένα «κόσμο» της Γεωπληροφορικής και όσους συντέλεσαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Πρώτα απ' όλα θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Γιώργο Μαυρογεώργο και Ελένη Χρόνη, για την ψυχολογική, υλική και χρηματική στήριξη στην διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών και όχι μόνο. Ευχαριστώ επίσης τα αδέρφια μου, Μαρία και Μιχαήλ.

Στην συνέχεια θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Βύρωνα Νάκο, Δρ. Αγρονόμο & Τοπογράφο Μηχανικό και Καθηγητή του ΕΜΠ για την επίβλεψη της εργασίας και για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα πολύ μοντέρνο θέμα που αφορά την τρισδιάστατη Χαρτογραφία και τις εφαρμογές της στο διαδίκτυο. Έχοντας ο ίδιος τεράστιο επιστημονικό υπόβαθρο και μία εις βάθος κατανόηση στις αρχές της Χαρτογραφίας με βοήθησε να κατανοήσω καλύτερα αυτήν την επιστήμη η οποία με κέρδισε από την αρχή του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Ευχαριστώ θερμότατα την Αντελίνα Σκοπελίτη, Δρ. Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό και Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ για την βοήθειά της στην εκπόνηση της εργασίας και για την αμέριστη συμπαράστασή της σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπισα. Την ευχαριστώ επίσης για την προθυμία της και την ταχύτητα εξυπηρέτησης κάθε φορά που την χρειαζόμουν. Από την διδασκαλία των μαθημάτων της έλαβα το πάθος για την Χαρτογραφία και από τις γνώσεις της και την εμπειρία της έμαθα πάρα πολλά πράγματα.

Θέλω να ευχαριστήσω για μία ακόμη φορά το ΙΔΡΥΜΑ ΒΑΡΩΝΟΥ ΜΙΧΑΗΛ ΤΟΣΙΤΣΑ και όλο το προσωπικό της ΦΟΙΤΗΤΙΚΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΤΟΣΙΤΣΑ στην ΚΗΦΙΣΙΑ για την στέγαση και την υλική στήριξη που μου παρείχε και για τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

Κλείνοντας, θα ήθελα να αποδώσω ευχαριστίες και στους φίλους μου και ιδιαίτερα στον φίλο μου πατήρ Σπυρίδωνα Ταλάρη για την φιλοξενία και την βοήθεια που μου έχει παράσχει στην Αθήνα.

Κωνσταντίνος Μαυρογεώργος  
Φεβρουάριος 2023, Αθήνα

## ABSTRACT

The scope of this thesis is the development of 3D web maps for the island of Andros using existing Geographical Information Systems. The development of the maps is done through the study of the theory of three-dimensional Cartography and the principles proposed by the researchers towards a coherent 3D cartographic theory. The main goal is the creation of 3D maps according to the cartography-oriented 3D visualization which is the one that prevails in the cartographic scientific community.

In the first stage, the Digital Terrain Model, which is the most basic element in 3D visualizations, was constructed and all the necessary spatial data was collected either from previous works or from online sources. After the modeling of the DTM and the topographic objects, the symbolization was carried out using QGIS and ArcGIS Pro software. Cartography-oriented 3D visualization implies rendering of spatial data with cartographic symbols that must be inserted in a legend. Thus, the surface and linear data are rendered by overlaying over a DTM using the traditional symbols from the two-dimensional cartography. For point data, symbols are replaced either by 3D models or by pictures that act like billboards, i.e., they are constantly facing the camera. The final format of the maps is defined as 3D landscape maps using non-photorealistic elements.

The final visualization is done through online applications that allow the user to manipulate the scene, i.e., to change the viewing angle either horizontally or vertically. Thus, the 3D map becomes more interactive and friendlier to the average user. While for QGIS the creation of the web application is done through the plugin QGIS2threejs, for ArcGIS Pro the development of the web application is done through the ArcGIS Online platform. Within the context of this work, the web application produced by QGIS2threejs only works locally on the computer, opposed to the application produced with ArcGIS Online that is published directly on the world wide web.

In conclusion, the two GI Systems present similar capabilities with the only difference arising in the web application as in the QGIS2threejs plugin the exported application is not complete and needs additional effort and additional technologies to be integrated on a website. At the end, proposals were expressed for further research.

**Keywords:** 3D Cartography, 3D Maps, 3D Landscape Maps, Cartography-Oriented 3D Visualization, Online Mapping Applications, Andros, QGIS, QGIS2threejs, ArcGIS Pro, ArcGIS Online.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη τρισδιάστατων διαδικτυακών χαρτών για την νήσο Άνδρο χρησιμοποιώντας υφιστάμενα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Η δημιουργία των χαρτών πραγματοποιείται μέσα από την θεωρητική μελέτη της τρισδιάστατης Χαρτογραφίας και των αρχών και κανόνων που έχουν προτείνει όσοι ερευνητές έχουν ασχοληθεί μ' αυτήν. Η κυριότερη επιδίωξη είναι η δημιουργία 3D χαρτών με κριτήριο την χαρτογραφικά προσανατολισμένη τρισδιάστατη οπτικοποίηση η οποία είναι εκείνη που επικρατεί στην χαρτογραφική επιστημονική κοινότητα.

Στο πρώτο στάδιο της εργασίας κατασκευάστηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους που είναι το πιο βασικό στοιχείο στις τρισδιάστατες απεικονίσεις και συλλέχθηκαν όλα τα αναγκαία χωρικά δεδομένα είτε από προγενέστερες εργασίες ή από διαδικτυακές πηγές. Ύστερα από την μοντελοποίηση του ΨΜΕ και των τοπογραφικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε ο συμβολισμός χρησιμοποιώντας τα υφιστάμενα και ευρέως χρησιμοποιούμενα ΣΓΠ QGIS και ArcGIS Pro. Η χαρτογραφικά προσανατολισμένη 3D οπτικοποίηση επιβάλλει η απόδοση των χωρικών δεδομένων να γίνεται με χαρτογραφικά σύμβολα τα οποία πρέπει να επεξηγούνται σε ένα υπόμνημα. Έτσι τα επιφανειακά και τα γραμμικά δεδομένα αποδίδονται με υπέρθεση πάνω στο ΨΜΕ και χρήση των παραδοσιακών συμβόλων από την διδιάστατη χαρτογραφία. Για τα σημειακά δεδομένα, τα σύμβολα αντικαθίστανται είτε από 3D μοντέλα ή από εικονιστικά σύμβολα τα οποία λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να κοιτούν συνεχώς προς τον παρατηρητή ή αναγνώστη του χάρτη. Η μορφή των τελικών χαρτών ορίζεται ως τρισδιάστατοι χάρτες τοπίου χρησιμοποιώντας μη φωτορεαλιστικά στοιχεία.

Η τελική οπτικοποίηση γίνεται μέσω διαδικτυακών εφαρμογών οι οποίες επιτρέπουν στον χρήστη να μετακινείται εντός του 3D χάρτη, δηλαδή να αλλάζει την γωνία θέασης είτε στο οριζόντιο είτε στο κατακόρυφο επίπεδο. Έτσι ο 3D χάρτης γίνεται πιο διαδραστικός και πιο φιλικός προς τον μέσο χρήστη. Για μεν το ΣΓΠ QGIS η δημιουργία της διαδικτυακής εφαρμογής γίνεται μέσα από το πρόσθετο λογισμικό QGIS2threejs, για δε το ΣΓΠ ArcGIS Pro η ανάπτυξη της διαδικτυακής εφαρμογής γίνεται μέσα από την πλατφόρμα ArcGIS Online. Στα πλαίσια της ανά χείρας εργασίας η διαδικτυακή εφαρμογή που παρήχθη από το QGIS2threejs λειτουργεί μόνο τοπικά στον υπολογιστή, αντιθέτως η εφαρμογή που παρήχθη στο ArcGIS Online είναι δημοσιοποιημένη στον παγκόσμιο ιστό και ελεύθερα διαθέσιμη σε όλους.

Όσον αφορά τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της εργασίας, τα δύο ΣΓΠ παρουσιάζουν παρεμφερείς δυνατότητες με την μόνη διαφορά να προκύπτει στην δόμηση της διαδικτυακής εφαρμογής καθώς στο πρόσθετο QGIS2threejs η εφαρμογή που παράγεται δεν είναι ολοκληρωμένη και χρειάζεται επιπλέον κόπος και επιπλέον τεχνολογίες για να ενσωματωθεί σε ιστοσελίδα. Στο τέλος καταγράφονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω στο αντικείμενο.

**Λέξεις-κλειδιά:** Τρισδιάστατη Χαρτογραφία, Τρισδιάστατοι χάρτες, 3D Χάρτες Τοπίου, Χαρτογραφικά προσανατολισμένη 3D οπτικοποίηση, Διαδικτυακές χαρτογραφικές εφαρμογές, Άνδρος, QGIS, QGIS2threejs, ArcGIS Pro, ArcGIS Online.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>x</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>11</b>
1.1 Γενικά .....	11
1.2 Αντικείμενο της εργασίας .....	11
1.3 Διάρθρωση της εργασίας.....	11
<b>2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>12</b>
2.1 Γενικά .....	12
2.2 Η διάκριση μεταξύ φωτορεαλιστικών και μη φωτορεαλιστικών χαρτών .....	12
2.3 Η διάκριση μεταξύ ενός 3D μοντέλου και ενός 3D χάρτη.....	13
2.4 Μεθοδολογικό μοντέλο για την κατασκευή 3D χαρτών .....	14
2.5 Χαρτογραφικές αρχές σε 3D περιβάλλον .....	16
2.6 Χαρτογραφική Γενίκευση.....	18
2.6.1 Διαδραστικότητα και γενίκευση .....	20
2.7 Συμβολισμός .....	22
2.7.1 Σημειακά δεδομένα .....	22
2.7.2 Επιφανειακά δεδομένα.....	22
2.7.3 Επιφανειακοί Υδάτινοι Πόροι .....	22
2.7.4 Ανάγλυφο - Οντότητες 2.5 διαστάσεων.....	23
2.8 Ονοματολογία .....	23
2.8.1 Η πρώτη διάκριση των μεθόδων αναγραφής της ονοματολογίας.....	23
2.8.2 Η δεύτερη διάκριση των μεθόδων αναγραφής της ονοματολογίας .....	23
2.8.3 Τεχνικές για την αναγραφή της ονοματολογίας.....	24
<b>3 ΒΑΣΙΚΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ 3D ΧΑΡΤΗ</b> .....	<b>25</b>
3.1 Βασικά Περιεχόμενα .....	25
3.2 Θεματικά επίπεδα τριών διαστάσεων .....	25
3.3 Θεματικά επίπεδα «2.5 διαστάσεων» .....	26
3.4 Θεματικά επίπεδα δύο διαστάσεων .....	26
3.5 Τρόποι κτήσης 3D δεδομένων.....	27
<b>4 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ</b> .....	<b>28</b>
4.1 Γενικά - Περιοχή μελέτης .....	28
4.2 Δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.....	28



4.3	Υλοποίηση στο ΣΓΠ QGIS.....	29
4.3.1	Περιεχόμενα των τελικών 3D χαρτών .....	29
4.3.2	Δυνατότητες του λογισμικού QGIS2threejs .....	32
4.4	Υλοποίηση στο ΣΓΠ ArcGIS .....	37
4.4.1	Περιεχόμενα των τελικών 3D χαρτών .....	37
4.4.2	ArcScene .....	40
4.4.3	ArcGIS Pro.....	41
4.4.4	ArcGIS Online.....	42
<b>5</b>	<b>ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>43</b>
5.1	QGIS2threejs.....	43
5.2	ArcGIS Online.....	44
<b>6</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>46</b>
6.1	Συμπεράσματα.....	46
6.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	46
<b>7</b>	<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>	<b>47</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>49</b>

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Σχήμα 1:</b> Γραφικές πτυχές κατά τον σχεδιασμό ενός 3D χάρτη, εξαχθείσες από Haeberling (2002) και Haeberling (2005).....	14
<b>Εικόνα 1:</b> Μεθοδολογικό μοντέλο για την κατασκευή των 3D χαρτών (Haeberling, 2002 από Terribilini, 2001).....	15
<b>Εικόνα 2:</b> Η διαδικασία ανάπτυξης των 3D χαρτών σύμφωνα με την Bandrova (2005).....	16
<b>Εικόνα 3:</b> Επίπεδα αφαίρεσης σύμφωνα με τον Bodum (2005), από (Sieber et al., 2013). ....	19
<b>Εικόνα 4:</b> Επίπεδα λεπτομέρειας για την απόδοση χώρων πρασίνου (Semmo et al., 2012). ....	20
<b>Εικόνα 5:</b> Επίπεδα λεπτομέρειας για την απόδοση δέντρων (Semmo et al., 2012). ....	20
<b>Εικόνα 6:</b> Ονοματολογία δομημένη με την τεχνική billboarding σε 3D τοπογραφικό χάρτη στην Ελβετία (Haeberling, 2002 από Terribilini, 2001). ....	24
<b>Εικόνα 7:</b> Τα σημεία του ορίζοντα σε έναν τρισδιάστατο τοπογραφικό χάρτη (Haeberling, 2002)....	27
<b>Εικόνα 8:</b> Η αστοχία στο παραγόμενο ΨΜΕ και στις ισούψεις, που οφείλεται στις αντίθετες κατευθύνσεις του υδρογραφικού δικτύου.....	29
<b>Εικόνα 9:</b> Γενική άποψη του 3D χάρτη της Άνδρου (1) .....	30
<b>Εικόνα 10:</b> Γενική άποψη του 3D χάρτη στον Κόλπο Μπατσίου .....	32
<b>Εικόνα 11:</b> Σύγκριση του αναγλύφου μεταξύ των ακραίων επιπέδων αναδειγματοληψίας. Μέγεθος φατνίου αριστερά: 450m. Μέγεθος φατνίου δεξιά: 75m. ....	34
<b>Εικόνα 12:</b> Παράθυρο διαλόγου με τις επιλογές για την απόδοση του ΨΜΕ .....	34
<b>Εικόνα 13:</b> Τέσσερις όψεις για τα τοπωνύμια της Ξηράς.....	35
<b>Εικόνα 14:</b> Θαλάσσια τοπωνύμια εντός της 3D σκηνής της Άνδρου (1) .....	36
<b>Εικόνα 15:</b> Θαλάσσια τοπωνύμια εντός της 3D σκηνής της Άνδρου (2) .....	36
<b>Εικόνα 16:</b> Τα τρισδιάστατα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τον συμβολισμό των σημειακών δεδομένων: α) Ανεμογεννήτριες, β) Φάρος, γ) Παραλίες και δ) Τριγωνομετρικά σημεία. ....	37
<b>Εικόνα 17:</b> Γενική άποψη του 3D χάρτη της Άνδρου επάνω στην Ψηφιακή Σφαίρα της ERSI.....	38
<b>Εικόνα 18:</b> Γενική άποψη του 3D χάρτη στον Κόλπο Μπατσίου .....	39
<b>Εικόνα 19:</b> Γενική άποψη του 3D χάρτη της Άνδρου (2) .....	43
<b>Εικόνα 20:</b> Άποψη του λιμένα Μπατσίου εντός του 3D χάρτη Μπατσίου.....	43
<b>Εικόνα 21:</b> Ο 3D χάρτης της Άνδρου εντός του φυσικού περιβάλλοντος της ψηφιακής σφαίρας της ESRI. Από αριστερά προς τα δεξιά διακρίνονται τα νησιά Τήνος, Σύρος και Γυάρος. ....	44
<b>Εικόνα 22:</b> Ενσωμάτωση 3D μοντέλων στον χάρτη για τον συμβολισμό σημειακών δεδομένων. Εδώ φαίνεται ο συμβολισμός των ανεμογεννητριών. ....	44
<b>Εικόνα 23:</b> Άποψη του λιμένα Μπατσίου εντός του 3D χάρτη Μπατσίου.....	45
<b>Εικόνα 24:</b> Τα τρισδιάστατα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τον συμβολισμό των σημειακών δεδομένων: α) Ανεμογεννήτριες, β) Τριγωνομετρικά σημεία. ....	45

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενικά

Η παρούσα εργασία επιδιώκει να μελετήσει θεωρητικά την 3D Χαρτογραφία και τις χαρτογραφικές αρχές που πρέπει να διέπουν την κατασκευή των 3D χαρτών. Ως χαρτογραφικές αρχές νοούνται όλες οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για να δημιουργηθεί ένας αποτελεσματικός χάρτης που να εξυπηρετεί τις ανάγκες των αναγνωστών. Η εργασία επιδιώκει επίσης να παράξει 3D χάρτες αλλά και να διερευνήσει τις δυνατότητες που έχουν τα υφιστάμενα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών για την αναπαράσταση Χωρικών Δεδομένων στις 3 διαστάσεις. Οι χάρτες θα έχουν την μορφή τρισδιάστατων χαρτών τοπίου χρησιμοποιώντας μη-φωτορεαλιστικά στοιχεία. Αυτό σημαίνει ότι ο συμβολισμός τείνει περισσότερο προς τα παραδοσιακά πρότυπα που εφαρμόζονται και στην διδιάστατη χαρτογραφία και δεν στρέφεται προς την αποτύπωση των σκηνών με πλήρη ρεαλισμό.

## 1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Οι κυριότεροι στόχοι που τέθηκαν για το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι κατά πρώτον η θεωρητική προσέγγιση στην 3D Χαρτογραφία και η διερεύνηση των δυνατοτήτων των ΣΓΠ για την ανάπτυξη 3D χαρτών με γνώμονα την χαρτογραφικά προσανατολισμένη 3D οπτικοποίηση. Κατά δεύτερον, η ενσωμάτωση των 3D χαρτών σε διαδικτυακές εφαρμογές μέσα από τις οποίες οι χάρτες γίνονται άμεσα διαθέσιμοι στο ευρύ κοινό. Οι εφαρμογές θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν διαδραστικές, δηλαδή ο χρήστης να μπορεί να περιηγηθεί μέσα στις 3D σκηνές και όχι στατικοί 3D χάρτες ή αλλιώς εικόνες που προβάλλουν το τοπίο μέσα από προοπτική απόδοση. Τέλος θα πρέπει κατά το δυνατόν οι διαδικτυακές εφαρμογές να παρουσιάζουν γενίκευση, δηλαδή να εναλλάσσουν το περιεχόμενο ανάλογα με την «κλίμακα» απόδοσης.

## 1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η εργασία περιλαμβάνει μαζί με το παρόν 6 κεφάλαια που περιγράφονται συνοπτικά στην συνέχεια.

- **Στο Κεφάλαιο 2**, γίνεται μία θεωρητική προσέγγιση στην 3D χαρτογραφία συνοδευόμενη από βιβλιογραφική διερεύνηση.
- **Στο Κεφάλαιο 3**, περιγράφονται τα συνηθέστερα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στους τρισδιάστατους χάρτες και ιδίως τα δεδομένα που συμπίπτουν με την κατηγορία χαρτών που επιλέχθηκε να δημιουργηθούν σ' αυτήν την εργασία.
- **Στο Κεφάλαιο 4**, παρουσιάζεται το πρακτικό μέρος της εργασίας και περιγράφονται οι δυνατότητες των υφιστάμενων λογισμικών για την αναπαράσταση χωρικών δεδομένων σε τρεις διαστάσεις.
- **Στο Κεφάλαιο 5**, γίνεται μια μικρή παρουσίαση των τελικών παραγόμενων προϊόντων.
- **Στο Κεφάλαιο 6**, γίνεται ανακεφαλαίωση των συμπερασμάτων της παρούσας εργασίας καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και βελτίωση.

## 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ

### 2.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της εργασίας διερευνήθηκαν τα βασικότερα στοιχεία που υπεισέρχονται στον σχεδιασμό ενός χάρτη από την σκοπιά των τριών διαστάσεων. Αυτά είναι οι χαρτογραφικές αρχές που πρέπει να διέπουν την σχεδίαση του χάρτη, η χαρτογραφική γενίκευση, ο συμβολισμός και τέλος η ονοματολογία. Διερευνήθηκε το πως αυτές οι κλασικές «χαρτογραφικές διαδικασίες» εφαρμόζονται στον χώρο 3 διαστάσεων. Ειδικότερα για τις χαρτογραφικές αρχές στην 3D Χαρτογραφία γίνεται λόγος εδώ και πάρα πολλά χρόνια και οι ερευνητές προτείνουν ότι θα πρέπει να καταρτισθεί ένα γενικό και συμπαγές πλαίσιο το οποίο θα καθορίζει τις αρχές στο τρισδιάστατο περιβάλλον. Πολλές εργασίες έχουν γίνει προς αυτήν την κατεύθυνση ωστόσο απουσιάζει μέχρι σήμερα μία συνεκτική και καθ' όλα αποδεκτή θεωρία.

### 2.2 Η διάκριση μεταξύ φωτορεαλιστικών και μη φωτορεαλιστικών χαρτών

Όπως αναφέρθηκε ήδη από την εισαγωγή, οι χάρτες που θα δημιουργηθούν θα περιλαμβάνουν γραφιστικά και όχι φωτορεαλιστικά στοιχεία. Για την διάκριση μεταξύ των δύο χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Αρκετοί χαρτογράφοι θεωρούν ότι ένας τρισδιάστατος χάρτης είναι εξ' ορισμού φωτορεαλιστικός. Για παράδειγμα η Bandrona φαίνεται να εμμένει στην φωτορεαλιστική απόδοση των 3D χαρτών. Αυτό αναφέρεται στα περισσότερα άρθρα της, στην διαδικασία κατασκευής που προτείνει (βλέπε Εικόνα 2) αλλά και στον ορισμό που δίνει η ίδια για τους 3D χάρτες, που είναι (Bandrona, 2005, σελίδα 54):

“A 3D map can be defined as a computer generated, mathematical defined, three-dimensional, highly realistic virtual representation of the world’s surface (or another heavenly body), as well as of the objects and phenomena in nature and society. The represented objects and phenomena are classified, designed and visualized according to specific purposes.”

