



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΣΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ**

**ΣΥΝΤΑΚΤΡΙΑ: ΚΟΡΟΓΙΑΝΝΟΥ ΜΑΡΙΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΚΟΚΛΑ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ, ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.**

ΑΘΗΝΑ, 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνονται οι προπτυχιακές μου σπουδές στο αντικείμενο του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού. Κατά κύριο λόγο, οφείλω να ευχαριστήσω θερμότατα την κα Μαργαρίτα Κόκλα, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας, για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση, το συμβουλευτικό της ρόλο, καθώς και την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γιώργο Πανόπουλο, μέλος Ε.Δι.Π. του Τομέα Χαρτογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για τη βοήθεια και την καθοδήγηση που μου προσέφερε σε θέματα σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση. Συγχρόνως, το σύνολο των καθηγητών και του προσωπικού της Σχολής υπήρξαν υποστηρικτές της ακαδημαϊκής μου σταδιοδρομίας και οφείλω να τους ευχαριστήσω συνολικά.

Ολοκληρώνοντας, δεν θα ήθελα να παραλείψω να ευχαριστήσω τη μητέρα μου και τον αδερφό μου, οι οποίοι πάντα και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στάθηκαν στο πλευρό μου υποστηρικτικά, με αγάπη και υπομονή.

Κορογιάννου Μαρία
Αθήνα, Ιούνιος 2024

ΔΗΛΩΣΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Δηλώνω ότι η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί πλήρως έρευνα και μελέτη δική μου, και κανένα τμήμα της δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την κτήση οποιουδήποτε άλλου τίτλου σπουδών. Κάθε χρήση υλικού έχει πραγματοποιηθεί με σεβασμό στα πνευματικά δικαιώματα του δημιουργού και οι απαραίτητες πηγές έχουν αναφερθεί με ακρίβεια και πληρότητα.

Κορογιάννου Μαρία

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	12
1.2. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	15
3D ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ 3D ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ	15
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
2.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ 3D ΧΑΡΤΗ.....	16
2.3. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ 3D ΧΑΡΤΩΝ.....	18
2.4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ – ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΥΟ ΣΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	20
2.5. ΟΙ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΩΝ 3D ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ.....	21
2.6. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ.....	23
2.7. ΘΕΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ.....	23
2.7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	23
2.7.2. ΧΑΡΤΕΣ ΑΦΗΣ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	30
Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ 3D PRINTING	30
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	30
3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ – ΠΡΟΤΕΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ.....	31
3.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ 3D PRINTING.....	33
3.3.1. ΤΑΧΕΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΤΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΟΠΙΟΥ (Rapid Prototyping and Landscape Modeling).....	33
3.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΕΣΩ 3D PRINTING ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	35
3.4.1. ΜΕΘΟΔΟΙ 3D PRINTING.....	35
3.4.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΝΤΗΓΜΕΝΗΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ (Fused Deposition Manufacturing).....	37
3.4.3. ΥΛΙΚΑ ΜΕΘΟΔΟΥ FDM – ΥΛΙΚΟ PLA.....	39
3.4.4. ΥΛΙΚΑ ΜΕΘΟΔΟΥ FDM – ΥΛΙΚΟ ABS.....	41
3.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ 3D PRINTING.....	42
3.5.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	43

3.5.2. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	45
3.6.3. ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	47
ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ – CLIMATE CHANGE PERFORMANCE INDEX.....	47
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	47
4.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ.....	48
4.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	51
4.4. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ – Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	59
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	59
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	59
5.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ QGIS 3.34.3.....	60
5.2.1. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗΣ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΧΩΡΙΚΩΝ.....	60
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΥΡΩΠΗΣ ΚΑΙ CCRI ΓΙΑ ΤΟ 2024 – ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ.....	60
5.2.2. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΘΕΜΑΤΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ – ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΜΟΡΦΗΣ.....	64
VECTOR ΣΕ RASTER – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	64
5.2.3. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΧΩΡΩΝ ΧΩΡΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	71
5.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ BLENDER 4.0.....	73
5.3.1. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ BLENDER 4.0 – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΩΣΗΣ.....	73
5.3.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΧΑΡΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΜΝΗΜΑΤΟΣ.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	82
ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	82
6.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ ULTIMAKER S5.....	82
6.2. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ULTIMAKER CURA 5.7.2.....	84
6.3. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΕΚΤΥΠΩΣΕΙΣ.....	91
6.4. ΤΕΛΙΚΕΣ ΕΚΤΥΠΩΣΕΙΣ.....	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	100
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	100
7.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