Αυτό όμως που επιδιώκεται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η ανάπτυξη 3D χαρτών ως συμβολική αναπαράσταση της πραγματικότητας. Για την κατανόηση μεταξύ φωτορεαλιστικών και μη-φωτορεαλιστικών χαρτών θα πρέπει να δοθεί μεγάλη έμφαση. Ο Pegg (2012) κατατάσσει την μέθοδο υπέρθεσης της ορθοφωτογραφίας πάνω από DTM στους φωτορεαλιστικούς χάρτες, επειδή προσομοιάζει ακριβώς στην γήινη επιφάνεια. Οι μη φωτορεαλιστικοί χάρτες αναφέρονται ως “συμβολικοί” (αγγλ. “symbolistic”). Ο Petrovic (2003) σχολιάζει την διαφορά μεταξύ φωτορεαλιστικής και συμβολικής εικόνας (χάρτη). Η φωτορεαλιστική απεικόνιση δίνει την ίδια εντύπωση στους αναγνώστες με το εάν παρατηρούσαν την πραγματικότητα. Αν αυτό είναι το ζητούμενο, τότε σύμφωνα με τον Petrovic, ποια είναι η χρησιμότητα των χαρτών έναντι των αεροφωτογραφιών ή των δορυφορικών εικόνων υψηλής ευκρίνειας; Τα δύο πλεονεκτήματα του χάρτη σε σύγκριση με τις ορθοφωτογραφίες είναι η χαρτογραφική γενίκευση και ο χαρτογραφικός συμβολισμός. Άλλοι συγγραφείς (Hájek et al., 2016) μιλούν για την κατηγοριοποίηση, με την οποία γίνεται ευδιάκριτη η διαφορά μεταξύ των αντικειμένων/οντοτήτων που συνθέτουν τον χάρτη. Μέσα από αυτήν την οπτική ο Petrovic δίνει τον ορισμό του τρισδιάστατου χάρτη ως «χαρτογραφική παρουσίαση **τοπίου** σε προοπτική όψη, όπου τα τοπογραφικά αντικείμενα και τα φαινόμενα παρουσιάζονται με **χαρτογραφικά σύμβολα**, τα οποία εξηγούνται σε ένα **υπόμνημα**» (Petrovic, 2003, σελ. 1922, η έμφαση προστέθηκε). Ο ορισμός αυτός διαφέρει σημαντικά από τους ορισμούς που δίνουν άλλοι χαρτογράφοι. Η γνώμη του γράφοντος είναι ότι η συμβολική αφαιρετική αναπαράσταση της πραγματικότητας είναι η «μαγεία» του χάρτη. Παρόλο που ο χάρτης δημιουργείται από δεδομένα προερχόμενα από αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες, το γεγονός ότι κατασκευάζεται «πάνω» σε λευκό χαρτί είναι αυτό που τον διακρίνει από τις εν γένει χωρικές αναπαραστάσεις, δηλαδή η γενίκευση και ο συμβολισμός. Ο Petrovic καταλήγει ότι με την φωτορεαλιστική αναπαράσταση «χάνουμε» τα σημεία-κλειδιά του χάρτη, που είναι η πληροφοριακή και η επικοινωνιακή του αξία και η αξία του ως έργου τέχνης.

### Ορισμός του 3D χάρτη

Ασφαλώς ο πλήρης ορισμός του τρισδιάστατου χάρτη δεν μπορεί να εξαντληθεί σε μία «προοπτική απόδοση τοπίου». Εκτός από τα παραπάνω, σύμφωνα με τους Haeberling et al. (2008) θα πρέπει να συντρέχουν και τα τρία χαρακτηριστικά που σηματοδοτούν την έννοια του χάρτη, ώστε στην προοπτική απεικόνιση να μπορούμε να μιλήσουμε για έναν **τρειςδιάστατο χάρτη**. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

- Η ενσωμάτωση πληροφορίας που έχει γεωγραφική υπόσταση,
- Η παρουσία γενίκευσης στα δεδομένα,
- Και η γραφική εμφάνιση του μοντέλου να κατηγοριοποιείται με σύμβολα, τα οποία εισάγονται σε ένα υπόμνημα.

### 2.3 Η διάκριση μεταξύ ενός 3D μοντέλου και ενός 3D χάρτη

Η Bandrona (2020) υποστηρίζει ότι η διαφορά μεταξύ ενός 3D μοντέλου και ενός 3D χάρτη έγκειται στα **σύμβολα** και μάλιστα τα σύμβολα από την σκοπιά της χαρτογραφίας. Αυτά είναι **το σύμβολο του Βορρά**, το datum, **η κλίμακα**, η γενίκευση, **τα τοπωνύμια**, **το υπόμνημα** και ο τίτλος.

Η τοποθέτησή της είναι πολύ σωστή και έχουν επισημανθεί με έντονα γράμματα τα πιο διαφορετικά στοιχεία. Αν σκεφτούμε π.χ. τα τρισδιάστατα κτηριακά μοντέλα (τύπου AutoCAD 3D ή τα φωτορεαλιστικά μοντέλα, τύπου SketchUp) αυτά προφανώς δεν συμπεριλαμβάνουν την κλίμακα της απεικόνισης και ούτε περιλαμβάνουν υπόμνημα. Το datum και η γενίκευση δεν θεωρούνται από τον γράφοντα ως κριτήρια διάκρισης γιατί δεν γίνονται αντιληπτά από τον μέσο χρήστη. Την ίδια άποψη έχει και ο Pegg (2012), ότι δηλαδή τα σύμβολα είναι εκείνα που διαφοροποιούν τον 3D χάρτη από το 3D μοντέλο.

## 2.4 Μεθοδολογικό μοντέλο για την κατασκευή 3D χαρτών

Πολύ ενδιαφέρον είναι το σχήμα που υιοθετεί ο Haeberling (2002) από τον Terribilini (2001), σύμφωνα με το οποίο η κατασκευή ενός 3D χάρτη είναι αποτέλεσμα τριών διεργασιών, όπως φαίνεται παρακάτω. Η αξία του εν λόγω σχήματος έγκειται στην απλότητά του και στην ευκολία κατανόησής του. Σε μεταγενέστερη έρευνα ο Haeberling (2005) προσθέτει στην διαδικασία σχεδιασμού ενός χάρτη και το στάδιο της σύλληψης (concept).

### Μοντελοποίηση → Συμβολισμός → Οπτικοποίηση

<ul style="list-style-type: none"><li>• Μοντελοποίηση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους</li><li>• Μοντελοποίηση τοπογραφικών στοιχείων (Διανυσματικά δεδομένα, Ψηφιδωτά δεδομένα και 3D αντικείμενα ή μοντέλα)</li><li>• Μοντελοποίηση στοιχείων προσανατολισμού (Γεωγραφικό πλέγμα, Κάναβος προβολικού συστήματος, Σημεία του ορίζοντα)</li><li>• Δημιουργία σημασιολογικής πληροφορίας</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Θέση</li><li>• Σχήμα</li><li>• Μέγεθος</li><li>• Βαθμός γενίκευσης<sup>1</sup></li><li>• Βαθμός απλοποίησης<sup>1</sup></li><li>• Χρώμα και φωτεινότητα</li><li>• Υφές και μοτίβα</li><li>• Ονοματολογία</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Εφαρμοζόμενη προβολή (Κεντρική ή παράλληλη προβολή)</li><li>• Επίπεδα λεπτομέρειας (Levels of Detail)</li><li>• Η κάμερα</li><li>• Φωτισμός</li><li>• Σκίαση και σκιές</li><li>• Ατμοσφαιρικές – Περιβαλλοντικές συνθήκες</li></ul>
--	--	---

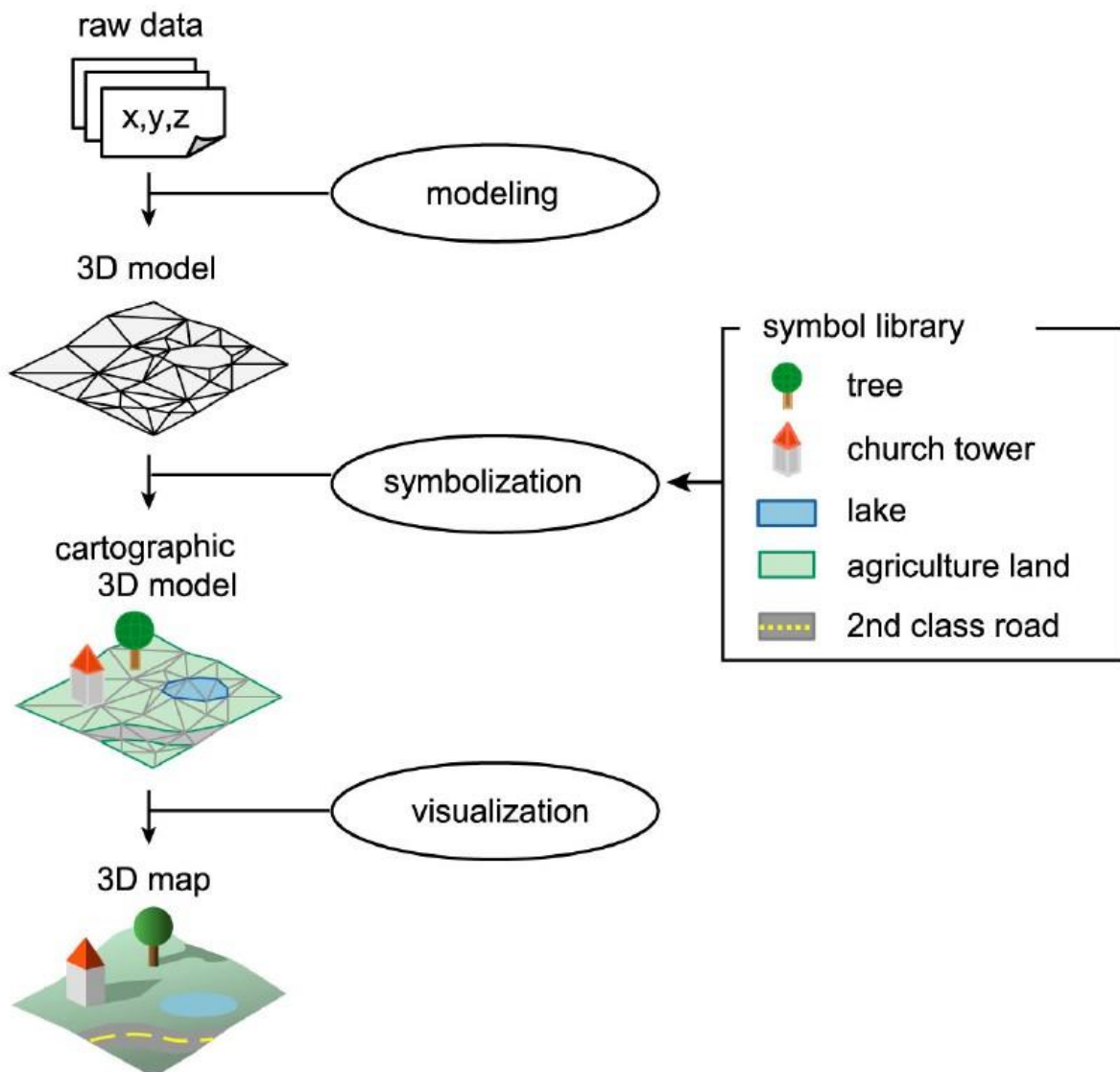
**Σχήμα 1:** Γραφικές πτυχές κατά τον σχεδιασμό ενός 3D χάρτη, εξαχθείσες από Haeberling (2002) και Haeberling (2005).

Κάθε στάδιο του σχεδιασμού περιλαμβάνει αρκετές σχεδιαστικές πτυχές. Και αντιστοίχως κάθε πτυχή ομαδοποιεί ένα πλήθος μεταβλητών. Παραδείγματος χάριν, στην ομάδα του φωτός εμπεριέχονται μεταβλητές όπως είναι το είδος του φωτισμού (σημειακός, διάχυτος...), η απόσταση της πηγής, το ύψος της πηγής κ.α. Ο σημειακός φωτισμός αποδίδει στο τοπίο σκιές (shadows) με τις οποίες προσδίδεται έμφαση σε σημεία που θέλουμε και διαφοροποιείται η οπτική εικόνα κατά την επιθυμία του χαρτογράφου. Στην ομάδα των ατμοσφαιρικών συνθηκών υπεισέρχεται ο ουρανός, η ομίχλη κ.α. Στις ατμοσφαιρικές μεταβλητές/εφέ εντάσσεται επίσης και ο ορίζοντας. Αξίζει να αναφερθεί ότι στον σχεδιασμό των τρισδιάστατων χαρτών συναντώνται πάρα πολλές γραφικές μεταβλητές. Στην διδακτορική διατριβή του Christian Haeberling, που εκπονήθηκε στο Ινστιτούτο Χαρτογραφίας του ETH Zurich στην Ελβετία, αποκωδικοποιήθηκαν όλες οι γραφικές μεταβλητές που υπεισέρχονται στον σχεδιασμό ενός 3D χάρτη και διαπιστώθηκε ότι αυτές ξεπερνούν τις 70 (βλέπε Haeberling et al., 2008). Φυσικά μπορούμε να διακρίνουμε τις γραφικές μεταβλητές που εφαρμόζουμε στην διδιάστατη χαρτογραφία από τις πιο σύγχρονες οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή αποκλειστικά στην τρισδιάστατη χαρτογραφία. Ορισμένες από αυτές είναι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες του τύπου: *λιακάδα, συννεφιά, βροχή, και η ένταση του φωτός, π.χ. ημέρα-νύχτα*. Κατά την γνώμη του γράφοντος, τέτοιου είδους ατμοσφαιρικές συνθήκες προσιδιάζουν περισσότερο στα αρχιτεκτονικά φωτορεαλιστικά μοντέλα και κατ' επέκταση δεν είναι ιδιαίτερα απαραίτητες στους 3D χάρτες. Επειδή όμως είναι αρκετά αρεστές στο ευρύ κοινό βλέπουμε ότι τελευταία εντάσσονται και αυτές στην τρισδιάστατη χαρτογραφία. Είναι

<sup>1</sup> Haeberling et. al, 2008

σίγουρο όμως ότι το χρώμα του ουρανού, ίσως και η ομίχλη χρειάζονται στον 3D χάρτη και οι χαρτογράφοι είναι σύμφωνοι ως προς αυτό (βλέπε Terribilini, 2001). Τέλος, στα περιβαλλοντικά εφέ, μπορεί να προστεθεί μεταξύ άλλων και η χιονοκάλυψη.

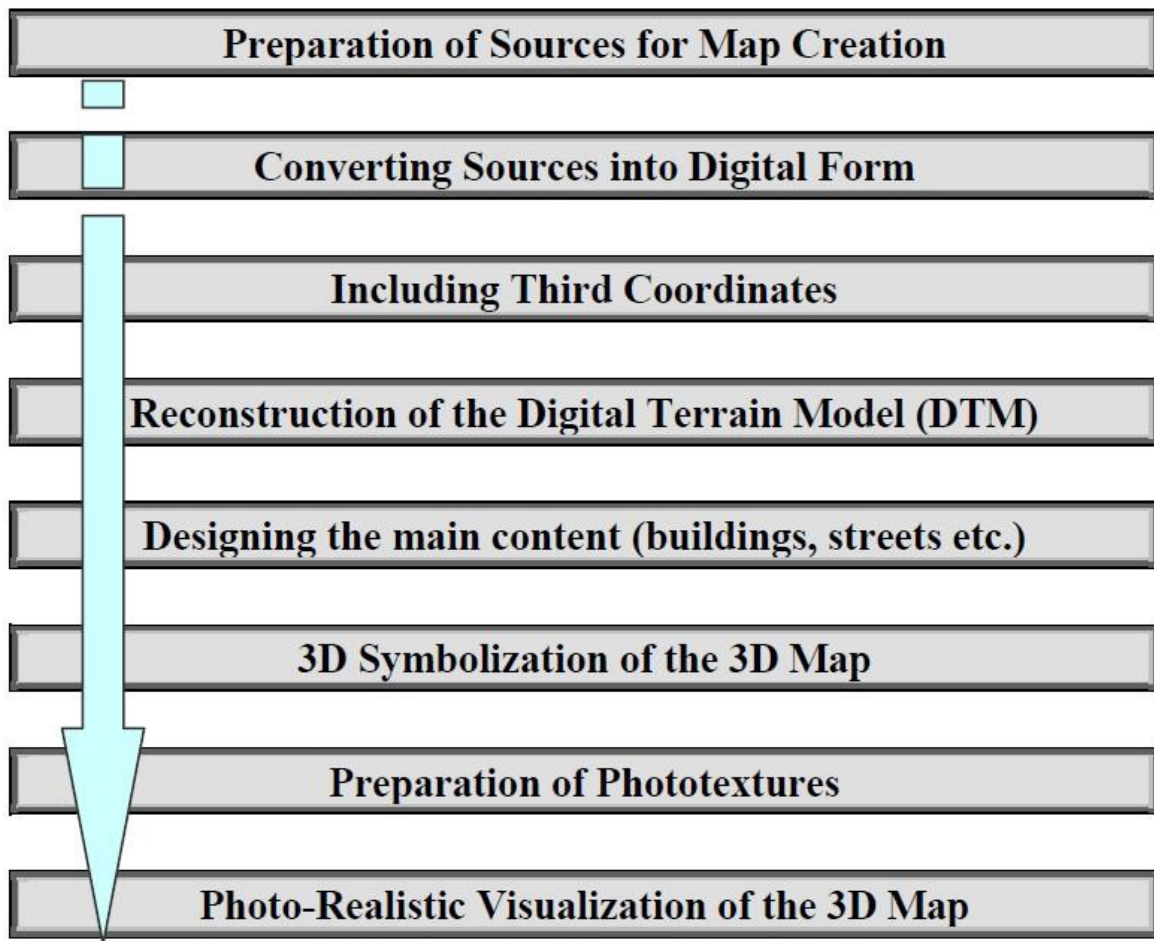
Όσον αφορά την προβολή της απεικόνισης, οι σχεδιαστικές μεταβλητές είναι η προοπτική (κεντρική) προβολή και η παράλληλη (ή ισομετρική) προβολή. Βλέπε επίσης Pasewaldt et al., 2012. Στην εικόνα 1 φαίνεται μία σχηματική αναπαράσταση του μεθοδολογικού μοντέλου του Haeberling, το οποίο εφαρμόστηκε και στην εκπόνηση της ανά χειράς εργασίας.



**Εικόνα 1:** Μεθοδολογικό μοντέλο για την κατασκευή των 3D χαρτών (Haeberling, 2002 από Terribilini, 2001).



Για ένα εξίσου επιτυχημένο μεθοδολογικό μοντέλο βλέπε στην εικόνα 2.



**Εικόνα 2:** Η διαδικασία ανάπτυξης των 3D χαρτών σύμφωνα με την Bandrova (2005).

## 2.5 Χαρτογραφικές αρχές σε 3D περιβάλλον

Χαρτογραφικές αρχές είναι όλες εκείνες οι παράμετροι που χρειάζεται να λάβουμε υπόψη ώστε να φτιάξουμε έναν αποτελεσματικό χάρτη. Ο ορισμός των χαρτογραφικών αρχών δίνεται από τους Haerberling et al. (2008, σελίδα 178) ως «... οδηγίες που ομοιάζουν με κανόνες ή συστάσεις, οι οποίες καθορίζουν τον τρόπο σχεδίασης των διαφορετικών κλάσεων των αντικειμένων ή το πώς να επιτευχθεί μία ευανάγνωστη, ερμηνεύσιμη και αρμονική χαρτογραφική εικόνα». Πιο συγκεκριμένα είναι:

- Τα όρια οπτικής αντίληψης. Δηλαδή πόσο μικρό μπορεί να είναι ένα μέγεθος, ποια απόσταση πρέπει να έχουν 2 σύμβολα για να γίνεται αντιληπτή η διαφορά τους κ.α.
- Οι διαστάσεις των αντικειμένων
- Το αν τα δεδομένα είναι συνεχή ή διακριτά
- Το αν είναι εξομαλυσμένα ή μη εξομαλυσμένα, δηλαδή Βαθμωτά.
- Το αν είναι ποσοτικά ή ποιοτικά
- Και φυσικά οι οπτικές μεταβλητές



Κατά γενική ομολογία, οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχει ακόμη ένα πλαίσιο για τις χαρτογραφικές αρχές στο τρισδιάστατο περιβάλλον και ότι μας λείπει μέχρι στιγμής μία συνεκτική 3D χαρτογραφική θεωρία. Για παράδειγμα ο Pegg (2012) αναφέρει ότι η χαρτογραφία των τριών διαστάσεων διαβαίνει ακόμη το βρεφικό της στάδιο.

Οι Hájek et al. (2016) αναφέρουν ότι η σχεδίαση ενός 3D χάρτη βασίζεται κυρίως στις προτιμήσεις και τις επιλογές του χαρτογράφου εν αντιθέσει με την κλασική χαρτογραφία όπου οι παράμετροι σχεδιασμού αλλά και η όλη διαδικασία σχεδίασης είναι απολύτως γνωστές. Στο ίδιο πνεύμα, ο Pegg (2012) αναφέρει ότι οι χαρτογράφοι σχεδιάζουν χάρτες με βάση προκαθορισμένες αρχές, συμβάσεις και κανόνες. Βέβαια αυτό συμβαίνει μόνο με τους χάρτες πλοήγησης (τοπογραφικούς, ναυτικούς και αεροναυτικούς) γιατί κατασκευάζονται με συγκεκριμένες προδιαγραφές. Όμως για τους θεματικούς χάρτες δεν υπάρχουν δεσμεύσεις, παρά μόνο οι χαρτογραφικοί κανόνες, και ο χαρτογράφος έχει στη διάθεσή του εναλλακτικούς τρόπους απόδοσης και μεγάλη ελευθερία επιλογών. Η ελευθερία επιλογών αντικατοπτρίζεται σαφώς και στον ορισμό του χάρτη από την Διεθνή Χαρτογραφική Ένωση (ICA, 2003).