7.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ – ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	107

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1: 3D μοντέλο τμήματος της πόλης Βάρνα.....	15
Εικόνα 2: Οπτικοποίηση και ερμηνεία 3D σκηνών με βάση επίπεδες απεικονίσεις των 3D αντικειμένων.....	18
Εικόνα 3: Φωτορεαλιστική εικόνα που απεικονίζει την Ιρλανδία.....	21
Εικόνα 4: Εσωτερική μετανάστευση στην Ουγγαρία, στατικός χάρτης.....	26
Εικόνα 5: Μέση βροχόπτωση μέσω μετεωρολογικών μοντέλων σε τρεις περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2099) για ένα τμήμα της κεντρικής Ευρώπης.....	27
Εικόνα 6: Ωκεάνια ρεύματα, δυναμικός χάρτης.....	28
Εικόνα 7: Ανάγλυφος χάρτης της Ευρώπης.....	32
Εικόνα 8: Τμήμα τοπογραφικού ανάγλυφου χάρτη.....	32
Εικόνα 9: Rapid Prototyping στο Ινστιτούτο Γεωμετρίας, Πανεπιστήμιο Τεχνολογίας, Δρέσδη, Γερμανία.....	34
Εικόνα 10: Υποεπιφανειακή χάραξη με χρήση laser ενός ορεινού όγκου γύρω από το Großglockner (3798m).....	35
Εικόνα 11: Πλακίδιο τοπογραφικού μοντέλου της πανεπιστημιούπολη του Mansfield, κλίμακα 1:6000.....	36
Εικόνα 12: Γραφική αναπαράσταση μεθόδου FDM.....	38
Εικόνα 13: Κύκλος δημιουργίας και αποσύνθεσης του υλικού PLA.....	39
Εικόνα 14: Διάγραμμα που απεικονίζει τις ιδιότητες του πολυμερούς PLA.....	40
Εικόνα 15: Διάγραμμα που απεικονίζει τις ιδιότητες του ABS.....	42
Εικόνα 16: Συνιστώσες του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης.....	49
Εικόνα 17: Διάγραμμα απεικόνισης της συσχέτισης των τεσσάρων συνιστωσών του ΔΚΕ.....	51
Εικόνα 18: Παγκόσμιος χάρτης του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης 2024.....	54
Εικόνα 19: Πίνακας κατάταξης των χωρών βάσει του ΔΚΕ 2024.....	56
Εικόνα 20: Παγκόσμιος χάρτης του ΔΚΕ για το 2024 και η θέση της Ελλάδας.....	57
Εικόνα 21: Παγκόσμιος Προϋπολογισμός σε Άνθρακα, δεδομένα 2017.....	58
Εικόνα 22: Η επίσημη ιστοσελίδα της Eurostat.....	60

Εικόνα 23: Εισαγωγή τιμών ΔΚΕ 2024 ως πεδίο στο θεματικό επίπεδο των χωρών.....	62
Εικόνα 24: Τελικά γεωχωρικά δεδομένα Ευρώπης και ΔΚΕ 2024.....	63
Εικόνα 25: Τελική περιοχή μελέτης και δισδιάστατη απεικόνιση του ΔΚΕ 2024 στο περιβάλλον QGIS.....	65
Εικόνα 26: Εργαλείο Rasterization στο λογισμικό QGIS.....	67
Εικόνα 27: Τελικές εικόνες Raster των δύο τμημάτων του χάρτη.....	67
Εικόνα 28: Εργαλείο DEM to 3D για το δυτικό τμήμα.....	68
Εικόνα 29: Εργαλείο DEM to 3D για το ανατολικό τμήμα.....	68
Εικόνα 30: Τρισδιάστατο μοντέλο δυτικού τμήματος περιοχής μελέτης.....	70
Εικόνα 31: Τρισδιάστατο μοντέλο ανατολικού τμήματος περιοχής μελέτης.....	70
Εικόνα 32: Η συνολική περιοχή μελέτης και οι χώρες που δεν έχουν δεδομένα του ΔΚΕ 2024.....	72
Εικόνα 33: Δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου των χωρών χωρίς δεδομένα.....	73
Εικόνα 34: Δημιουργία της εικόνας Raster των ορίων των χωρών χωρίς δεδομένα.....	73
Εικόνα 35: Εισαγωγή των δύο μοντέλων στο περιβάλλον Blender.....	75
Εικόνα 36: Δοκιμαστικό τρισδιάστατο μοντέλο δυτικού τμήματος περιοχής μελέτης.....	76
Εικόνα 37: Τελική ένωση (κουμπί) των τρισδιάστατων μοντέλων.....	76
Εικόνα 38: Τελικό τρισδιάστατο μοντέλο αριστερού τμήματος χάρτη.....	78
Εικόνα 39: Τελικό τρισδιάστατο μοντέλο δεξιού τμήματος χάρτη.....	78
Εικόνα 40: Τελικό τρισδιάστατο μοντέλο υπομνήματος και περιγραφικών χαρακτηριστικών.....	81
Εικόνα 41: Εκτυπωτής Ultimaker S5 στην εμπορική έκθεση Hannover Messe.....	82
Εικόνα 42: Βασικά χαρακτηριστικά ενός εκτυπωτή Ultimaker, γενιάς S2.....	84
Εικόνα 43: Το περιβάλλον παραμετροποίησης μιας τρισδιάστατης εκτύπωσης, Ultimaker Cura 5.7.2.....	85
Εικόνα 44: Παραδείγματα μοντέλων παραγόμενα με τρεις διαφορετικές τιμές Ύψους Επιπέδου.....	86
Εικόνα 45: Τα μοτίβα πλήρωσης (Infill patterns) που παρέχονται στο λογισμικό Cura.....	87

Εικόνα 46: Οι τρεις τύποι πρόσφυσης πλάκας κατασκευής (Build Plate Adhesion) στο λογισμικό Cura.....	89
Εικόνα 47: Τεμαχισμός (Slice) τρισδιάστατου μοντέλου στο περιβάλλον Cura 5.7.2.....	90
Εικόνα 48: Ο εκτυπωτής Ultimaker S5 του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας.....	91
Εικόνα 49: Η οθόνη αφής του εκτυπωτή Ultimaker S5.....	92
Εικόνα 50: Η πρώτη δοκιμαστική εκτύπωση του αριστερού τμήματος του χάρτη.....	93
Εικόνα 51: Δοκιμαστική εκτύπωση τελικής ένωσης (κουμπιού).....	94
Εικόνα 52: Δοκιμαστική εκτύπωση τμήματος του υπομνήματος με τα γράμματα χαραγμένα.....	94
Εικόνα 53: Δοκιμαστική εκτύπωση τμήματος του υπομνήματος με τα γράμματα προεξεχόμενα.....	94
Εικόνα 54: Τελικό εκτυπωμένο αριστερό τμήμα του χάρτη ΔΚΕ 2024.....	96
Εικόνα 55: Τελικό εκτυπωμένο δεξί τμήμα του χάρτη ΔΚΕ 2024.....	97
Εικόνα 56: Τελικό εκτυπωμένο υπόμνημα του χάρτη ΔΚΕ 2024.....	98
Εικόνα 57: Τελικός τρισδιάστατος χωροπληθής χάρτης ΔΚΕ 2024.....	99
Διάγραμμα 1: Διαγραμματική απεικόνιση της δημιουργίας του τρισδιάστατου χάρτη.....	60