Όσον αφορά τις αρχές, αυτές καθ' εαυτές, οι Hájek et al. (2016), συνοψίζουν τις χαρτογραφικές αρχές για την κατασκευή 3D χάρτη σε αστικό τοπίο ως εξής:

1. Στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση των οντοτήτων του αστικού χώρου για το αναμενόμενο μέγιστο μέγεθος λεπτομέρειας. Κατά την τρισδιάστατη αυτή μοντελοποίηση πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα εξής:
  - I. Οι οντότητες του χάρτη (σημεία, γραμμές, πολύγωνα) και οι επιφάνειες (TIN, Grid).
  - II. Ο “σεβασμός” στις οπτικές μεταβλητές, όπως αυτές διατυπώθηκαν από τον Bertin (1983).
  - III. Και η σωστή κατηγοριοποίηση των αντικειμένων, ώστε να γίνεται εύκολα αντιληπτή η μεταξύ τους διαφορά. Η κατηγοριοποίηση υπάρχει σαφώς και στον 2D χάρτη.
2. Και στην διαμόρφωση κανόνων για τις λιγότερο λεπτομερείς προβολές, (χωρίς να αναφέρουν ποιοι είναι αυτοί οι κανόνες). Τέλος πάντων, ειδικά για την περίπτωση των πόλεων η διαφορά λεπτομέρειας μπορεί να βασιστεί στα λεγόμενα Levels of Detail ή στα Levels of Abstraction.

Εδώ η αναφορά στον όρο «κατηγοριοποίηση» πιθανότατα έχει σχέση με την κατάταξη του χωρικού φαινομένου που απεικονίζεται ως προς την συνέχεια (δηλαδή είναι συνεχές ή διακριτό), ως προς την ομαλότητά του (εξομαλυσμένο ή μη-εξομαλυσμένο), ως προς τις διαστάσεις του (σημειακό, γραμμικό, επιφανειακό, ογκομετρικό ή τρισδιάστατο), τα δεδομένα του αν είναι πρωτογενή ή παράγωγα (δηλ. προϊόντα επεξεργασίας) και ως προς την κλίμακα του συστήματος ιεράρχησης των χωρικών φαινομένων (ονομαστική κλίμακα, κλίμακα τάξης ή διαστήματος). Με βάση την κατάταξη αυτή και την καταλληλότερη οπτική μεταβλητή καθορίζεται ο τρόπος απόδοσης του χωρικού φαινομένου με σκοπό ο χάρτης να είναι αποτελεσματικός.

Ένα ενδιαφέρον άρθρο και πολύ ουσιαστικό είναι του Haeberling (2005) που ήδη αναφέραμε. Ο Haeberling συντάσσεται με την γενική άποψη των χαρτογράφων περί της 3D θεωρίας. Στο άρθρο αυτό καταθέτει τις γραφικές μεταβλητές (design variables), τις οποίες ομαδοποιεί σε γραφικές πτυχές (design aspects) και καταθέτει επίσης τα στάδια του σχεδιασμού (design process stages). Επιπλέον ύστερα από έρευνα που πραγματοποίησε με την συμμετοχή 27 ειδικών στην χαρτογραφία καταθέτει 19 «χαρτογραφικές αρχές». Από τις 19 προτάσεις που καταθέτει, οι πιο “απτές” και πιο ουσιαστικές για τον επίδοξο σχεδιαστή ενός 3D χάρτη είναι:

- Οι οντότητες σε έναν τοπογραφικό χάρτη μπορούν να έχουν μια φυσική-ρεαλιστική εμφάνιση αλλά δεν πρέπει να είναι φωτορεαλιστικά σχεδιασμένες.
- Με την κατακόρυφη ενίσχυση του ΨΜΕ δίνεται έμφαση στο ανάγλυφο (ή έδαφος) της περιοχής του χάρτη.
- Όσον αφορά το ύψος της κάμερας, η γωνία  $45^\circ$  ως προς το επίπεδο αναφοράς του χάρτη είναι προτιμητέα.
- Ο φωτισμός του μοντέλου πρέπει να γίνεται από τα πλάγια ή έστω ελαφρώς από μπροστά.
- Το υπόβαθρο δέον να χρωματίζεται με ομοιόμορφο και ουδέτερο χρώμα.
- Η ομίχλη δεν είναι καθοριστική παράμετρος για την αναγνώριση της 3<sup>ης</sup> διάστασης, αν και...
- Η προσθήκη “απαλής” ομίχλης βελτιώνει την αντίληψη του βάθους σε μια προοπτική απεικόνιση.

## 2.6 Χαρτογραφική Γενίκευση

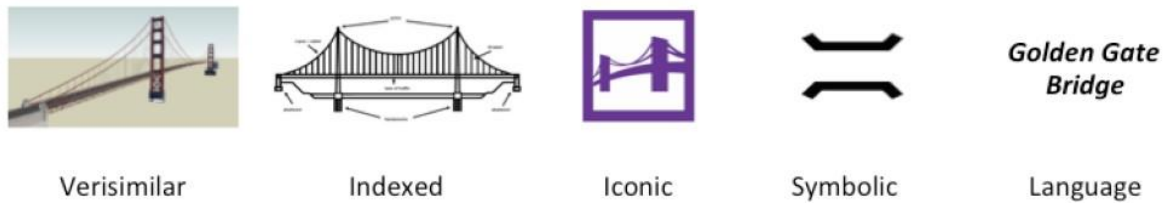
Μία θεμελιώδης διαδικασία στην χαρτογραφική πρακτική είναι η γενίκευση. Όπως είναι φυσικό η γενίκευση απαντάται και στην τρισδιάστατη χαρτογραφία και μάλιστα είναι περισσότερο αναγκαία. Η πρωταρχική έννοια της γενίκευσης συνίσταται εις το ότι δεν μπορούμε να διαθέτουμε όλη την πληροφορία που υπάρχει στην επιφάνεια της Γης σε ψηφιακή μορφή. Αυτή συνδέεται με τα δεδομένα που δύναται να έχει στην διάθεσή του ο χαρτογράφος. Όσον αφορά τώρα την κατασκευή του χάρτη, η γενίκευση εντάσσεται και στα 3 στάδια του μεθοδολογικού μοντέλου του Terribilini και διαφορετικοί τελεστές εφαρμόζονται σε κάθε στάδιο.

Στο πρώτο στάδιο βρίσκουμε το φιλτράρισμα. Το φιλτράρισμα είναι η επιλογή που κάνει ο χαρτογράφος για το ποια δεδομένα από το σύνολο εκείνων που διαθέτει θα ενσωματώσει μέσα στον χάρτη. Σύμφωνα με εκτενέστερα μοντέλα, το φιλτράρισμα αποτελεί ένα στάδιο προεπεξεργασίας των δεδομένων και εντάσσεται ως ξεχωριστό στάδιο μεταξύ της μοντελοποίησης και του συμβολισμού. Για την σύνθεση των 3D χαρτών υπάρχουν διάφορες μέθοδοι φιλτραρίσματος των δεδομένων. Και αυτό γιατί σε αντίθεση με την διδιάστατη χαρτογραφία στην οποία το φιλτράρισμα πραγματοποιείται σε ενιαία βάση, στην τρισδιάστατη χαρτογραφία μπορεί να βασιστεί σε κριτήρια. Έτσι διακρίνουμε το φιλτράρισμα βασισμένο στα αντικείμενα του χάρτη (π.χ. θεματικό φιλτράρισμα), το φιλτράρισμα βασισμένο στην τοποθεσία (Location-based) και το φιλτράρισμα βασισμένο στην απόσταση θέασης (View-dependent ή Camera-distance).

Στο δεύτερο στάδιο βρίσκουμε την γενίκευση με την ίδια έννοια όπως και στην διδιάστατη χαρτογραφία. Οι γνωστοί τελεστές της γενίκευσης μεταφέρονται αυτούσιοι στον 3D χώρο. Οι Sieber et al., (2013) αναφέρουν ότι τελεστές όπως η ομαδοποίηση, η επιλογή, η απλοποίηση, η τυποποίηση κ.α. είναι θεμελιώδεις διαδικασίες στην 3D χαρτογραφία. Παραδείγματος χάριν, οι ισοΰψεις αναμφίβολα χρειάζονται εξομάλυνση και όταν προβάλλονται σε 3 διαστάσεις. Άλλο παράδειγμα: ο τελεστής της συνένωσης επιφανειακών οντοτήτων ο οποίος μπορεί κάλλιστα να εφαρμοστεί και στον χώρο (βλέπε Glander et al., 2011, Εικόνα 4). Πέραν της συμβατικής της εφαρμογής, η γενίκευση στους 3D χάρτες λαμβάνει υπόψη και άλλες παραμέτρους. Αυτές είναι ο βαθμός απλοποίησης (degree-of-abstraction), η αντίληψη του βάθους και η παραμόρφωση λόγω της κεντρικής προβολής. Ο βαθμός απλοποίησης λαμβάνεται υπόψη μέσα από τα επίπεδα αφαίρεσης (Levels of Abstraction). Η αντίληψη του βάθους και η προοπτική παραμόρφωση λαμβάνονται υπόψη μέσα από τα επίπεδα λεπτομέρειας (Levels of Detail).

### Επίπεδα αφαίρεσης

Τα επίπεδα αφαίρεσης είναι μία έννοια που αναφέρεται στην συμβολική διαβάθμιση των περιεχομένων του χάρτη (βλέπε Εικόνα 3). Έτσι κάθε επίπεδο αφαίρεσης σχετίζεται με τον βαθμό ρεαλισμού ή εικονικότητας του συμβόλου στο μοντέλο. Τα επίπεδα αφαίρεσης είναι η πρώτη επιλογή που πρέπει να γίνει ως προς τον τρόπο αναπαράστασης κάθε οντότητας/αντικειμένου του χάρτη.



**Εικόνα 3:** Επίπεδα αφαίρεσης σύμφωνα με τον Bodum (2005), από (Sieber et al., 2013).

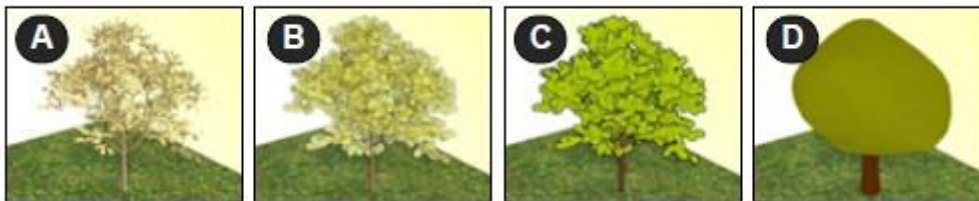
### Επίπεδα λεπτομέρειας

Στους 3D χάρτες η κλίμακα με την οποία βλέπει ο χρήστης την απεικονιζόμενη περιοχή δεν είναι ενιαία. Οι περιοχές «κοντά» στον χρήστη απεικονίζονται σε μεγαλύτερη κλίμακα απ' ό,τι αυτές που βρίσκονται μακριά από αυτόν. Γι' αυτό εξαιτίας της προοπτικής παραμόρφωσης έχει αναπτυχθεί η φιλοσοφία των επιπέδων λεπτομέρειας, δηλαδή το σύνολο των χωρικών δεδομένων να συμβολίζεται όχι με ένα αλλά με περισσότερα σύμβολα. Φυσικά οι πολλές καταγραφές απαιτούν πολύ χρόνο, οπότε συνήθως χρησιμοποιούνται 3-4 σύμβολα. Επομένως, με την φιλοσοφία αυτή τα περιεχόμενα του χάρτη αποδίδονται με φθίνουσες λεπτομέρειες από το μπροστινό προς το πίσω μέρος της οθόνης. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα επίπεδα λεπτομέρειας δεν είναι απόρροια μονάχα της προοπτικής απεικόνισης αλλά και της κλίμακας (Yoon και Bandrona, 2005). Εδώ, ως κλίμακα νοείται το χωρικό εύρος ή έκταση της απεικόνισης. Έτσι για παράδειγμα υπάρχει διαφορά μεταξύ ενός 3D μοντέλου για τοπίο και ενός 3D μοντέλου για αστικό περιβάλλον. Το επίπεδο λεπτομέρειας θα είναι πιθανότατα «μικρότερο» στην πρώτη περίπτωση. Αυτός είναι και ο λόγος που τα επίπεδα λεπτομέρειας χρησιμοποιούνται και ως σχήμα μετάβασης από κλίμακα σε κλίμακα, μέσα σε διαδραστικό περιβάλλον (βλέπε Semmo et al., 2012).

Αξίζει να σημειωθεί ότι συχνά η διαφορά μεταξύ των Levels of Abstraction και των Levels of Detail δεν είναι σαφής και διάφοροι ερευνητές χρησιμοποιούν τους δύο όρους με την ίδια σημασία (βλέπε Semmo et al., 2012). Κατά την γνώμη του γράφοντος, η επιλογή ενός επιπέδου αφαίρεσης για την οπτικοποίηση μιας οντότητας είναι ανεξάρτητη από την επιλογή του επιπέδου λεπτομέρειας και προηγείται της τελευταίας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το δάσος. Μπορεί να επιλεγεί για την απόδοσή του το επίπεδο αφαίρεσης "Symbolic" που σημαίνει ότι θα σχεδιάζεται ως ένα πράσινο πολύγωνο αλλά ο σχεδιασμός του πολυγώνου αυτού μπορεί να πάρει αρκετές μορφές δημιουργώντας διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας (βλέπε Εικόνα 4). Ομοίως μπορεί να επιλεγεί το επίπεδο αφαίρεσης "Verisimilar" που σημαίνει ότι το κάθε δέντρο θα απεικονίζεται μεμονωμένα αλλά ο σχεδιασμός του δέντρου μπορεί να πάρει αρκετές μορφές. Μπορεί να σχεδιαστεί με ένα γεωμετρικό αρχέτυπο όπως ο κώνος ή να σχεδιαστεί φωτορεαλιστικά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 4: Επίπεδα λεπτομέρειας για την απόδοση χώρων πρασίνου (Semmo et al., 2012).



Εικόνα 5: Επίπεδα λεπτομέρειας για την απόδοση δέντρων (Semmo et al., 2012).

Συμπερασματικά αναφέρουμε ότι η γενίκευση στην τρισδιάστατη χαρτογραφία στηρίζεται συνδυαστικά στα παραδοσιακά μέσα, στα επίπεδα αφαίρεσης και στα επίπεδα λεπτομέρειας.

### 2.6.1 Διαδραστικότητα και γενίκευση

Στην περίπτωση όπου ένας χάρτης σχεδιάζεται ώστε να λειτουργεί ταυτόχρονα σε πολλές κλίμακες (με την έννοια της έκτασης της απεικόνισης), όπως γίνεται στην διαδικτυακή χαρτογραφία η γενίκευση είναι ακόμη περισσότερο αναγκαία αλλά και χρήσιμη. Καθώς μεταβαίνουμε σε συνεχώς μικρότερη «κλίμακα» επιβάλλεται ο χάρτης να περιέχει όλο και λιγότερα στοιχεία και με όλο και μικρότερες λεπτομέρειες. Το αντίστροφο συμβαίνει όταν μεταβαίνουμε συνεχώς σε μεγαλύτερη «κλίμακα». Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στους διαδραστικούς χάρτες μπορεί να χρησιμοποιηθεί η φιλοσοφία των Levels of Detail. Αυτή την ενδιαφέρουσα μέθοδο έχουν υλοποιήσει οι Semmo et al., 2012, υιοθετώντας ως σχήμα μετάβασης τα Levels of Abstraction. Όπως ειπώθηκε όμως, οι Semmo et al., νοηματοδοτούν τα Levels of Abstraction με την ίδια ακριβώς έννοια όπως τα Levels of Detail.

Στο ίδιο πνεύμα οι ίδιοι περίπου συγγραφείς σε άλλη εργασία τους (Pasewaldt et al., 2012) περιγράφουν πολύ παραστατικά το πως μπορεί να υλοποιηθεί η διαδραστικότητα με την υιοθέτηση πολλαπλών επιπέδων λεπτομέρειας. Στην εφαρμογή τους, χρησιμοποιούν συνδυαστικά την τεχνική *focus+context*, την τεχνική των *Levels of Abstraction* και την τεχνική των *Levels of Detail*. Πως όμως υλοποιούνται όλα αυτά ταυτόχρονα; Αξίζει να περιγραφεί ο τρόπος υλοποίησης με το παράδειγμα οπτικοποίησης των κτηρίων σε μια πόλη. Η επιλογή του εκάστοτε συμβολισμού γίνεται μέσω μιας συνάρτησης 3 μεταβλητών. Η **πρώτη μεταβλητή** ( $c$ ) ελέγχει την θέση του κτηρίου ως προς την κάμερα και αν αυτό βρίσκεται στο περίγραμμα της οθόνης (*context*) επιλέγεται η μέθοδος απόδοσης με εικονιστικά δισδιάστατα σύμβολα (όπως οι Semmo et al., 2015). Αν τώρα το κτήριο βρίσκεται στην εστία της οθόνης (*focus*), η **δεύτερη μεταβλητή** ( $S_i$ ) καθορίζει το επίπεδο λεπτομέρειας για την απόδοσή του. Η **τρίτη μεταβλητή** ( $C_i$ ) σχετίζεται με τις κλάσεις των αντικειμένων. Δηλαδή μία κλάση μπορεί να είναι τα κτήρια, άλλη κλάση να είναι οι δρόμοι κ.ο.κ. Είναι ενδιαφέρον ότι η επιλογή του επιπέδου λεπτομέρειας γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Πως όμως επιτυγχάνεται κάτι τέτοιο;

Θα πρέπει ουσιαστικά να έχει σχεδιαστεί ένα κτήριο τόσες φορές όσα και τα επίπεδα λεπτομέρειας συν μία φορά για την απόδοση στο περίγραμμα. Ακολούθως, σε κάθε σύμβολο πρέπει να έχει αντιστοιχηθεί μία τιμή και οι τιμές να έχουν εναποτεθεί μέσα σε μία συνάρτηση. Έτσι ανάλογα με την

απόσταση από την κάμερα -σε κάθε κίνηση του χρήστη- αντλείται το κατάλληλο σύμβολο μέσα από την συνάρτηση-δεξαμενή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε κλάση αντικειμένων. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία (Pasewaldt et al., 2012) είναι αρκετά σαφής, κατανοητή και δεν είναι ιδιαίτερα εξεζητημένη. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι δεν έχει προβλήματα. Για παράδειγμα, για να δημιουργηθεί ο μεγάλος αριθμός συμβόλων σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας υπάρχει η αντίστοιχη τεχνολογία ή απαιτείται προγραμματισμός από τον «κατασκευαστή» του χάρτη; Επίσης, τα πολλά σύμβολα δημιουργούν και υψηλές απαιτήσεις αποθήκευσης και υπολογιστικής ισχύος. Αυτά ακριβώς τα μειονεκτήματα επισημαίνονται και από τους ίδιους τους συγγραφείς. Αλλά όπως επισημαίνουν οι Sieber et al., (2013) η γενίκευση στην 3D χαρτογραφία δεν είναι δυνατόν να εκτελείται on-the-fly διότι κοστίζει υπολογιστικά. Γι' αυτό και πρέπει να γίνεται σε πολλά βήματα κατά το στάδιο της επεξεργασίας ή μοντελοποίησης.

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, κατά την γνώμη του γράφοντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατ' αναλογία και στους διαδραστικούς χάρτες με την διαφορά ότι η μεταβλητή  $c$  θα καθορίζει την «κλίμακα» απόδοσης και όχι τις περιοχές focus ή context. Αυτού του είδους η τεχνική, δηλαδή η προκατασκευή των διαφόρων Levels of Detail και η προβολή εκάστου την σωστή στιγμή μέσα από κάποιον απλό σχετικό αλγόριθμο, αναφέρεται από τον Constantinescu (2000) ως Static LOD σε αντίθεση με το Dynamic LOD.

## 2.7 Συμβολισμός

Ασφαλώς τα σύμβολα που περιλαμβάνονται στον 3D χάρτη πρέπει να ταιριάζουν όσο το δυνατόν καλύτερα με τα ομόλογά τους στον πραγματικό κόσμο. Οι Semmo et al., (2015) περιγράφουν τεχνικές για την οπτικοποίηση **συγκεκριμένων** θεματικών πληροφοριών (ανάγλυφο, υδάτινοι πόροι, και κτήρια).

### 2.7.1 Σημειακά δεδομένα

Η τεχνική της αγκύρωσης (anchoring). Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται για τα σημειακά σύμβολα και για την ονοματολογία. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν ως επί το πλείστον. Με αυτήν την τεχνική τα σύμβολα συνδέονται με την ακριβή τους θέση πάνω στον χάρτη. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι σύνδεσης, όπως είναι οι σκιές ή οι κατακόρυφοι άξονες (οδηγοί) ή οι σφαίρες αντί σημείων. Στα σημειακά δεδομένα χρησιμοποιείται επίσης η τεχνική της κατακόρυφης ανύψωσης (κολώνες). Μ' αυτόν τον τρόπο στα δεδομένα προστίθεται μία ακόμη μεταβλητή, εκτός της θέσεως και του χρώματος, όπου το ύψος του αντικείμενου δείχνει την τιμή της θεματικής μεταβλητής συγκριτικά με τα γειτονικά του σημεία.

### Η τεχνική του billboarding

Κάθε billboard είναι ένα επίπεδο αντικείμενο που “κοιτάει” συνεχώς την κάμερα. Έτσι, όταν η οριζόντια γωνία θέασης αλλάζει, το billboard θα πρέπει επίσης να περιστραφεί για να “κοιτάει” και πάλι την κάμερα. Η τεχνική billboarding συνδυάζεται με την τεχνική anchoring.

### 2.7.2 Επιφανειακά δεδομένα

Για τα επιφανειακά δεδομένα (π.χ. γεωλογία, ορθοφωτογραφίες) η συνήθης τεχνική απεικόνισης είναι το draping, δηλαδή η επικόλληση των αντίστοιχων χωρικών οντοτήτων επάνω στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους. Οπωσδήποτε η τεχνική αυτή δεν εξαντλείται στα επιφανειακά δεδομένα απλώς γι' αυτά είναι πολύ ενδιαφέρουσα και παράγει σαφέστατα ένα άρτιο αποτέλεσμα. Σε γραμμικά ή σημειακά στοιχεία μπορεί να εμφανιστούν παραμορφώσεις της εικόνας.

### 2.7.3 Επιφανειακοί Υδάτινοι Πόροι

Οι Semmo et al., (2015) παραδίδουν τις παρακάτω τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνταν σε ιστορικούς χάρτες. Τις εφάρμοσαν και στους 3D χάρτες αν και στην εργασία τους η 3<sup>η</sup> διάσταση δεν γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτή.

### Waterlining

Η τεχνική waterlining συνίσταται στην σχεδίαση πλήθους γραμμών, παράλληλων προς την ακτογραμμή, οι οποίες κείτονται προς την μεριά του υδάτινου όγκου με συνακόλουθη σταδιακή αύξηση του διαστήματος μεταξύ διαδοχικών γραμμών.

### Water stippling

Η τεχνική water stippling ομοιάζει πάρα πολύ στην τεχνική waterlining, με την διαφορά ότι οι παράλληλες γραμμές δεν σχεδιάζονται συμπαγείς αλλά ως να συντίθενται από μικρές τελείες (ή κουκκίδες). Και σε αυτήν την περίπτωση η απόσταση μεταξύ διαδοχικών γραμμών αυξάνεται μη γραμμικά όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή/όχθη.

### Contour-hatching

Στην τεχνική contour-hatching οι γραμμές σχεδιάζονται κυματοειδείς ώστε να αποδίδουν και την κίνηση των υδάτων.

### Symbolization

Τέλος, μία πρακτική που χρησιμοποιείτο παλαιότερα είναι η πλήρωση της υδάτινης επιφάνειας με κάποιο σταθερό μοτίβο με το οποίο διαφοροποιείται το νερό από την ξηρά. Τελευταία η πρακτική



αυτή αντικαθίσταται από τις χρωματικές ζώνες. Η εναλλαγή μεταξύ των χρωματικών ζωνών μπορεί να βασιστεί σε τυχαίες αποστάσεις από την ακτή ή στην βαθυμετρία της θάλασσας.

### 2.7.4 Ανάγλυφο - Οντότητες 2.5 διαστάσεων

Το ανάγλυφο στις περισσότερες περιπτώσεις χρειάζεται κατακόρυφη ενίσχυση (ή μεγέθυνση) για να γίνεται καλύτερα αντιληπτό από τον χρήστη. Επίσης, για αξιόλογα αποτελέσματα το ΨΜΕ θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα λεπτομερές. Η τρισδιάστατη απόδοση του εδάφους μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, μεταξύ των οποίων με *καλλιτεχνικές γραμμές*, με *φωτοσκίαση* και με *απόδοση υψής* (texture mapping), (Dübel et al., 2017). Βέβαια είναι εφικτοί και οι συνδυασμοί μεθόδων, με τους οποίους επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση του αποτελέσματος. Η υφή τις περισσότερες φορές χρησιμοποιείται για την απόδοση των στοιχείων που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ή για την απόδοση μεταβλητών μεγεθών (π.χ. θερμοκρασία). Οπότε σχεδόν πάντα η υφή πρέπει να συνοδεύεται από την φωτοσκίαση. Η φωτοσκίαση ουσιαστικά δεικνύει τις πτυχώσεις του εδάφους. Η φωτοσκίαση δεν είναι αναγκαία όταν πάνω στο ανάγλυφο περιτυλίγεται η ορθοφωτογραφία του. Ο συνδυασμός υψής-φωτοσκίασης αποτελεί και την πλέον διαδεδομένη μέθοδο για την οπτικοποίηση του ανάγλυφου. Η απόδοση υψής μπορεί να γίνει είτε σε ψηφιδωτά ΨΜΕ (Grid-based models) είτε σε ΨΜΕ μορφής ακανόνιστων τριγώνων (TIN-based models) (Döllner et al., 2000). Άλλος συνδυασμός είναι η φωτοσκίαση με καλλιτεχνικές γραμμές που υλοποιούν οι Dübel et al., (2017). Σ' αυτήν την περίπτωση οι γραμμές κάνουν περισσότερο διακριτές τις γραμμές ασυνέχειας του εδάφους, όπως είναι οι κορυφογραμμές, οι υδροκρίτες, οι μισγάγγειες κ.α., ενώ η φωτοσκίαση παρέχει το γενικότερο πλαίσιο.

## 2.8 Ονοματολογία

### 2.8.1 Η πρώτη διάκριση των μεθόδων αναγραφής της ονοματολογίας

Δύο βασικές τεχνικές για την απόδοση της ονοματολογίας στους 3D χάρτες που παραδίδουν οι Vaaraniemi et al. (2013) είναι η τοποθέτησή της ως World-Space (WS) ή ως Screen-Space (SS). Η έννοια World-Space σημαίνει ότι τα ονόματα τοποθετούνται μέσα στον κόσμο του χάρτη ή αλλιώς ότι έχουν τρισδιάστατη υπόσταση. Η έννοια Screen-Space σημαίνει ότι τα ονόματα τοποθετούνται (ή επικάθονται) πάνω στην οθόνη και επομένως έχουν διδιάστατη υπόσταση. Οι Chen et al. (2004) αναφέρονται στις δύο μεθόδους με τους όρους *within-the-world display* (WWD) και *heads-up-display* (HUD), αντιστοίχως.

Στις ετικέτες Screen-Space δεν υπάρχει ζήτημα αναγνωσιμότητας ή ορατότητας αλλά μπορεί ωστόσο να υπάρξει πρόβλημα οπτικής όχλησης όταν ο αριθμός των ονομάτων που πρέπει να τοποθετηθούν αυξάνεται (Cirriano και Gleicher, 2008). Επίσης, αυτός ο τρόπος αντιμετώπισης διευκολύνει την διαχείριση των επικαλύψεων μεταξύ των ονομάτων, γιατί έτσι ένα πρόβλημα τριών διαστάσεων μεταπίπτει σε δισδιάστατο πρόβλημα. Στους διαδραστικούς 3D χάρτες δεν είναι ανάγκη να υιοθετείται μία από τις δύο τεχνικές. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η διαδραστικότητα επιτρέπει την αλλαγή της κατακόρυφης γωνίας θέασης (inclination angle ή tilt). Έτσι στην προβολή από μεγάλο ύψος (bird's eye view) είναι προτιμότερη η αναγραφή της ονοματολογίας πάνω στην οθόνη αλλά στην προβολή από μικρό ύψος ή από την επιφάνεια του εδάφους (snail's view) είναι προτιμότερη η αναγραφή της ονοματολογίας μέσα στον κόσμο του χάρτη.

### 2.8.2 Η δεύτερη διάκριση των μεθόδων αναγραφής της ονοματολογίας

Η δεύτερη διάκριση γίνεται μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών ετικετών. Η διάκριση αυτή αφορά στην σχετική θέση των ετικετών ως προς το φυσικό αντικείμενο που ονοματοδοτούν. Δηλαδή αν οι ετικέτες βρίσκονται έξω από το αντικείμενο και συνδέονται μ' αυτό με κάποιον οδηγό, τότε καλούνται *εξωτερικές*. Αν βρίσκονται μέσα στο αντικείμενο, π.χ. εντός κάποιου δρόμου, τότε καλούνται *εσωτερικές*. Οι εσωτερικές ετικέτες δημιουργούν απευθείας την απαραίτητη νοητική σύνδεση με το αντικείμενο στο οποίο αναφέρονται (Maass και Döllner, 2006). Προφανώς όμως για να τοποθετηθούν

οι λέξεις εντός του σχήματος του αντικειμένου πρέπει να υπάρχει ικανός χώρος. Σε μια λίμνη για παράδειγμα εύκολα βρίσκεται ο αναγκαίος χώρος ενώ στην περίπτωση ενός ποταμού, για να τοποθετηθεί το όνομά του εντός αυτού πρέπει να έχει μεγάλο πλάτος και ταυτόχρονα η κλίμακα απεικόνισης να είναι αρκετά μεγάλη. Οι εξωτερικές ετικέτες δημιουργούν την νοητική σύνδεση, είτε μέσω της γειννίασης με το αντικείμενο στο οποίο αναφέρονται ή μέσω ενός στοιχείου σύνδεσης, δηλαδή με την τεχνική της αγκύρωσης (anchoring).

### 2.8.3 Τεχνικές για την αναγραφή της ονοματολογίας

Η πρώτη μέθοδος που μας έρχεται κατά νου για την αναγραφή της ονοματολογίας σε 3D τοπία είναι η μέθοδος *draping*. Το ζητούμενο για την αποτελεσματική απεικόνιση των τοπωνυμίων είναι να ακολουθούν το σχήμα του εδάφους και ταυτόχρονα να διατηρούν την αναγνωσιμότητά τους από όσο το δυνατόν περισσότερες κατευθύνσεις. Για παράδειγμα η μέθοδος *draping* παρουσιάζει προβλήματα στις περιοχές μεγάλης καμπυλότητας του εδάφους. Όμως, έχει παρατηρηθεί επίσης ότι οι επιφανειακές ετικέτες που τοποθετούνται στον κόσμο του χάρτη μπορούν να συνδράμουν στην αντίληψη του ανάγλυφου (Cirriano και Gleicher, 2008). Οι Cirriano και Gleicher ανέπτυξαν μία μέθοδο για επιφανειακή αναγραφή ετικετών η οποία βελτιώνει τις παραμορφώσεις που μπορεί να προκύψουν από πολύ πυκνή γεωμετρία. Η μέθοδος συνίσταται στην δημιουργία μιας τεχνητής επιφάνειας, πιο ομαλής από εκείνη του φυσικού αντικειμένου, πάνω στην οποία επικολλώνται οι αλφαβητικοί χαρακτήρες. Η δεύτερη μέθοδος και η πιο αποτελεσματική είναι η τεχνική *billboarding*. Για ονοματολογία δομημένη με την τεχνική *billboarding* βλέπε την εικόνα 6.



Εικόνα 6: Ονοματολογία δομημένη με την τεχνική *billboarding* σε 3D τοπογραφικό χάρτη στην Ελβετία (Haeberling, 2002 από Terribilini, 2001).



## 3 ΒΑΣΙΚΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ 3Δ ΧΑΡΤΗ

### 3.1 Βασικά Περιεχόμενα

Η Bandrona (2005) διακρίνει το περιεχόμενο ενός 3Δ χάρτη σε 3 κατηγορίες. Στο **βασικό περιεχόμενο** που είναι τα μεγάλα τοπογραφικά αντικείμενα, όπως το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, οι δρόμοι, τα κτήρια κ.α. Στο **δευτερεύον περιεχόμενο**, που είναι τα αντικείμενα που αναπαρίστανται κατά κύριο λόγο από σύμβολα. Και τέλος στο **πρόσθετο περιεχόμενο** που παρέχει ποσοτικές αλλά κυρίως ποιοτικές πληροφορίες, όπως είναι οι υφές των αντικειμένων (π.χ. οι προσόψεις των κτηρίων ή το γρασίδι στους χώρους πρασίνου) και η ονοματολογία.

Παρακάτω παρατίθενται τα συνηθέστερα θεματικά επίπεδα ενός τοπογραφικού 3Δ χάρτη, πολλά από τα οποία έχουν ενσωματωθεί και στην παρούσα εργασία. Τα θεματικά επίπεδα ενός 3Δ χάρτη όπως είναι φυσικό διακρίνονται σε τρισδιάστατα και δισδιάστατα επίπεδα. Τα 3Δ επίπεδα έχουν έντονες και τις τρεις διαστάσεις μέσα στον χάρτη και συμβολίζονται συνήθως με τρισδιάστατα μοντέλα ή με εικονιστικά σύμβολα τα οποία έχουν την ιδιότητα των billboards. Αντιθέτως, στα 2Δ επίπεδα η τρίτη διάσταση δεν είναι τόσο σημαντική καθώς αυτά συνδέονται αποκλειστικά με το ΨΜΕ, οπότε από εκεί αντλούν την τρίτη τους διάσταση ή αλλιώς είναι επίπεδα τα οποία επικάθονται πάνω στο ΨΜΕ.

### 3.2 Θεματικά επίπεδα τριών διαστάσεων

#### Κτήρια

Τα κτήρια είναι το κυριότερο στοιχείο σε 3Δ χάρτες με την μορφή τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων. Συνοδεύονται πάντοτε από υψομετρική πληροφορία. Στην πιο απλή περίπτωση πρόκειται για τα αποτυπώματα των κτηρίων τα οποία εξωθούνται με βάση τον αριθμό των ορόφων τους πολλαπλασιαζόμενο με το ύψος του ορόφου που είναι 3μ. Σε καλύτερες αναπαραστάσεις συναντάμε τα παραπάνω στερεά με υφή στις όψεις τους που έχει προκύψει από φωτογραφίες. Η πλέον καλή απόδοση των κτηρίων μπορεί να γίνει με φωτογραμμετρικό μοντέλο, ωστόσο το μέγεθος ενός τέτοιου συμβολισμού δεν μπορεί να ξεπερνά τις μερικές δεκάδες κτήρια. Ενίοτε τα 3Δ κτήρια συνοδεύονται και από θεματολογική πληροφορία (π.χ. διαμέρισμα, κτήριο κοινωφελών υπηρεσιών, κτήριο εμπορικής δραστηριότητας κλπ.) η οποία χρησιμεύει και στην οπτικοποίηση του εν λόγω θεματικού επιπέδου.

#### Κάστρα

Το κάστρο είναι κατάλληλο στην περίπτωση που η κλίμακα απεικόνισης είναι μεγάλη, έτσι ώστε να μπορεί να απεικονιστεί το σύνολο του τείχους υπό μορφή 3Δ κτηρίου. Το μόνο που χρειάζεται είναι ένα πολύγωνο που θα εγκιβωτίζει το εσωτερικό και το εξωτερικό όριο του τείχους και μια τιμή για το ύψος του τείχους.

#### Οικισμοί

Οι οικισμοί αποδίδονται με περιστρεφόμενες ετικέτες με τα ονόματά τους. Στους διαδραστικούς χάρτες που υλοποιούνται στο διαδίκτυο η θεματολογική πληροφορία που είναι διαθέσιμη ή μπορεί να δημιουργηθεί για τους οικισμούς ενσωματώνεται σε ένα αναδυόμενο παράθυρο (pop-up).

#### Κορυφές βουνών

Συνήθως επισημαίνεται το όνομα της κορυφής μαζί με το υψόμετρο και την μονάδα μέτρησης. Πιο συχνά για την επισήμανση του σημείου της κορυφής χρησιμοποιείται ένα τρίγωνο. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και τρισδιάστατο σύμβολο όπως είναι μία πυραμίδα ή μία ανεστραμμένη πυραμίδα μαζί με υψόμετρο από πάνω της.

### Θρησκευτικοί χώροι

Στο σύμβολό τους μπορεί να οριστεί εικόνα η οποία θα λειτουργεί σαν billboard ή τρισδιάστατο μοντέλο.

### Ανεμογεννήτριες

Συμβολίζονται με τρισδιάστατο μοντέλο.

### Γραμμές μεταφοράς ρεύματος

Συνοδεύονται φυσικά από τους πυλώνες σε μορφή τρισδιάστατου μοντέλου.

### Εγκαταστάσεις αστικού εξοπλισμού

Οι εγκαταστάσεις αστικού εξοπλισμού είναι πιο γνωστές με την αγγλική τους ονομασία, η οποία είναι “city or street furniture”. Αυτές είναι: Στύλοι οδοφωτισμού, Φωτεινοί σηματοδότες, στάσεις Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, 3D δέντρα, φράχτες οικοπέδων, κάδοι απορριμμάτων, παγκάκια κ.α.

## 3.3 Θεματικά επίπεδα «2.5 διαστάσεων»

### ΨΜΕ

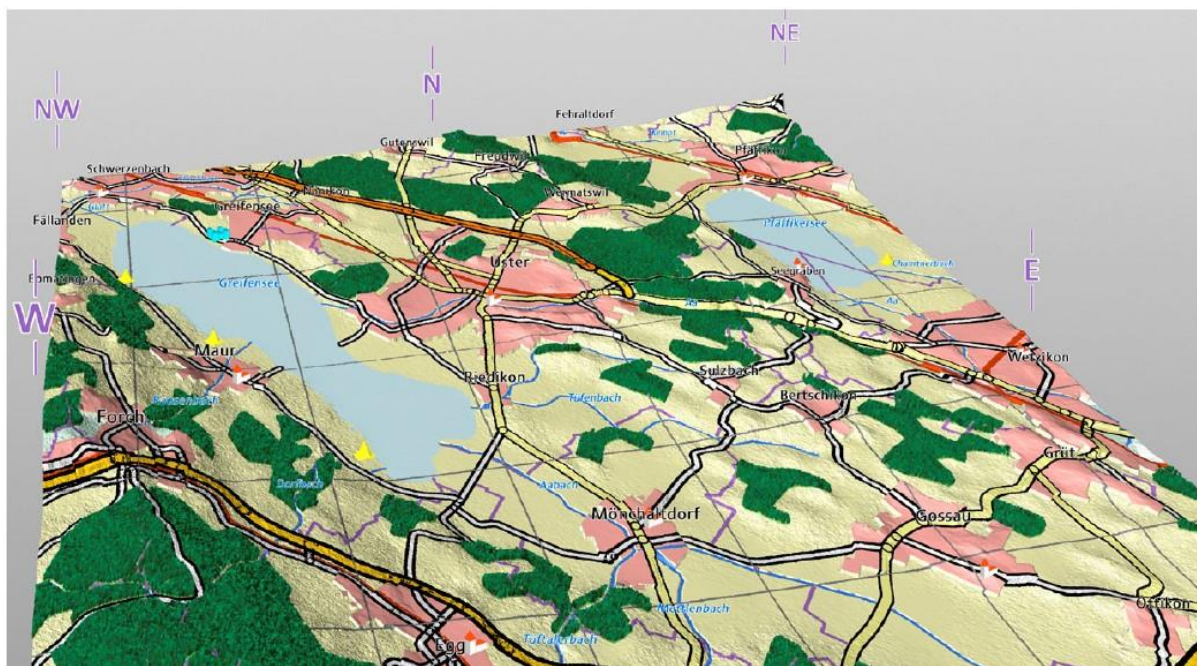
Το βασικότερο δεδομένο για την δημιουργία ενός 3D χάρτη είναι το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους. Η σημαντικότητά του δεν έγκειται στην ακρίβεια δηλαδή στο πόσο μεγάλη ανάλυση έχει αλλά μόνο και μόνο στην ύπαρξή του. Γιατί δίχως αυτό σχεδόν εκλείπει η τρίτη διάσταση. Η μοντελοποίηση του ΨΜΕ αναφέρεται από όλους τους ερευνητές και περιλαμβάνεται σε όλα τα μεθοδολογικά μοντέλα που περιγράψαμε στην Ενότητα 2.4.

### Βαθυμετρία

Στην ίδια κατηγορία εντάσσεται και η βαθυμετρία η οποία δίνεται με την μορφή ενός Ψηφιακού Μοντέλου αρνητικών Υψομέτρων τα οποία βρίσκονται κάτω από το επίπεδο της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας. Η βαθυμετρία σε έναν τρισδιάστατο χάρτη οπτικοποιείται είτε με συνεχή χρωματική ακολουθία ή σε βαθυμετρικές ζώνες όπου καθεμιά έχει το δικό της χρώμα.

## 3.4 Θεματικά επίπεδα δύο διαστάσεων

Στα παραδοσιακά θεματικά επίπεδα που εισάγονται στους χάρτες βρίσκονται μεταξύ άλλων το αεροδρόμιο, το ελικοδρόμιο, τα λιμάνια, τα τριγωνομετρικά σημεία, οι παραλίες, και οι φάροι όσον αφορά τα σημειακά δεδομένα. Από γραμμικά δεδομένα συναντάμε τα ορειβατικά μονοπάτια, το οδικό δίκτυο, το υδρογραφικό δίκτυο, τις ισούψεις καμπύλες κ.α. Στις επιφανειακές οντότητες συναντάμε τους κατοικημένους τόπους, την επιφάνεια που καλύπτεται από βλάστηση, τις λεκάνες απορροής ποταμών κ.α. Φυσικά σε κάθε χάρτη χρειάζονται και τα στοιχεία προσανατολισμού, όπως είναι το γεωγραφικό πλέγμα (Graticule), ο κάναβος του προβολικού συστήματος (Grid) και η ένδειξη του Βορρά. Ειδικότερα στους 3D χάρτες μπορούν να προστεθούν και τα σημεία του ορίζοντα. Στην εικόνα 7 φαίνεται η πολύ ενδιαφέρουσα προσθήκη των 8 σημείων του ορίζοντα σε έναν τρισδιάστατο τοπογραφικό χάρτη (Haerberling, 2002).



**Εικόνα 7:** Τα σημεία του ορίζοντα σε έναν τρισδιάστατο τοπογραφικό χάρτη (Haeberling, 2002)

### 3.5 Τρόποι κτήσης 3D δεδομένων

Όσον αφορά στην 1<sup>η</sup> κατηγορία με τα θεματικά επίπεδα των τριών διαστάσεων, “η τρισδιάστατη γεωμετρία μπορεί να προκύψει με διάφορες μεθόδους όπως είναι η φωτογραμμετρία, η τρισδιάστατη σάρωση με laser, η ανακατασκευή από αρχιτεκτονικά σχέδια, η παραγωγή από φορητές συσκευές-συσκευές χειρός και τέλος μπορεί να ληφθεί και από εθελοντικές προσπάθειες” (Moradi, 2017). Σχετικά με τα τρισδιάστατα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στα τρισδιάστατα δεδομένα, αυτά μπορούν να παραχθούν από τρισδιάστατα σχεδιαστικά λογισμικά ή να αντληθούν από κατάλληλα αποθετήρια στο διαδίκτυο.

## 4 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

### 4.1 Γενικά - Περιοχή μελέτης

Στο πρακτικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκαν τρισδιάστατοι χάρτες χρησιμοποιώντας δύο Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Το πρώτο σύστημα εμπίπτει στην κατηγορία των ελεύθερων λογισμικών-λογισμικών ανοιχτού κώδικα (ΕΛ/ΛΑΚ) ενώ το δεύτερο σύστημα εμπίπτει στην κατηγορία των εμπορικών λογισμικών. Πρόκειται για τα πολύ γνωστά **QGIS** και **ArcGIS**. Σε κάθε μία εφαρμογή αναπτύχθηκαν από 2 τρισδιάστατοι χάρτες ή αλλιώς σκηνές.

Όσον αφορά τις σκηνές στο QGIS χρησιμοποιήθηκε και το πρόσθετο (plugin) **QGIS2threejs**. Ουσιαστικά στο QGIS πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων, ενώ στο QGIS2threejs πραγματοποιήθηκε η απόδοσή τους. Επίσης με το plugin QGIS2threejs εξάγεται και η σκηνή σε μορφή διαδικτυακής εφαρμογής (παραγόμενο αρχείο html) η οποία μπορεί να ενσωματωθεί σε ιστοσελίδα και να διαμοιραστεί στον παγκόσμιο ιστό.

Όσον αφορά τις σκηνές στο ArcGIS χρησιμοποιήθηκαν οι “επιτραπέζιες” εφαρμογές **ArcScene** και **ArcGIS Pro** και για την τελική οπτικοποίηση το διαδικτυακό ΣΓΠ **ArcGIS Online**. Επειδή η εφαρμογή ArcScene δεν έδωσε καλά αποτελέσματα, η επεξεργασία των δεδομένων, η απόδοσή τους σε 3D σκηνή αλλά και η οργάνωση των διαδικτυακών εφαρμογών πραγματοποιήθηκε στην εφαρμογή ArcGIS Pro. Επίσης και η δημοσιοποίηση των σκηνών στο διαδίκτυο πραγματοποιήθηκε με το ArcGIS Pro. Ορισμένα τελευταία στοιχεία που είναι απαραίτητα για μια ορθή διαδικτυακή σκηνή, η οποία να μπορεί να διατεθεί ελεύθερα στο κοινό, πραγματοποιήθηκαν μέσα από την εφαρμογή ArcGIS Online Scene Viewer.

Για όλα τα παραπάνω, ως περιοχή μελέτης ορίζεται η νήσος Άνδρος. Όπως προαναφέρθηκε δημιουργήθηκαν 2 σκηνές. Η πρώτη αφορά όλη την νήσο ενώ η δεύτερη αφορά μία μικρότερη περιοχή στον οικισμό “Μπατσι” και τα πέριξ αυτού. Η μορφή των τελικών χαρτών ορίζεται ως τρισδιάστατοι χάρτες τοπίου χρησιμοποιώντας μη φωτορεαλιστικά στοιχεία. Οι κυριότερες κατηγορίες των 3D χαρτών που βρέθηκαν στην βιβλιογραφική διερεύνηση είναι το **3D μοντέλο πόλεως, ο τρισδιάστατος χάρτης τοπίου** και η **Ψηφιακή Σφαίρα**. Ο τρισδιάστατος χάρτης τοπίου αναφέρεται και ως «διόραμα». Στις ερευνητικές εργασίες απαντάται περισσότερο το 3D μοντέλο πόλεως στο οποίο παρουσιάζονται τα κτήρια μιας πόλης «πάνω» από κάποιον χάρτη υποβάθρου με την μορφή εξωθημένων πολυγώνων. Στην καλύτερη περίπτωση προστίθενται και υφές στις όψεις των κτηρίων ή μόνο των εμβληματικών κτηρίων της πόλης. Ο τρισδιάστατος χάρτης τοπίου συνδέεται έντονα με το ανάγλυφο της περιοχής ενώ μία Ψηφιακή Σφαίρα χρησιμοποιείται κυρίως για την οπτικοποίηση επιστημονικών δεδομένων και συνδέεται μ’ αυτά. Ο τρισδιάστατος χάρτης τοπίου εφαρμόζεται σε μικρές εκτάσεις ενώ η Ψηφιακή Σφαίρα εφαρμόζεται όταν τα δεδομένα που οπτικοποιούνται έχουν μεγάλο χωρικό εύρος, π.χ. σε επίπεδο Χώρας.

Επομένως όπως προαναφέρθηκε για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε ο τύπος του χάρτη τοπίου. Χρησιμοποιήθηκαν και τα 2 προαναφερθέντα λογισμικά ώστε να αξιοποιηθούν καλύτερα οι δυνατότητες του καθενός και να γίνει σύγκριση των δυνατοτήτων τους.

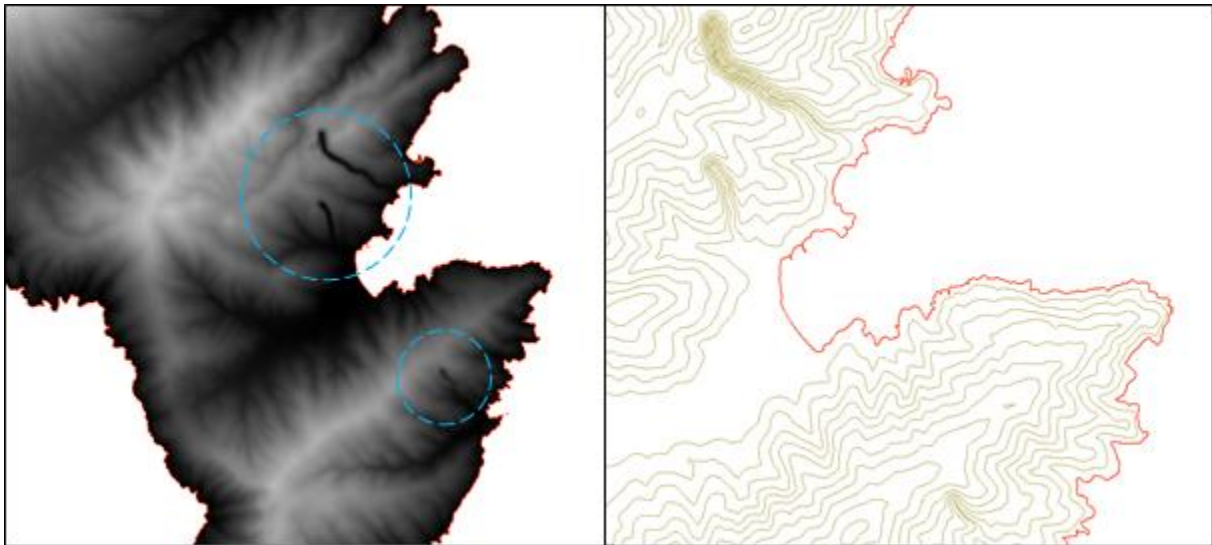
### 4.2 Δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους

Το 1<sup>ο</sup> βήμα για την ανάπτυξη των 3D χαρτών είναι η κατασκευή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Αυτό είναι και το πιο θεμελιώδες στοιχείο ενός 3D τοπογραφικού χάρτη. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε ΨΜΕ με υψηλή χωρική ανάλυση από δευτερογενή δεδομένα που προέρχονται από ψηφιοποίηση τοπογραφικού χάρτη. Το ΨΜΕ παρήχθη στο ΣΓΠ ArcGIS με το εργαλείο **3D Analyst>Raster Interpolation>Topo to Raster**. Η διάσταση του κανάβου ορίστηκε στα 10 μέτρα. Στο συγκεκριμένο εργαλείο χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου:



- Οι ισοϋψείς με ισοδιάσταση 20 μέτρα, ως όρισμα για τον τύπο *Contour*
- Τα τριγωνομετρικά σημεία, ως όρισμα για τον τύπο *Point Elevation*
- Το υδρογραφικό δίκτυο, ως όρισμα για τον τύπο *Stream*
- Το πολύγωνο της ακτογραμμής, ως όρισμα για τον τύπο *Coast*
- Και το πολύγωνο της ακτογραμμής, ως όρισμα για τον τύπο *Boundary*

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω, κατασκευάστηκε το ΨΜΕ. Ωστόσο παρατηρήθηκαν ορισμένες αρνητικές τιμές, κυρίως στα χαμηλά υψόμετρα ορισμένων κοιλάδων και μεταξύ του υψομέτρου 0 και της ισοϋψούς 20. Για την απομάκρυνση των αρνητικών τιμών έγινε μια δοκιμή χρησιμοποιώντας στο εργαλείο **Topo To Raster** και την ακτογραμμή σε μορφή γραμμής, ως δεύτερο όρισμα για τον τύπο *Contour*. Ωστόσο δεν εξαλείφθηκαν οι αρνητικές τιμές. Το πρόβλημα των αρνητικών τιμών εξαλείφεται αν χρησιμοποιηθεί το όρισμα: *Smallest z value to be used in interpolation*, με τιμή 0. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι σε μερικές κοιλάδες το ΨΜΕ έδειχνε πολύ μαύρο. Από την δημιουργία των ισοϋψών με ισοδιάσταση 50 μέτρα φάνηκε ότι όντως το ΨΜΕ είχε κάποιο λάθος σε αυτά τα σημεία. Το λάθος οφειλόταν στο υδρογραφικό δίκτυο γιατί στις συγκεκριμένες κοιλάδες τα ρέματα δεν είχαν κατεύθυνση προς τα κατόντη, όπως επισημαίνεται από το ArcGIS, και το εργαλείο **Topo to Raster** έκανε κάποιο λάθος. Μόλις επιδιορθώθηκαν τα ρέματα, το ΨΜΕ ήταν πολύ καλό και οι ισοϋψείς που παρήχθησαν εκ νέου είχαν σωστό σχήμα ανταποκρινόμενες στο φυσικό ανάγλυφο. Από τα παραπάνω διαπιστώνεται η ανάγκη για οπτικό τουλάχιστον έλεγχο στο παραγόμενο ΨΜΕ είτε αυτό προέρχεται από δευτερογενή ή από πρωτογενή δεδομένα. Η αρχική αστοχία στο παραγόμενο ΨΜΕ μπορεί να ιδωθεί στην επόμενη Εικόνα 8.



**Εικόνα 8:** Η αστοχία στο παραγόμενο ΨΜΕ και στις ισοϋψείς, που οφείλεται στις αντίθετες κατευθύνσεις του υδρογραφικού δικτύου.

### 4.3 Υλοποίηση στο ΣΓΠ QGIS

#### 4.3.1 Περιεχόμενα των τελικών 3D χαρτών

Παρακάτω αναφέρονται τα θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν σε καθεμιά χωρική αναπαράσταση.

#### Σκηνή νήσου Άνδρου

Στον τρισδιάστατο χάρτη της νήσου Άνδρου (Εικόνα 9) που δομήθηκε στο ΣΓΠ QGIS και αποδόθηκε τρισδιάστατα με το πρόσθετο QGIS2threejs ενσωματώθηκαν τα παρακάτω 10 θεματικά επίπεδα:

- Ανεμογεννήτριες

Οι θέσεις των ανεμογεννητριών αντλήθηκαν από το Γεωπληροφοριακό Σύστημα της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ). Η διαδικασία αδειοδότησης των Ανεμογεννητριών και των Αιολικών Σταθμών από την ΡΑΕ περιλαμβάνει 3 στάδια. Την Άδεια Παραγωγής, την Άδεια Εγκατάστασης και την Άδεια Λειτουργίας. Στην σκηνή μας τοποθετήθηκαν μόνο οι ανεμογεννήτριες που έχουν ήδη κατασκευαστεί και έχουν άδεια λειτουργίας από την ΡΑΕ. Για την νήσο Άνδρο αυτές είναι μόνο τέσσερις (μέχρι τον Φεβρουάριο του 2022) στο Βόρειο-Βορειοανατολικό μέρος του νησιού.

- 3Δ Κτήρια

- Οικισμοί

Στην σκηνή της Άνδρου εντάσσονται συνολικά 25 οικισμοί.

- Τριγωνομετρικά σημεία

- Οδικό δίκτυο

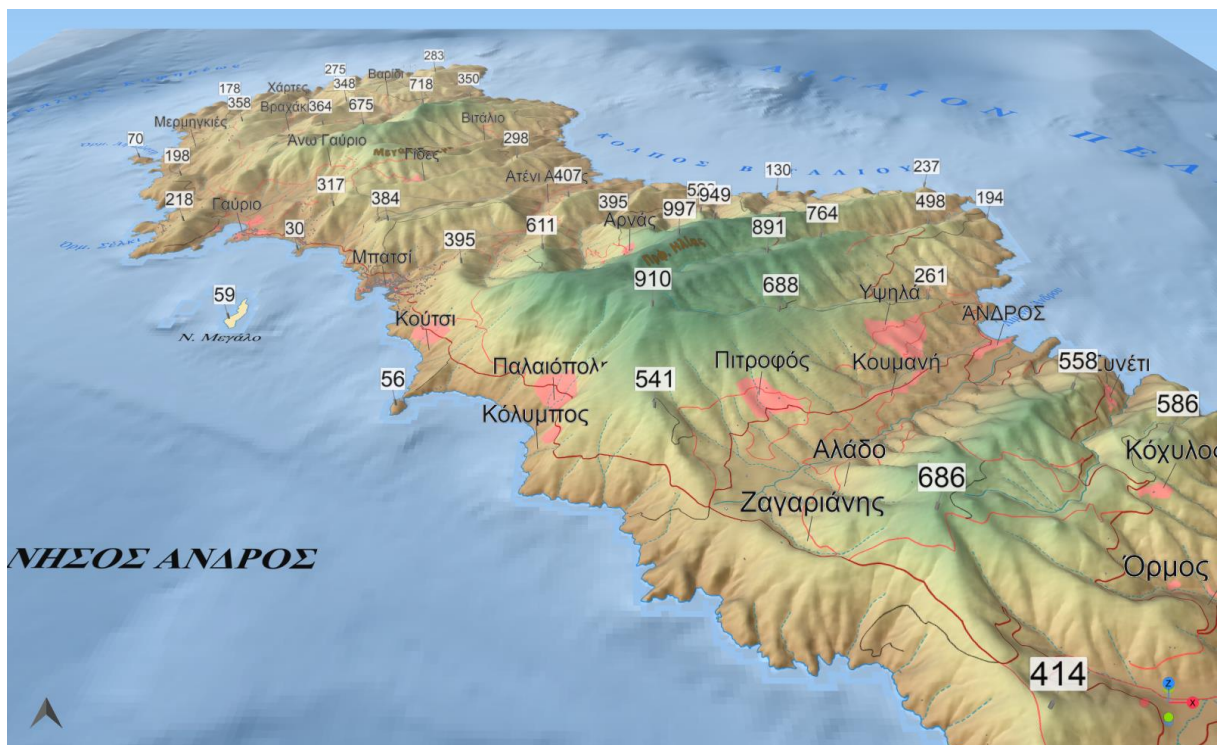
- Υδρογραφικό δίκτυο

- Κατοικημένοι τόποι

- Οπτικοποίηση του εδάφους με χρωματική παλέτα και φωτοσκίαση

- Οπτικοποίηση της θαλάσσιας περιοχής με συνεχή χρωματική διαβάθμιση βασισμένη στην βαθυμετρία.

- Τοπωνύμια Ξηράς και Θάλασσας



**Εικόνα 9:** Γενική άποψη του 3Δ χάρτη της Άνδρου (1)

Η σκηνή της Άνδρου αναπτύσσεται πάνω σε μία βάση με διαστάσεις 45x45 km. Η βάση «στήριξης» του 3Δ χάρτη μαζί με τον ίδιο τον χάρτη είναι αυτά που συνθέτουν το επονομαζόμενο «διόγραμμα» (αγγλ. Diorama). Η σκηνή της Άνδρου αναπτύχθηκε στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87. Για την

απόδοση του ΨΜΕ και των συναφών τοπογραφικών αντικειμένων έχει χρησιμοποιηθεί κατακόρυφη μεγέθυνση ίση με 1.8.

### Σκηνή στην περιοχή του Κόλπου Μπατσίου (ν. Άνδρου)

Στον τρισδιάστατο χάρτη του Μπατσίου (Εικόνα 10) που αναπτύχθηκε με το QGIS και το πρόσθετο QGIS2threejs ενσωματώθηκαν τα παρακάτω 12 θεματικά επίπεδα:

- Ανεμογεννήτριες

Οι θέσεις των ανεμογεννητριών αντλήθηκαν από το Γεωπληροφοριακό Σύστημα της ΡΑΕ. Εντός των ορίων της σκηνής που σχεδιάστηκε στην παρούσα εργασία δεν υπάρχουν ήδη κατασκευασμένες ανεμογεννήτριες. Για λόγους οπτικοποίησης όμως χρησιμοποιήθηκαν οι θέσεις των ανεμογεννητριών που έχουν πάρει άδεια παραγωγής από την ΡΑΕ ωστόσο δεν έχουν κατασκευαστεί ακόμα. Στην βόρεια κορυφογραμμή του Μπατσίου έχουν πάρει άδεια 8 ανεμογεννήτριες (μέχρι τον Φεβρουάριο του 2022) και εντός των ορίων της σκηνής βρίσκονται 3 από τις 8 ανεμογεννήτριες.

- Θρησκευτικοί Χώροι (Ναοί)

- 3D Κτήρια

- Λιμάνι

- Οικισμοί

Στην σκηνή εντάσσονται οι οικισμοί: Μπατσί, Δαμασκητός, Στιβάρι, Αλίκανδρος, Κάτω Απροβάτου και ο οικισμός Μονή Ζωοδόχου Πηγής.

- Παραλίες

- Τριγωνομετρικά σημεία

- Φάρος

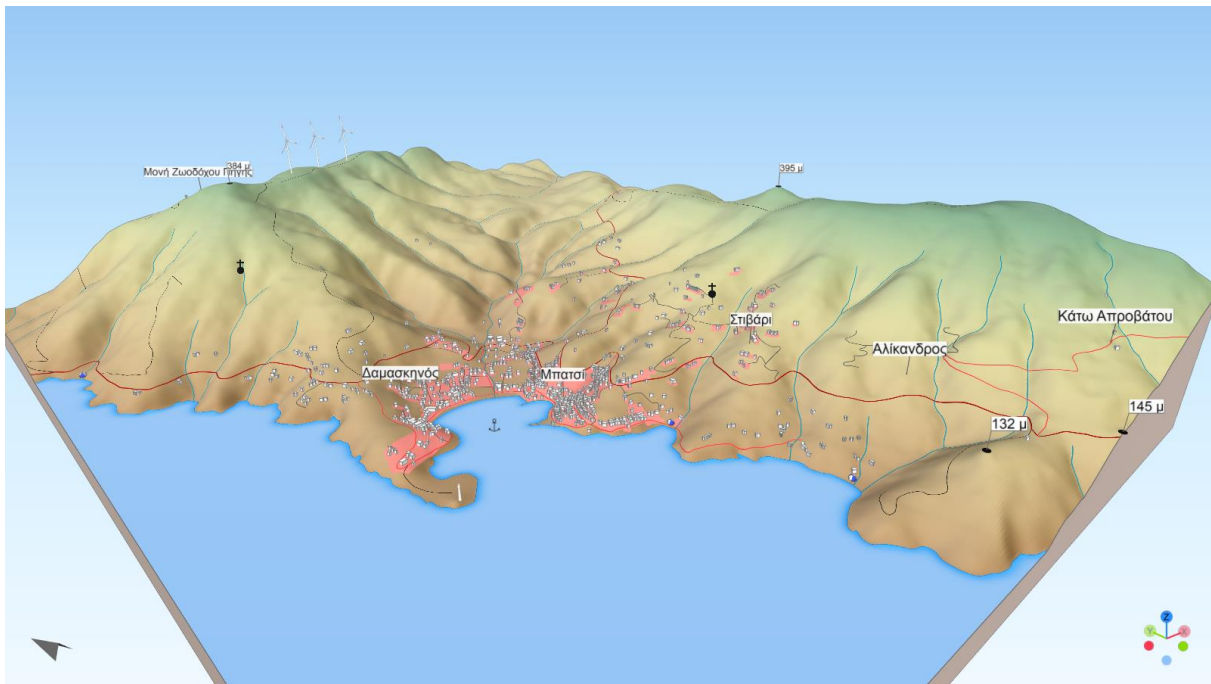
- Οδικό δίκτυο

- Υδρογραφικό δίκτυο

- Κατοικημένοι τόποι

- Οπτικοποίηση του εδάφους με χρωματική παλέτα και φωτοσκίαση

Η σκηνή του Μπατσίου έχει έκταση 3600 x 4440 m (x:y). Αξίζει να αναφερθεί ότι η βάση «στήριξης» που συνθέτει το τελικό διάγραμμα δημιουργείται αυτόματα από το πρόσθετο λογισμικό QGIS2threejs. Η μόνη παράμετρος που θέτει ο δημιουργός είναι το πάχος της βάσης του 3D χάρτη. Η σκηνή του Μπατσίου αναπτύχθηκε στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87. Για την απόδοση του ΨΜΕ και των συναφών αντικειμένων έχει χρησιμοποιηθεί κατακόρυφη μεγέθυνση ίση με 1.6.



Εικόνα 10: Γενική άποψη του 3D χάρτη στον Κόλπο Μπατσιού

#### 4.3.2 Δυνατότητες του λογισμικού QGIS2threejs

##### Σημειακά δεδομένα

Είναι δυνατή η απεικόνιση σημειακών δεδομένων με 3D γεωμετρικά αρχέτυπα, με εικόνα ή με μοντέλο οριζόμενο από τον χρήστη. Στην περίπτωση των γεωμετρικών αρχέτυπων δίνονται πολλές επιλογές για το μέγεθος των συμβόλων. Π.χ. για σφαίρα, η ακτίνα της σφαίρας μπορεί να καθοριστεί δυναμικά με βάση την τιμή κάποιου πεδίου από τον πίνακα ιδιοτήτων, λ.χ. τον πληθυσμό. Εάν για σύμβολο χρησιμοποιηθεί εικόνα (από αρχείο ή URL) αυτή λειτουργεί και σαν billboard. Περιστρέφεται δηλαδή συνεχώς προς το σημείο της κάμερας και στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο.

Το υψόμετρο απόδοσης των συμβόλων μπορεί να οριστεί σε σχέση με το ΨΜΕ ή χρησιμοποιώντας απόλυτα υψόμετρα. Στην σχετική θέση τοποθετούνται είτε πάνω στο ΨΜΕ ή σε κάποια απόσταση από το έδαφος. Για τοποθέτηση σε τιμές απόλυτου υψομέτρου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές Z ή M του shaperefile ή ακόμα και τιμές υψομέτρου μέσα από πεδίο. Πάντως το plugin δέχεται οποιαδήποτε έκφραση μπορεί να συνταχθεί από τον χρήστη για τον καθορισμό της μεταβλητής Z στην οποία τοποθετείται το σύμβολο. Επικοινωνεί άριστα δηλαδή με το παράθυρο σύνταξης εκφράσεων του QGIS. Ύστερα από δοκιμές φάνηκε ότι για τα σημειακά δεδομένα η υψομετρική πληροφορία αρκεί να εισάγεται ως ιδιότητα. Άρα, περισσεύει η γεωμετρία PointZ. Επιπλέον μπορεί να τοποθετηθεί ονοματολογία με την μορφή World-Space billboards. Τα ονόματα λαμβάνονται από πεδίο του shaperefile και μπορεί να καθοριστεί επίσης το υψόμετρο αναγραφής των ετικετών, με σχετικές ή απόλυτες τιμές.

Τέλος, μέσα από το παράθυρο διαλόγου μπορεί να καθοριστεί εάν το συγκεκριμένο θεματικό επίπεδο θα είναι επιλέξιμο από τον χρήστη ή όχι, δηλαδή η δημιουργία pop-up. Δεν υπάρχουν όμως εντολές για την εξατομίκευση του pop-up. Μικρή εξατομίκευση μπορεί να γίνει μέσα από τις ιδιότητες του επιπέδου στο QGIS και την καρτέλα "Fields" συγκεκριμένα.



### Γραμμικά δεδομένα

Είναι δυνατή η απεικόνιση γραμμικών δεδομένων με γεωμετρικά αρχέτυπα, τα οποία είναι γραμμή, σωλήνας, κώνοι σε κάθε κορυφή των γραμμών, ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο και τοίχος. Όμως υπάρχουν και ορισμένα προβλήματα. Πρώτον, δεν μπορεί να τροποποιηθεί το πάχος της γραμμής από τον χρήστη. Δεύτερον, όταν επιλεγεί απόδοση πάνω από το ΨΜΕ ορισμένα τμήματα των γραμμών δεν απεικονίζονται. Είναι σαν να βρίσκονται κάτω από το έδαφος. Γι' αυτό χρειάζεται πρόσθετη ανύψωση ώστε να σχηματοποιηθούν ολόκληρες οι γραμμές. Όμως, μικρή ανύψωση συνεπάγεται απώλεια κομματιών και μεγάλη ανύψωση συνεπάγεται απώλεια συνάφειας. Ίσως το πρόβλημα λυνόταν αν τα γραμμικά στοιχεία είχαν και 3<sup>η</sup> διάσταση. Η λύση της τρίτης διάστασης δοκιμάστηκε αλλά δεν έδωσε καλύτερο αποτέλεσμα. Το πρόβλημα είναι ακόμη εντονότερο στο υδρογραφικό δίκτυο, όπου δεν εμφανίζεται σχεδόν καμιά γραμμή. Ωστόσο το υδρογραφικό δίκτυο δείχνει αρκετά καλό όταν αποδίδεται με την τεχνική draping και μάλλον δεν χρειάζεται ξεχωριστή απόδοση. Από το παράθυρο ιδιοτήτων του ΨΜΕ φαίνεται ότι το plugin πραγματοποιεί αναδειγματοληψία στο αρχικό ψηφιδωτό αρχείο του ΨΜΕ. Ίσως αυτό να φταίει για την απόκρυψη τμημάτων των γραμμών.

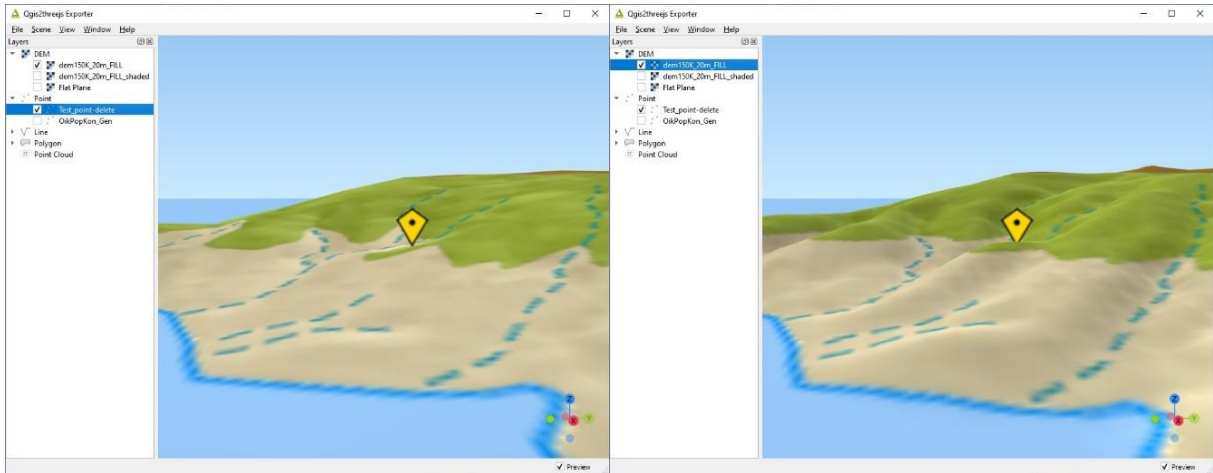
Μπορούν να τοποθετηθούν και ετικέτες, αν και δεν φαίνεται να αναγνωρίζει τα αλφαβητικά πεδία. Τέλος, μέσα από το παράθυρο διαλόγου μπορεί να καθοριστεί εάν το συγκεκριμένο θεματικό επίπεδο θα είναι επιλέξιμο από τον χρήστη ή όχι, δηλαδή η δημιουργία pop-up. Δεν υπάρχουν όμως εντολές για την εξατομίκευση του pop-up. Μικρή εξατομίκευση μπορεί να γίνει μέσα από τις ιδιότητες του επιπέδου στο QGIS και την καρτέλα "Fields" συγκεκριμένα.

### Επιφανειακά δεδομένα

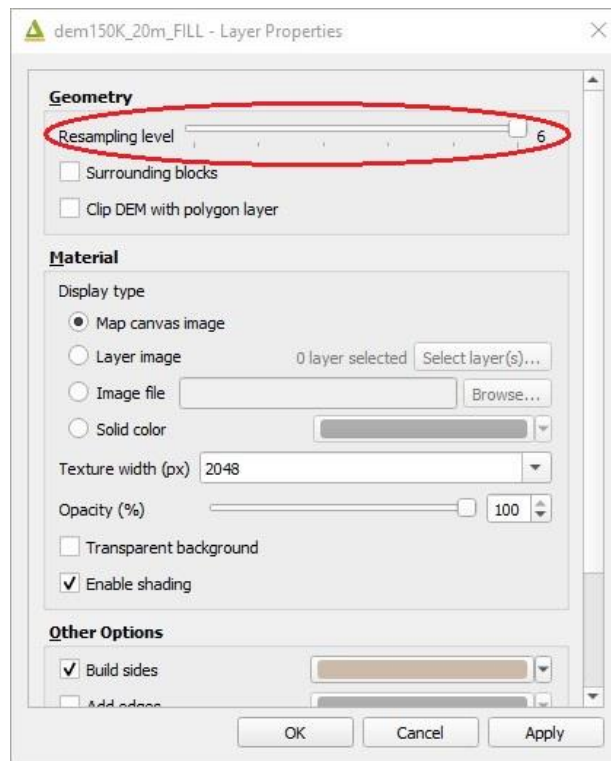
Για τα πολύγωνα οι επιλογές που έχει είναι: *polygon*, *extruded* και *overlay*. Η επιλογή ***polygon*** λειτουργεί σαν την τεχνική draping αλλά χωρίς επιτυχία και το αποτέλεσμα δεν είναι ικανοποιητικό. Η επιλογή ***extruded*** μπορεί να χρησιμεύσει για τα κτήρια. Η επιλογή ***overlay*** δεν μπορεί να "τρέξει" από το QGIS. Τέλος, μπορεί να τοποθετηθεί και ονοματολογία.

### ΨΜΕ

Για την τρισδιάστατη απόδοση του εδάφους, η πιο πρόσφορη μέθοδος είναι η δημιουργία υψής από τον καμβά του QGIS μέσα από τον συνδυασμό φωτοσκίασης, χρωματικά διαβαθμισμένου ΨΜΕ και διαφάνειας και η απόδοσή της πάνω στο ΨΜΕ με την μέθοδο draping. Εναλλακτικά, το ΨΜΕ και το hillshade μπορούν να οπτικοποιούνται ξεχωριστά, δηλαδή σαν 2 ανεξάρτητες επιφάνειες. Ωστόσο η μέθοδος δεν φαίνεται να αποδίδει στο QGIS2threejs γιατί το αποτέλεσμα είναι πολύ κακό. Η πρώτη μέθοδος αποτελεί και τον προκαθορισμένο τρόπο απόδοσης κάθε φορά που εκκινείται το πρόσθετο QGIS2threejs. Για το τύλιγμα του χάρτη πάνω στο ΨΜΕ σημαντική παράμετρος είναι το Texture Width σε pixel. Οι επιλογές που δίνονται από το λογισμικό είναι 512, 1024, 2048, 4096 και Map Canvas width. Χρησιμοποιώντας το 2048 το υδρογραφικό δίκτυο είναι πολύ εντυπωσιακό. Ομοίως και το οδικό δίκτυο είναι πολύ ωραίο αλλά όχι τόσο όσο τα ρέματα. Στα 4096 pixel το αποτέλεσμα είναι αξιοθαύμαστο. Είναι αξιοσημείωτο ότι το πρόσθετο μπορεί να δεχθεί υφή για το ΨΜΕ από εξωτερικό αρχείο. Δηλαδή μπορείς να κατασκευάσεις την εικόνα υποβάθρου στο ArcGIS, να την εκτυπώσεις σε \*.png και μετά να την "κολλήσεις" πάνω στο ΨΜΕ. Όπως αναφέρθηκε πρωτότερα το ΨΜΕ προβάλλεται με μικρότερη χωρική διακρίσιμότητα από αυτήν στην οποία έχει κατασκευαστεί. Η αναδειγματοληψία γίνεται σε 6 συγκεκριμένα επίπεδα. Στο παράδειγμα της Εικόνας 11 το μέγεθος των φατνίων είναι 20 m και η έκταση του μοντέλου 45X45 km. Με την αναδειγματοληψία το μικρότερο μέγεθος ψηφίδας είναι 75 m και το μεγαλύτερο 450 m. Στην εικόνα 11 παρουσιάζεται η εξομάλυνση του ανάγλυφου. Στην εικόνα 12 φαίνεται η αναδειγματοληψία που γίνεται στο πρωτογενές ψηφιδωτό αρχείο του ΨΜΕ.



**Εικόνα 11:** Σύγκριση του αναγλύφου μεταξύ των ακραίων επιπέδων αναδειγματοληψίας. Μέγεθος φατνίου αριστερά: 450m. Μέγεθος φατνίου δεξιά: 75m.



**Εικόνα 12:** Παράθυρο διαλόγου με τις επιλογές για την απόδοση του ΨΜΕ

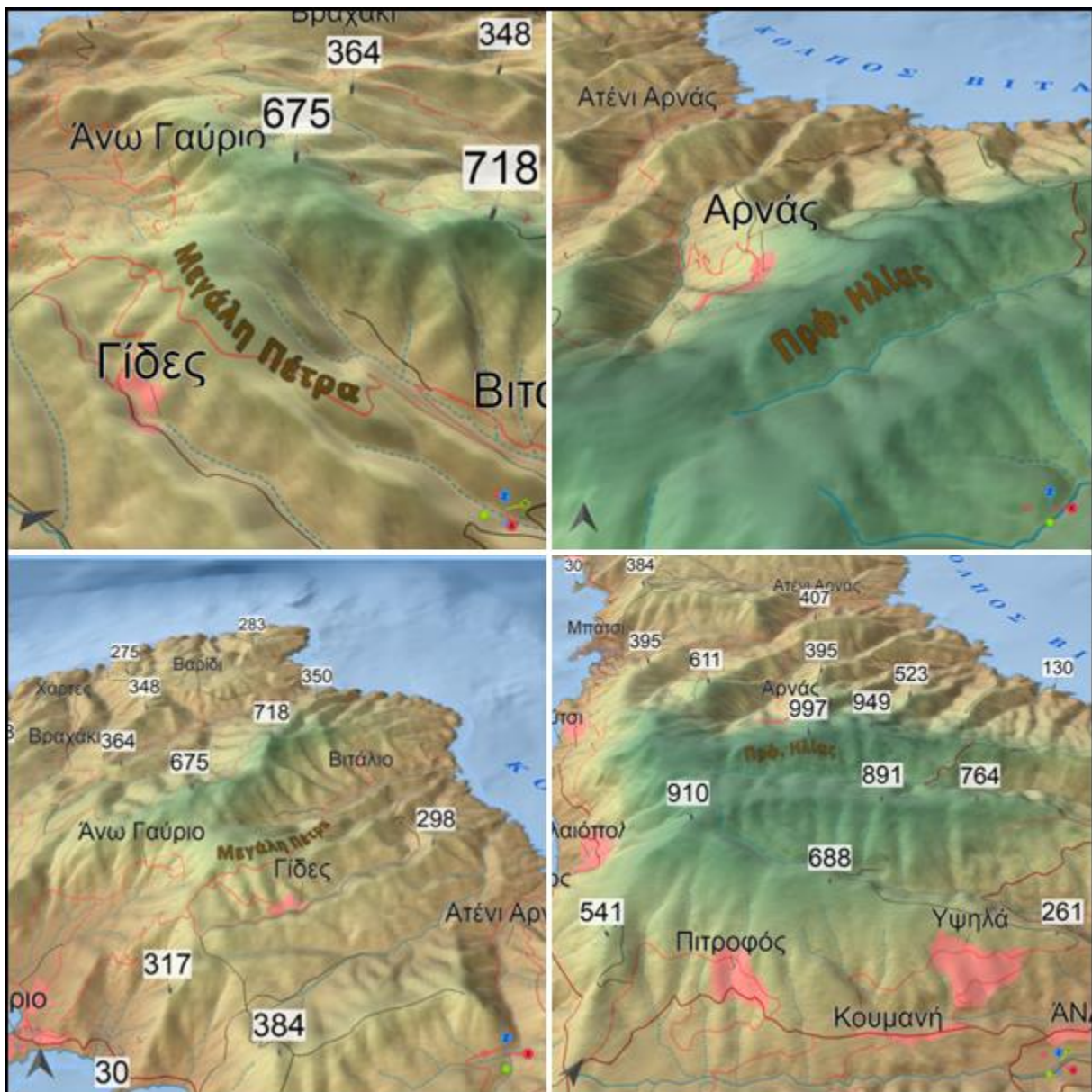
Κατά πάσα πιθανότητα, η λανθασμένη απόδοση των δρόμων που περιεγράφηκε νωρίτερα οφείλεται στην αναδειγματοληψία. Γι' αυτό ακόμα και οι ισουψείς δεν προβάλλονται όπως πρέπει.

Μεγάλη σημασία πρέπει να δίνεται στην κατακόρυφη μεγέθυνση. Με έντονη μεγέθυνση γίνονται διακριτά δια γυμνού οφθαλμού τα φατνία του raster. Επίσης, οι κοιλάδες στενεύουν υπερβολικά και εξ' αυτού μειώνεται πολύ ο διαθέσιμος χώρος μεταξύ γειτνιαζόντων κορυφογραμμών. Από την αντιπαραβολή της Άνδρου στο Qgis2threejs και στο Google Earth, παρατηρήθηκε ότι η Google δεν έχει επιβάλλει vertical exaggeration στο μοντέλο της. Πάντως, τιμές μεγαλύτερες από 2 καλύτερα να αποφεύγονται διότι το αποτέλεσμα καθίσταται εξωπραγματικό. Ειδικά για το μοντέλο της Άνδρου, οι

βέλτιστες τιμές είναι από 1.4 μέχρι και 1.8. Τελικώς στο μοντέλο της Άνδρου χρησιμοποιήθηκε κατακόρυφη μεγέθυνση ίση με 1.8.

### Ονοματολογία

Πέρα από την ονοματολογία σε World-Space billboards που τοποθετείται σε σημειακά δεδομένα, μπορεί να κατασκευαστεί και παραδοσιακή διδιάστατη ονοματολογία και να αποδοθεί με την μέθοδο draping. Η εν λόγω ονοματολογία τοποθετείται μέσα στον καμβά του QGIS. Μιας και το ΣΓΠ QGIS δεν διαθέτει κατάλληλη δομή για την αποθήκευση στοιχείων ονοματολογίας τα οποία έχουν γεωγραφική αναφορά, αυτή προστίθεται με την μορφή ετικετών που εφαρμόζονται πάνω σε γεωμετρικά σχήματα. Μέσα από τον καμβά δημιουργείται η υφή του ΨΜΕ και με αυτόν τον τρόπο και οι ετικέτες επικολλώνται πάνω σ' αυτό. Το αποτέλεσμα είναι αρκούτως ικανοποιητικό. Μειονέκτημα αποτελεί η παγιωμένη θέση των λέξεων που δεν μπορεί να αλλάξει με την εναλλαγή της γωνίας προβολής. Πρόσφατα προστέθηκε νέα λειτουργία «Annotations», ωστόσο αυτή δεν είναι ιδιαίτερα βολική καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα χάραξης κεκλιμένου ή καμπυλωτού οδηγού και οποιοδήποτε κείμενο εισάγεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση.

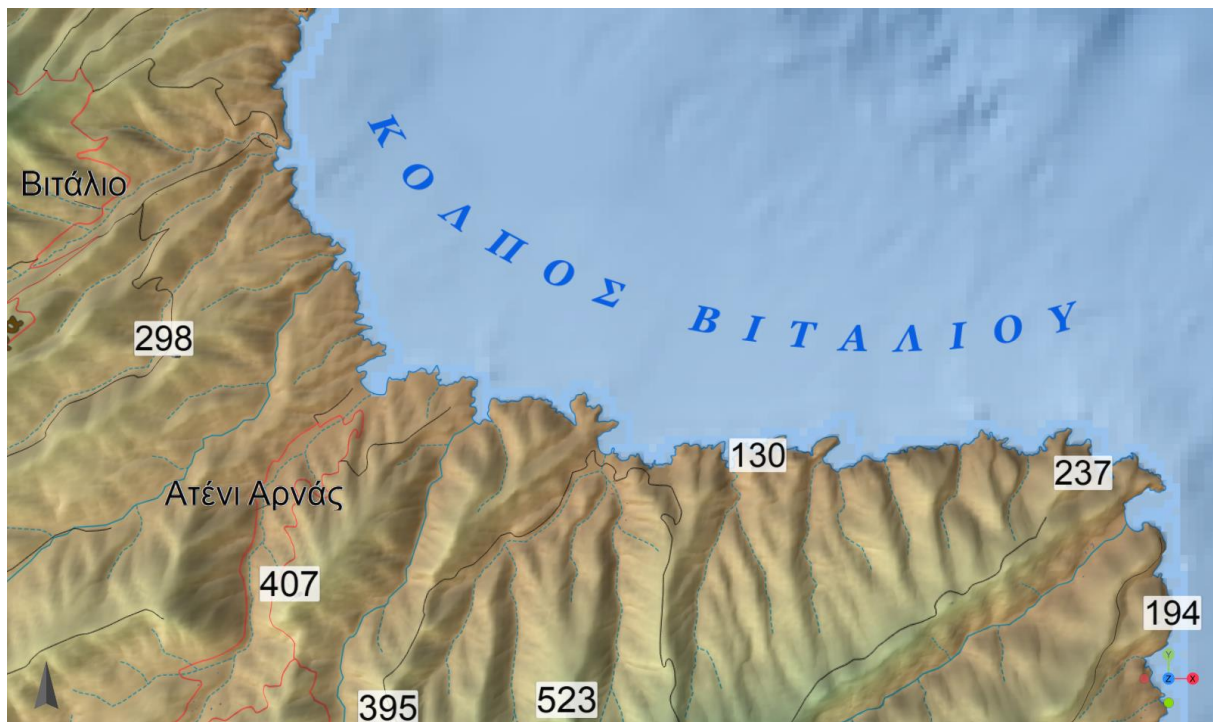


Εικόνα 13: Τέσσερις όψεις για τα τοπωνύμια της Ξηράς





Εικόνα 14: Θαλάσσια τοπωνύμια εντός της 3Δ σκηνής της Άνδρου (1)

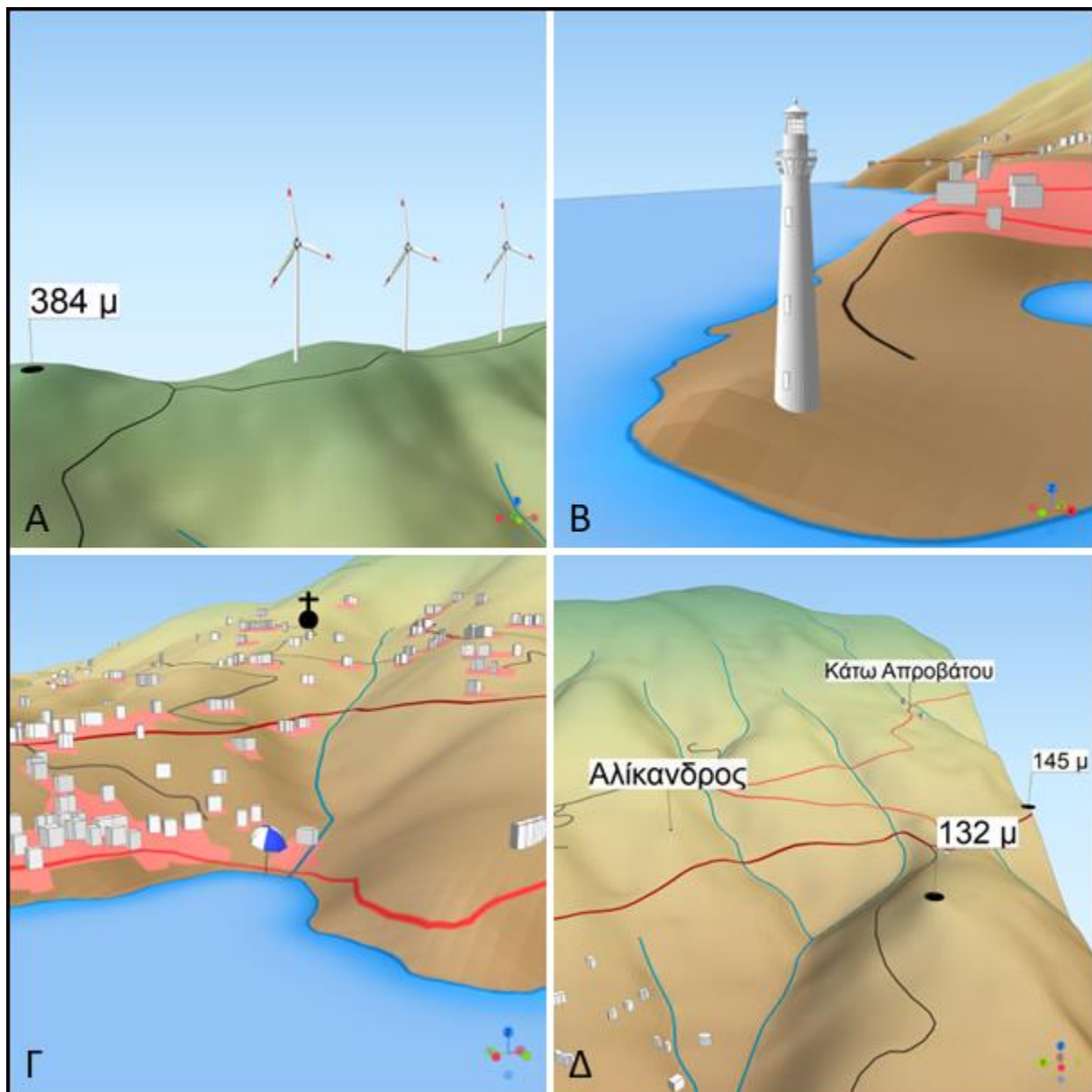


Εικόνα 15: Θαλάσσια τοπωνύμια εντός της 3Δ σκηνής της Άνδρου (2)

### Εισαγωγή 3D μοντέλων σε σημειακά δεδομένα

Δέχεται ως είσοδο για τα 3D μοντέλα μόνο τους μορφότυπους COLLADA (\*.dae) και glTF (\*.gltf, \*.gltf). Όμως, με τον μορφότυπο COLLADA όταν γίνεται εξαγωγή της σκηνής στον φυλλομετρητή ΔΕΝ εμφανίζεται η υφή της ανεμογεννήτριας. Ακόμα και αν μεταφερθεί το εξωτερικό αρχείο για την υφή (png) στον κατάλληλο φάκελο της εφαρμογής, όταν ανοίγει το αρχείο html και πάλι δεν φαίνεται η

υφή. Όταν γίνεται εξαγωγή με τον μορφότυπο \*.gltb η σκηνή ΔΕΝ δουλεύει. Όταν γίνεται εξαγωγή με τον μορφότυπο \*.gltf η εφαρμογή δουλεύει κανονικά και μάλιστα αποδίδεται και η υφή στις ανεμογεννήτριες.



**Εικόνα 16:** Τα τρισδιάστατα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τον συμβολισμό των σημειακών δεδομένων: α) Ανεμογεννήτριες, β) Φάρος, γ) Παραλίες και δ) Τριγωνομετρικά σημεία.

#### 4.4 Υλοποίηση στο ΣΓΠ ArcGIS

##### 4.4.1 Περιεχόμενα των τελικών 3D χαρτών

Παρακάτω αναφέρονται τα θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν σε καθεμιά χωρική αναπαράσταση.

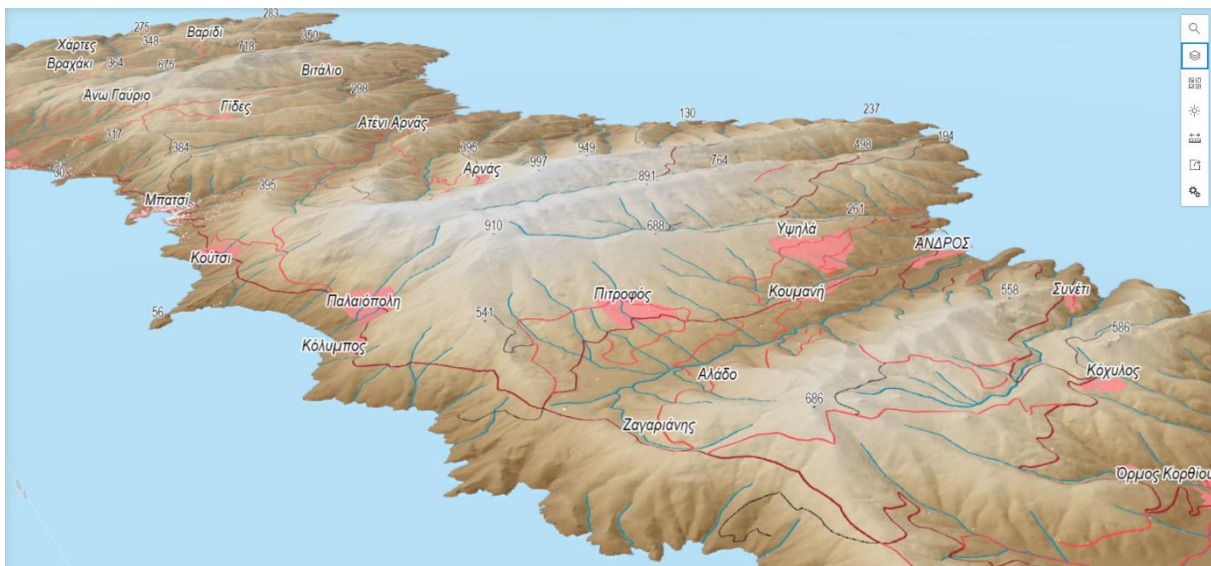
##### Σκηνή νήσου Άνδρου

Στον τρισδιάστατο χάρτη της νήσου Άνδρου (Εικόνα 17) που δομήθηκε στο ΣΓΠ ArcGIS Pro και αποδόθηκε τρισδιάστατα στην διαδικτυακή πλατφόρμα ArcGIS Online ενσωματώθηκαν τα παρακάτω 10 θεματικά επίπεδα:

- Ανεμογεννήτριες
- 3D Κτήρια
- Οικισμοί
- Τριγωνομετρικά σημεία
- Φάροι

Συνολικά τοποθετήθηκαν 3 φάροι, ένας στην νήσο “Τουρλίτης” στον λιμένα της Χώρας της νήσου Άνδρου, ένας στην Άκρα “Γριά” βορειότερα του λιμένα της Χώρας και τέλος ο φάρος που βρίσκεται στην Άκρα “Κολώνα” στην είσοδο ακριβώς του Κόλπου και του Λιμένα Μπαταίου.

- Οδικό δίκτυο
- Υδρογραφικό δίκτυο
- Κατοικημένοι τόποι
- Οπτικοποίηση του εδάφους με χρωματική παλέτα και φωτοσκίαση
- Τοπωνύμια Ξηράς και Θάλασσας



**Εικόνα 17:** Γενική άποψη του 3D χάρτη της Άνδρου επάνω στην Ψηφιακή Σφαίρα της ERSI

Η σκηνή της Άνδρου στο ArcGIS Online δεν αναπτύσσεται επάνω σε κάποια βάση συγκεκριμένων διαστάσεων αλλά επάνω στην υδρόγειο που παρέχεται από την ESRI. Σε αυτήν την σκηνή δεν έχει χρησιμοποιηθεί κατακόρυφη μεγέθυνση καθώς αυτή η επιλογή δεν υποστηρίζεται από την πλατφόρμα (βλέπε και στην Ενότητα 4.4.4). Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι τέτοιου είδους παγκόσμιες σκηνές αναπτύσσονται μόνο στο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων WGS '84.

### Σκηνή στην περιοχή του Κόλπου Μπαταίου (ν. Άνδρου)

Στον τρισδιάστατο χάρτη του Μπαταίου (Εικόνα 18) που αναπτύχθηκε με το ArcGIS Pro και το ArcGIS Online ενσωματώθηκαν τα παρακάτω 13 θεματικά επίπεδα:

- Ανεμογεννήτριες
- Θρησκευτικοί Χώροι (Ναοί)



- 3D Κτήρια
- Λιμάνι
- Οικισμοί

Στην σκηνή εντάσσονται οι οικισμοί: Μπατσί, Δαμασκηνός, Στιβάρι, Αλικανδρος, Κάτω Απροβάτου και ο οικισμός Μονή Ζωοδόχου Πηγής.

- Παραλίες
- Τριγωνομετρικά σημεία
- Φάρος
- Οδικό δίκτυο
- Υδρογραφικό δίκτυο
- Ισοϋψείς καμπύλες
- Κατοικημένοι τόποι
- Οπτικοποίηση του εδάφους με χρωματική παλέτα και φωτοσκίαση



**Εικόνα 18:** Γενική άποψη του 3D χάρτη στον Κόλπο Μπατσίου

Η σκηνή του Μπατσίου στο ArcGIS Online έχει την ίδια έκταση μ' αυτήν στο QGIS2threejs. Όμως στο ArcGIS Pro που δομήθηκε η παραπάνω σκηνή δεν υπάρχει δυνατότητα για αυτόματη δημιουργία του πλαισίου του χάρτη και της βάσης που μαζί με τον τρισδιάστατο χάρτη συνθέτουν το τελικό διόραμα. Έτσι όλα αυτά τα στοιχεία κατασκευάστηκαν χειροκίνητα και ουσιαστικά οι τέσσερις πλευρές του μοντέλου αποτελούν 4 διαφορετικά γεωμετρικά στοιχεία με γεωμετρία multipatch. Η σκηνή του Μπατσίου αναπτύχθηκε στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87. Για την απόδοση του ΨΜΕ και των συναφών τοπογραφικών στοιχείων δεν έχει χρησιμοποιηθεί κατακόρυφη μεγέθυνση καθώς δεν υποστηρίζεται στις διαδικτυακές σκηνές.

## 4.4.2 ArcScene

### Σημειακά δεδομένα

Είναι δυνατή η απεικόνιση σημειακών δεδομένων με 3D γεωμετρικά αρχέτυπα (τα οποία είναι: Σφαίρα, Κύλινδρος, Κώνος, Κύβος, Διαμάντι και Πυραμίδα), με εικόνα ή με οποιονδήποτε χαρακτήρα από αυτούς που υπάρχουν στην βιβλιοθήκη της ESRI σε 3D (π.χ. τρισδιάστατος σταυρός). Στην περίπτωση των γεωμετρικών αρχέτυπων δίνονται πολλές επιλογές για το μέγεθος των συμβόλων. Π.χ. για σφαίρα, η ακτίνα της σφαίρας μπορεί να καθοριστεί δυναμικά με βάση την τιμή κάποιου πεδίου από τον πίνακα ιδιοτήτων, λ.χ. τον πληθυσμό. Εάν για σύμβολο χρησιμοποιηθεί εικόνα αυτή λειτουργεί και σαν billboard. Περιστρέφεται δηλαδή συνεχώς προς την κατεύθυνση της κάμερας και κατά το οριζόντιο και κατά το κατακόρυφο επίπεδο. Μία ενδιαφέρουσα λειτουργία που έχει το ArcScene είναι η αγκίστρωση της εικόνας από οποιοδήποτε σημείο του εύρους της για τους 2 άξονες x και y, μέσα από την επιλογή *normalized origin offset*. Τα τρισδιάστατα σύμβολα τα οριζόμενα από τον χρήστη εισάγονται μέσα από τον τύπο συμβολισμού 3D Marker Symbol. Ειδικά για τον μορφότυπο COLLADA, το ArcScene αναγνωρίζει την υφή μέσα από το διαφορετικό αρχείο, σε αντίθεση με το Qgis2threejs.

Το υψόμετρο απόδοσης των συμβόλων μπορεί να οριστεί σε σχέση με το ΨΜΕ ή χρησιμοποιώντας απόλυτα υψόμετρα. Στην σχετική θέση τοποθετούνται είτε πάνω στο ΨΜΕ ή σε κάποια απόσταση από το έδαφος. Για τοποθέτηση σε τιμές απόλυτου υψομέτρου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές Z ή M του shapefile ή ακόμα και τιμές υψομέτρου μέσα από πεδίο. Από την ενασχόληση με το αντικείμενο κατά την διάρκεια της εργασίας προέκυψε ότι για τα σημειακά δεδομένα η υψομετρική πληροφορία αρκεί να εισάγεται ως ιδιότητα. Περισεύει η γεωμετρία PointZ.

### Κτήρια

Όταν επιβάλλεις εξώθηση στα κτήρια, το ArcScene αδυνατεί να προβάλλει το περίγραμμά τους με διαφορετικό χρώμα απ' ότι το εσωτερικό των όψεων. Στο ArcGIS Pro όμως μπορείς να τα αποδώσεις και με περίγραμμα. Το περίγραμμα θεωρείται αρκετά σημαντικό, αφού όπως λέει και ο Moradi (2017) η ενίσχυση των ακμών θεωρείται από τις πιο αποτελεσματικές οπτικές μεταβλητές στον τρισδιάστατο σχεδιασμό. Αναφέρει χαρακτηριστικά ότι (Moradi, 2017, σελίδα 50): "Edge enhancement has long been considered as one of the most efficient graphical variables in 3D design environment".

### Ονοματολογία

Η εφαρμογή ArcScene είναι αρκετά πρωτόλεια όσον αφορά την απόδοση ονοματολογίας στον 3D χάρτη. Δεν υποστηρίζει την τοποθέτηση ετικετών γύρω από γεωμετρικά στοιχεία, δεν υποστηρίζει την απόδοση ετικετών επικολημένων στο ΨΜΕ και τέλος δεν υποστηρίζει την εισαγωγή θεματικών επιπέδων ονοματολογίας (Annotation feature layers). Το μόνο που διαθέτει είναι η εισαγωγή 3D κειμένου υπό μορφή γραφικών. Για το κείμενο περιλαμβάνονται όλες οι συνήθεις επιλογές για την εξατομίκευσή του καθώς και μία επιπλέον επιλογή που αφορά το βάθος (ή πάχος) των γραμμών, με το οποίο αποκτούν πλήρη τρισδιάστατη γεωμετρία. Οι παραγόμενες ετικέτες δεν ακολουθούν την κίνηση της κάμερας, δηλαδή δεν λειτουργούν σαν billboards αλλά λειτουργούν περισσότερο ως γεωμετρικό μοντέλο το οποίο κείται πάνω σε ένα επίπεδο του χώρου (π.χ. στο XY, στο XZ, στο YZ ή σε άλλο τυχαίο επίπεδο του χώρου). Έτσι στο επίπεδο XY τα γράμματα θα φαίνονται όπως σε κάτοψη, ενώ στα επίπεδα XZ ή YZ τα γράμματα θα ομοιάζουν με αυτά στην αναγραφή του Hollywood. Για τον σχεδιασμό διαφορετικών ομάδων ονοματολογίας, π.χ. τοπωνύμια ξηράς ή θάλασσας μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά επίπεδα γραφικών, το καθένα με τις ιδιότητές του. Ωστόσο τα τρισδιάστατα γραφικά (3D Graphics) δεν είναι πολύ λειτουργικά. Απαιτείται πολύς χρόνος για την σχεδίασή τους και ο χειρισμός τους είναι πολύ δύσκολος και κουραστικός. Για παράδειγμα αν θέλεις να περιστρέψεις κάποια λέξη στον χώρο, δεν υπάρχει το κατάλληλο διαδραστικό εργαλείο του «περιστρεφόμενου κέρσορα».



Στην περίπτωση ενός στατικού χάρτη η ονοματολογία μπορεί να τοποθετηθεί και στην τελική διάταξη του χάρτη (Layout). Το κείμενο αυτό τοποθετείται παραδοσιακά υπό μορφή γραφικών με όλη την λειτουργικότητά του. Ωστόσο εδώ παρουσιάζεται και ένα ακόμη μειονέκτημα της εφαρμογής ArcScene. Το ότι δεν περιλαμβάνει διάταξη Layout. Αυτό σημαίνει ότι στον τελικό χάρτη δεν μπορούν να προστεθούν «στοιχεία εξωτερικής αναγνώρισης» (Αζά, 2014), όπως είναι το κείμενο υπό μορφή γραφικών, το πλαίσιο, το σύμβολο του Βορρά κ.α.

#### 4.4.3 ArcGIS Pro

##### ΨΜΕ

Όσον αφορά το ΨΜΕ και την απόδοση των φατνίων του στα όρια της ακτογραμμής της Άνδρου, για να επιλυθεί το πρόβλημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα raster που καλύπτει όλη την έκταση του αρχείου. Δηλαδή στα φατνία που βρίσκονται έξω από την ακτογραμμή να υπάρχουν τιμές αλλά να είναι ίσες με το μηδέν. Αυτή η τεχνική επιλύει το πρόβλημα ωστόσο αυξάνει πάρα πολύ το μέγεθος του ψηφιδωτού αρχείου. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι για το raster των 20 μέτρων μία αύξηση 62.24 % στην έκταση που καλύπτει το raster οδήγησε σε αύξηση 130 % του μεγέθους του αρχείου. Οπότε για τον περιορισμό του μεγέθους πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο μία μικρή ζώνη εκτός της ακτογραμμής, δηλαδή ένας **περιμετρικός δακτύλιος μηδενικών τιμών** γύρω από το πραγματικό ΨΜΕ. Στο μοντέλο του Μπατσίου που εφαρμόστηκε η συγκεκριμένη τεχνική, δούλεψε άψογα.

##### Οδικό δίκτυο

Όπως και στο πρόσθετο Qgis2threejs, αν το οδικό δίκτυο επιλεγεί να οπτικοποιηθεί με ξεχωριστή απόδοση, δηλαδή σαν τρισδιάστατο layer τότε παρατηρείται και πάλι η τμηματική απόδοσή του.

##### Ονοματολογία

Οι ετικέτες της ονοματολογίας δεν λειτουργούν ως στοιχείο του χώρου (δηλαδή World-Space billboards) αλλά ως στοιχείο της οθόνης (δηλαδή Screen-Space billboards). Αυτό το συμπέρασμα προκύπτει από το γεγονός ότι οι ετικέτες των οικισμών φαίνονται ακόμα και όταν ο οικισμός είναι πίσω από ορεινό όγκο. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η τοποθέτηση της ετικέτας σε όποιο ύψος επιθυμεί ο χρήστης, ανεξάρτητα από το ύψος τοποθέτησης του συμβόλου που σχετίζεται με την ετικέτα. Το ArcGIS Pro διαθέτει γι' αυτό το λόγο την επιλογή "Offset Z", ωστόσο αυτή δεν φαίνεται να ανταποκρίνεται σ' αυτό που ορίζει ο χρήστης. Πολλές λειτουργίες οι οποίες υπάρχουν στην σχεδίαση 2D χάρτη εκλείπουν από τις τρισδιάστατες σκηνές, όπως για παράδειγμα η προτεραιοποίηση απόδοσης των ετικετών ονοματολογίας ανάλογα με κάποια επιθυμητή σημαντικότητα (π.χ. πληθυσμός). Ένα ενδιαφέρον στοιχείο όμως είναι ότι το ArcGIS Pro διαθέτει σύστημα «συγκρούσεων» των ετικετών (Label conflict resolution) το οποίο συνεισφέρει στο να μην δημιουργείται οπτική όχληση όταν απομακρυνόμαστε αρκετά από την σκηνή και ο χώρος για την απόδοση των ονομάτων περιορίζεται. Μιας και δεν υπάρχει σύστημα προτεραιοποίησης των ετικετών, όποια ετικέτα βρίσκεται πιο κοντά στον παρατηρητή κερδίζει.

#### 4.4.4 ArcGIS Online

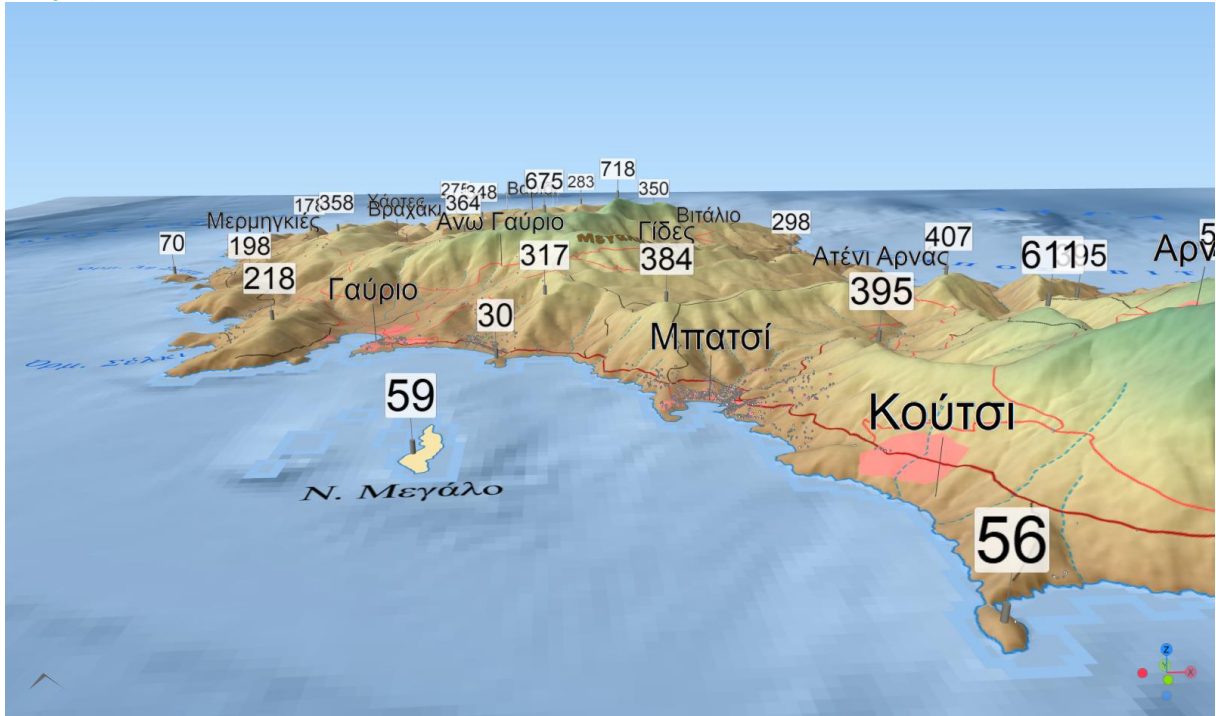
Αφού λοιπόν δομήθηκαν οι τρισδιάστατοι χάρτες στο λογισμικό ArcGIS Pro, έγινε η δημοσιοποίησή τους στο διαδίκτυο μέσα από το ίδιο το λογισμικό. Ωστόσο πολλά στοιχεία δεν μεταφέρθηκαν με τον ίδιο τρόπο στην διαδικτυακή πλατφόρμα και εμφανίστηκαν ορισμένες ασυνέπειες που οφείλονται σε διάφορους περιορισμούς του ArcGIS Online Scene Viewer. Από την ανάλυση διαπιστώθηκαν οι παρακάτω περιορισμοί:

- α. Για να δημοσιοποιηθεί η σκηνή στο διαδίκτυο πρέπει όλα τα θεματικά επίπεδα να βρίσκονται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων. Αυτό οφείλεται στην δημιουργία ενός **tiling scheme** κατά την δημοσιοποίηση στο διαδίκτυο και για να μπορούν όλα τα επίπεδα να ενσωματωθούν στο tiling scheme θα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων. Το αυτό ισχύει και για το *Elevation Layer*.
- β. Δεν επιτρέπεται η κατακόρυφη μεγέθυνση (vertical exaggeration) στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.
- γ. Το μεγαλύτερο ίσως μειονέκτημα είναι ότι δεν επιτρέπεται η εξώθηση. Ο μόνος τύπος εξώθησης που επιτρέπεται είναι το "Base Height". Με αυτόν τον τύπο πραγματοποιείται η επιθυμητή εξώθηση σε κάθε κορυφή εκάστου σχήματος ενός επιπέδου. Έτσι, για τα 3D κτήρια αν επιλεγεί να τοποθετηθούν πάνω στο έδαφος, τότε το τρισδιάστατο σχήμα θα ακολουθεί την κλίση του εδάφους ή αλλιώς θα έχει κεκλιμένη οροφή. Και αν επιλεγεί να τοποθετηθούν σε κάποιο υψόμετρο με βάση την τιμή κάποιου πεδίου, τότε επειδή το πεδίο ορίζει μονοσήμαντα το υψόμετρο ορισμένα τμήματα του 3D σχήματος θα βρίσκονται πάνω από το έδαφος, δηλαδή θα αιωρούνται. Για την επίλυση του ζητήματος τα τρισδιάστατα στερεά που αποδίδουν τα κτήρια μετατρέπονται σε γεωμετρία multipatch.
- δ. Οι εκφράσεις που χρησιμοποιούνται για την υψομετρική τοποθέτηση των συμβόλων πρέπει να συντάσσονται μόνο στην γλώσσα Arcade. Η γλώσσα VBScript δεν γίνεται δεκτή.
- ε. Σε μια διαδικτυακή σκηνή δεν επιτρέπεται ο τύπος γεωμετρίας Multipoint.

## 5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 5.1 QGIS2threejs

#### Άνδρος



Εικόνα 19: Γενική άποψη του 3Δ χάρτη της Άνδρου (2)

#### Μπατοσί



Εικόνα 20: Άποψη του λιμένα Μπατοσίου εντός του 3Δ χάρτη Μπατοσίου

## 5.2 ArcGIS Online

### Άνδρος



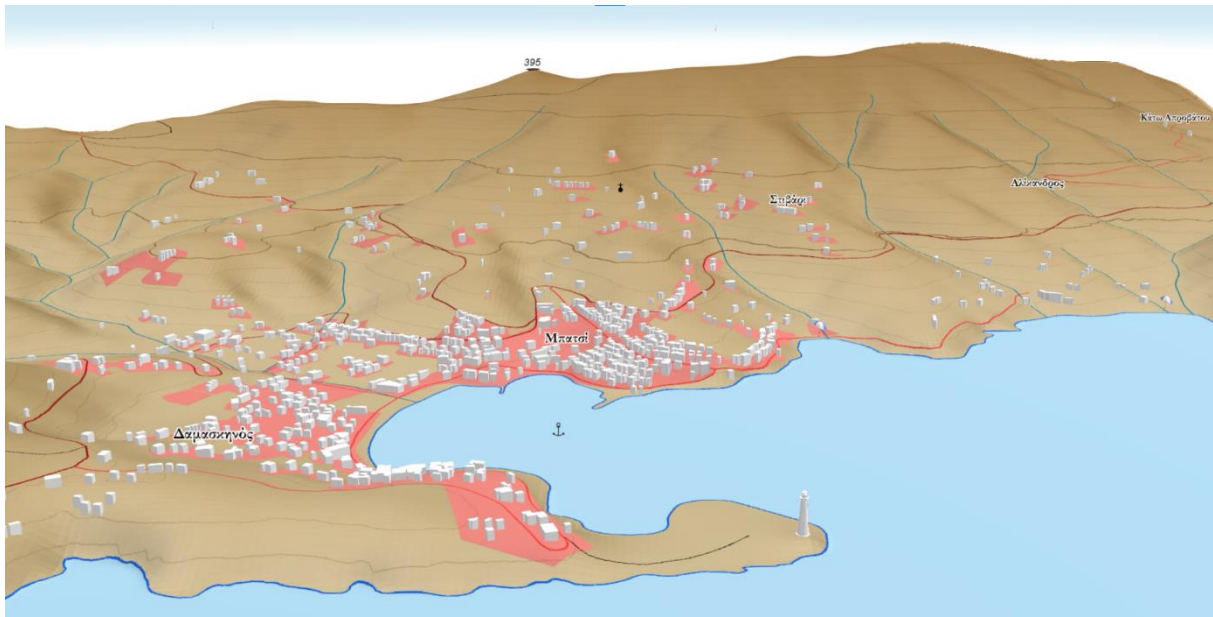
**Εικόνα 21:** Ο 3D χάρτης της Άνδρου εντός του φυσικού περιβάλλοντος της ψηφιακής σφαίρας της ESRI. Από αριστερά προς τα δεξιά διακρίνονται τα νησιά Τήνος, Σύρος και Γυάρος.



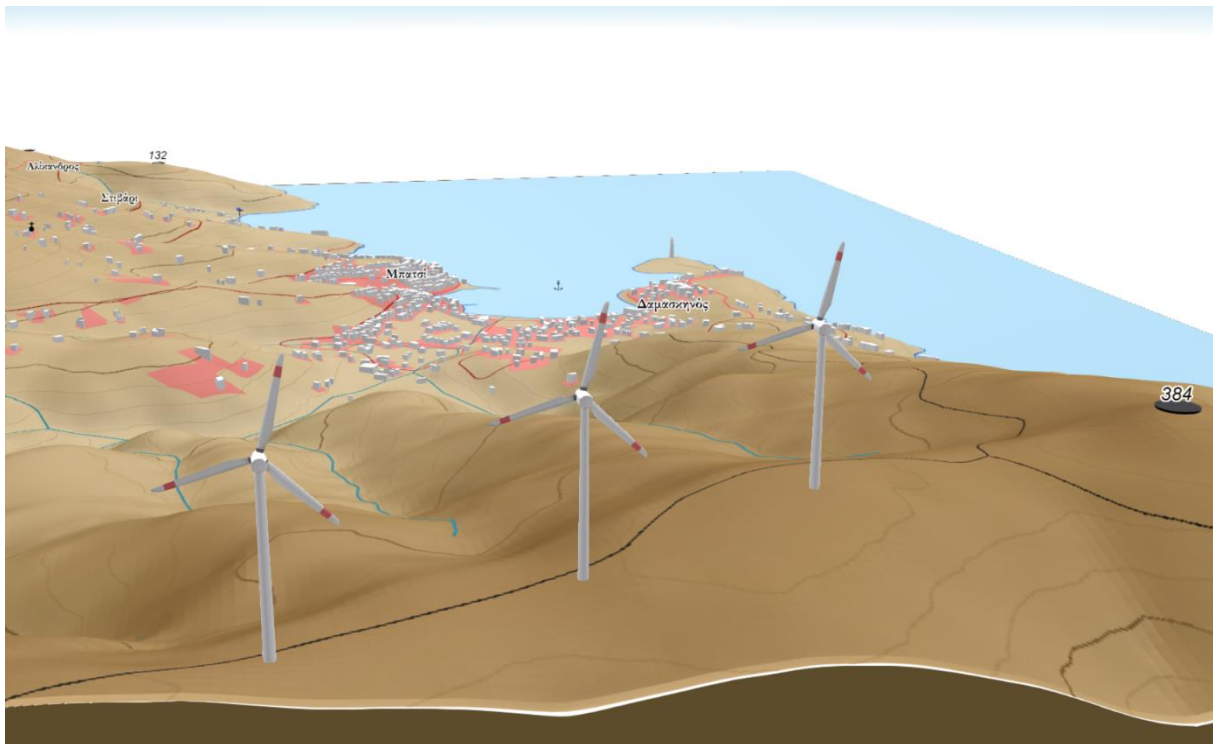
**Εικόνα 22:** Ενσωμάτωση 3D μοντέλων στον χάρτη για τον συμβολισμό σημειακών δεδομένων. Εδώ φαίνεται ο συμβολισμός των ανεμογεννητριών.



## Μπατοί



Εικόνα 23: Άποψη του λιμένα Μπατοίου εντός του 3Δ χάρτη Μπατοίου



Εικόνα 24: Τα τρισδιάστατα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τον συμβολισμό των σημειακών δεδομένων: α) Ανεμογεννήτριες, β) Τριγωνομετρικά σημεία.

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν τρισδιάστατοι χάρτες στην νήσο Άνδρο χρησιμοποιώντας 2 ειδών λογισμικά, ΕΛ/ΛΑΚ και εμπορικής χρήσης. Οι χάρτες εντάσσονται μέσα σε διαδραστική εφαρμογή με την οποία ο κάθε χρήστης μπορεί να περιηγείται εντός του χώρου της σκηνής και να κοιτάζει την σκηνή από διάφορες οπτικές γωνίες. Οι εν λόγω διαδραστικές εφαρμογές αναπτύχθηκαν σε περιβάλλον προσωπικού υπολογιστή χωρίς ωστόσο να είναι δύσκολη η δημοσιοποίησή τους στον παγκόσμιο ιστό. Ειδικά στην πλατφόρμα ArcGIS Online ο διαμοιρασμός των 3D χαρτών σε όλους τους χρήστες του διαδικτύου μπορεί να γίνει πολύ εύκολα και πολύ γρήγορα. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της εργασίας είναι τα εξής:

1. Τα δύο συστήματα έχουν παρεμφερείς δυνατότητες και κανένα από τα δύο δεν μπορεί να ξεχωρίσει απόλυτα. Κάποιο σύστημα μπορεί να ξεχωρίσει μόνο όταν τίθενται περιορισμένα κριτήρια ή στόχοι για τους παραγόμενους 3D χάρτες.

Για παράδειγμα, η ανάπτυξη χάρτη με το QGIS και το QGIS2threejs κερδίζει σαφέστατα στον τομέα της οπτικοποίησης και του αισθητικού αποτελέσματος. Από την άλλη, η ανάπτυξη χάρτη με το ArcGIS Pro και το ArcGIS Online κερδίζει στον τομέα της διαδικτυακής χαρτογραφίας.

2. Το ArcGIS Pro έχει μεγάλη διαλειτουργικότητα με το ArcGIS Online και ο χαρτογράφος μπορεί να παράξει πολύ εύκολα τον διαδικτυακό χάρτη. Επίσης μπορεί να έχει άριστη επικοινωνία από την εφαρμογή του προσωπικού του Η/Υ στην διαδικτυακή πλατφόρμα.
3. Στο ArcGIS Online η διαδικτυακή εφαρμογή μπορεί να δομηθεί πάρα πολύ εύκολα ενώ στο πρόσθετο QGIS2threejs η διαδικτυακή εφαρμογή που παράγεται δεν είναι ολοκληρωμένη και χρειάζονται περισσότερες ενέργειες για την ανάπτυξη μιας κατάλληλης διαδικτυακής εφαρμογής που θα είναι ικανή να διατεθεί στο κοινό.

### 6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα προτείνεται για μελλοντική έρευνα:

1. Η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης διαδικτυακής εφαρμογής, χρησιμοποιώντας είτε τεχνολογίες ανοιχτού κώδικα ή την τεχνολογία της πλατφόρμας ArcGIS Online της ESRI. Το περιεχόμενο των διαδικτυακών εφαρμογών μπορεί να ληφθεί από την παρούσα εργασία ή να δημιουργηθεί εκ νέου.
2. Η ανάπτυξη είτε τρισδιάστατων χαρτών ή διαδραστικών σκηνών και με άλλες τεχνολογίες.
3. Η ανάπτυξη και άλλων ειδών τρισδιάστατων χαρτών όπως είναι το 3D μοντέλο πόλεως.



## 7 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αζά, Μ., Τρισδιάστατη χαρτογραφική αναπαράσταση αστικών περιοχών με τη χρήση μεταβαλλόμενης προοπτικής: Εφαρμογή στη Θεσσαλονίκη, Μεταπτυχιακή Εργασία, 59 σελίδες, ΠΜΣ «Τεχνικές και Μέθοδοι στην Ανάλυση, Σχεδιασμό και Διαχείριση Χωρικών Δεδομένων» – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2014.
- Bandrova, T., (2005). Innovative Technology for the Creation of 3D Maps, *Data Science Journal*, 4 (6), pp. 53-58.
- Bandrova, T., (2020). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 509 012003. Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/509/1/012003>.
- Bertin, J., (1983). *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps* (1st ed.), ESRI Press, California, USA.
- Chen, J., P. Pyla, and D. Bowman (2004). Testbed evaluation of navigation and text display techniques in an information-rich virtual environment. In *IEEE proceedings on virtual reality*, pp. 181–189.
- Cipriano, G., and M. Gleicher (2008). Text Scaffolds for Effective Surface Labeling, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6), pp. 1675–1682.
- Constantinescu, Z., (2000). Levels of Detail: An Overview, *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 5 (1), pp. 39-52. Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <https://doi.org/10.15388/NA.2000.5.0.15239>.
- Döllner, J., K. Baumann, and K. Hinrichs (2000). Texturing Techniques for Terrain Visualization, In 11<sup>th</sup> Annual IEEE Visualization Conference, pp. 227–234, Salt Lake City, Oct 8–13.
- Dübel, S., M. Röhligh, C. Tominski, and H. Schumann (2017). Visualizing 3D Terrain, Geo-Spatial Data, and Uncertainty, *Informatics*, 4(1):6, 18 pp.
- Glander, T., M. Trapp, and J. Döllner (2011). Concepts for Automatic Generalization of Virtual 3D Landscape Models, *Proceedings of the annual conference of Digital Landscape Architecture (DLA)*, pp. 127–135.
- Haeberling, Ch., (2002). 3D Map Presentation – A Systematic Evaluation of Important Graphic Aspects, *Proceedings of ICA Mountain Cartography Workshop "Mount Hood"*, Mt. Hood, Oregon, May 15–19.
- Haeberling, Ch., (2005). Cartographic Design Principles for 3D Maps – A Contribution to Cartographic Theory, *Proceedings of ICA Congress Mapping Approaches into a Changing World*, A Coruna, Spain, Jul 9–16.
- Haeberling, Ch., H. Bär, and L. Hurni (2008). Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps: A Contribution to an Extended Cartographic Theory, *Cartographica*, 43 (3), pp. 175–188.
- Hajek, P., K. Jedlička, and V. Čada (2016). Principles of Cartographic Design for 3D Maps – Focused on Urban Areas, *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Cartography and GIS*, Vol. 1, pp. 297-307, 13-17 June 2016, Albena, Bulgaria.
- ICA, 2003. A Strategic Plan for the International Cartographic Association 2003-2011, 18 pp.
- Maass, S., and J. Döllner (2006). Efficient View Management for Dynamic Annotation Placement in Virtual Landscapes. In: Butz A., Fisher B., Krüger A., and Olivier P. (Eds.) *Smart Graphics. SG 2006. Lecture Notes in Computer Science*, Vol 4073, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1-12.

- Moradi, D., (2017). 3D Thematic Mapping and Visualization in CesiumJS Virtual Globe, MSc Thesis, Cartography M.Sc., Technical University of Munich, Munich.
- Pasewaldt, S., A. Semmo, M. Trapp, and J. Döllner (2012). Towards Comprehensible Digital 3D Maps, *Proceedings of the Symposium on Service-Oriented Mapping 2012*, pp. 261-276, 22-23 November, Vienna, Austria.
- Pegg, D., (2012). Design Issues with 3D Maps and the Need for 3D Cartographic Design Principles. Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://lazarus.elte.hu/cet/academic/pegg.pdf>.
- Petrovic, D., (2003), Cartographic Design in 3D Maps, *Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Cartographic Conference "Cartographic Renaissance"*, 10-16 August 2003, Durban, South Africa.
- Semmo, A., M. Trapp, J. E. Kyprianidis, and J. Döllner (2012). Interactive Visualization of Generalized Virtual 3D City Models using Level-of-Abstraction Transitions, *Computer Graphics Forum*, 31(3), pp. 885–894.
- Semmo, A., M. Trapp, M. Jobst, and J. Döllner (2015). Cartography-oriented design of 3D geospatial information visualization – Overview and Techniques, *The Cartographic Journal*, 52(2), pp. 95-106.
- Sieber, R., R. Schnürer, R. Eichenberger, and L. Hurni (2013). The Power of 3D Real-Time Visualization in Atlases—Concepts, Techniques, and Implementation. *Proceedings of the 26<sup>th</sup> International Cartographic Conference*, Dresden, Germany, pp. 25-30.
- Terribilini, A., (2001). “Entwicklung von Arbeitsabläufen zur automatischen Erstellung von interaktiven, vektorbasierten topographischen 3D-Karten”, PhD dissertation, Institut für Kartografie, ETH Zürich, Switzerland.
- Vaaraniemi, M., M. Freidank, and R. Westermann (2013). Enhancing the Visibility of Labels in 3D Navigation Maps. In J. Pouliot et al. (Eds.), *Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences*, pp. 23–40. Springer.
- Yonov, N., and T. Bandrova (2018). 3D Maps – Cartographical Aspects, *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Cartography and GIS*, 18-23 June 2018, Sozopol, Bulgaria, pp. 452-463.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Αναφορές για τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα των 3D χαρτών

Θεματικό επίπεδο	Πηγή Δεδομένων	Άδεια παραχώρησης
Αποτυπώματα Κτηρίων	© <a href="#">OpenStreetMap</a> contributors	<a href="#">Open Data Commons Open Database Licence</a> (ODbL)
Οδικό δίκτυο		
Κατοικημένοι τόποι (πολύγωνο)		
Ανεμογεννήτριες	<a href="#">Γεωπληροφοριακό σύστημα PAE</a>	
Φωτοσκίαση Εδάφους για την νήσο Άνδρο	ESRI Image Service Layer, Service Layer Credits: Airbus, USGS, NGA, NASA, CGIAR, NCEAS, NLS, OS, NMA, Geodatastyrelsen, GSA, GSI, and the GIS User Community	
Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους για την νήσο Τήνο	EMODnet Bathymetry Consortium (2020); EMODnet Digital Bathymetry (DTM) <a href="https://doi.org/10.12770/bb6a87dd-e579-4036-abe1-e649cea9881a">https://doi.org/10.12770/bb6a87dd-e579-4036-abe1-e649cea9881a</a>	
Ψηφιακό Μοντέλο Βυθού	EMODnet Bathymetry Consortium (2020); EMODnet Digital Bathymetry (DTM) <a href="https://doi.org/10.12770/bb6a87dd-e579-4036-abe1-e649cea9881a">https://doi.org/10.12770/bb6a87dd-e579-4036-abe1-e649cea9881a</a>	

Θεματικό επίπεδο	Πηγή Συμβολισμού	Άδεια παραχώρησης
Λιμάνι	Wikimedia Commons: <a href="#">Monaneko Japanese Map Symbol (Local Port)</a>	<a href="#">Public Domain</a>
Θρησκευτικός χώρος	Wikimedia Commons: <a href="#">Kappelle (Kugel Schwarz)</a>	<a href="#">CC BY-SA 3.0</a>
Ανεμογεννήτριες	<a href="#">Wind Turbine</a> Author: <a href="#">DoobiDooba</a>	<a href="#">CC BY 4.0</a>
Παραλία	<a href="#">Beach Umbrella – Low Poly</a> Author: <a href="#">Styro</a>	<a href="#">CC BY 4.0</a>
Φάρος	<a href="#">Lighthouse</a> Author: <a href="#">rolenthebreathaker</a>	<a href="#">CC BY 4.0</a>