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση της δυνατότητας απεικόνισης ενός χωρικού φαινομένου με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Στο πλαίσιο της εργασίας απεικονίζεται μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης ο Δείκτης Κλιματικής Επίδοσης (Climate Change Performance Index) που εισήγαγε το γερμανικό ινστιτούτο Germanwatch, ως ένα ιδιαίτερα σημαντικό και χρήσιμο εργαλείο αξιολόγησης και άσκησης κριτικής στις χώρες για το βαθμό στον οποίο περιορίζουν τους ρύπους τους και τις πολιτικές που λαμβάνουν για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Συγχρόνως, επιδιώκει να αποτελέσει και ένα εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων και τον σχεδιασμό των εν λόγω πολιτικών.

Η διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάδειξη του ίδιου του φαινομένου μέσω της τρισδιάστατης απεικόνισής του, αλλά κυρίως των πλεονεκτημάτων και προκλήσεων που παρουσιάζει η τρισδιάστατη χαρτογραφική απεικόνιση και εκτύπωση.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to evaluate the possibility of simulating a spatial phenomenon with the method of three-dimensional visualization as a result of printing.

The paper illustrates through a three-dimensional print the Climate Change Performance Index introduced by the German institute Germanwatch, as a particularly important and useful tool for evaluating and criticizing countries for the extent to which they reduce their emissions and the policies they take to tackle climate change. At the same time, it seeks to be a tool for decision-making and the design of these policies.

The diploma thesis aims to highlight the phenomenon itself through its three-dimensional visualization, but mainly the advantages and challenges presented by three-dimensional cartographic imaging and printing.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αδιαμφισβήτητα, οι χάρτες αποτελούν το πιο σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση του γεωγραφικού χώρου, παρουσιάζοντας συνοπτικά περίπλοκα δεδομένα με στόχο την ανάλυση, την ερμηνεία και την πρόβλεψη τάσεων. Όπως και κάθε άλλη επιστήμη, η χαρτογραφία βρίσκεται σε τροχιά αλλαγών με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών. Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν επιτρέψει την απεικόνιση του χώρου με αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, οι οποίες ενσωματώνονται σε σύγχρονα προγράμματα χαρτογραφικής εκπαίδευσης (Klonari, 2012).

Από τις αρχές του 19ου αιώνα οι χαρτογράφοι καταφέρνουν να απεικονίζουν μια τρισδιάστατη επιφάνεια σε δύο διαστάσεις χρησιμοποιώντας τις ισοϋψείς καμπύλες (Wiegand, 2006). Σήμερα, με την ταχεία εξέλιξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων χάρτη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τρισδιάστατοι θεματικοί χάρτες, όπου ένα φαινόμενο μπορεί να απεικονιστεί με τη μορφή της τρίτης διάστασης ενός χάρτη. Πλέον, ένα τέτοιο μοντέλο χάρτη μπορεί να παρουσιαστεί ως αποτέλεσμα τρισδιάστατης εκτύπωσης από ειδικό εκτυπωτή.

Σκοπό της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση της χαρτογραφικής απόδοσης του φαινομένου του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης των ευρωπαϊκών χωρών ως παράγωγο τρισδιάστατης εκτύπωσης. Συγχρόνως, αναλύονται και αξιολογούνται τα σχετικά εργαλεία, οι προκλήσεις και τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη διαδικασία.

1.2. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στη συγκεκριμένη υποενότητα, παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα επιμέρους κεφάλαια που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια της Διπλωματικής Εργασίας:

Στο **Κεφάλαιο 2**, αναφέρονται κάποια γενικά στοιχεία που σχετίζονται με την επιστήμη της Χαρτογραφίας στις τρεις διαστάσεις. Ειδικότερα, παρουσιάζονται οι δυνατότητες ενός χάρτη τριών διαστάσεων σε σχέση με τον αντίστοιχο των δύο διαστάσεων, οι σκοποί και οι εφαρμογές στις οποίες μπορούν να εξυπηρετήσουν τέτοιες απεικονίσεις, καθώς παραδείγματα ορισμένων μεθόδων τρισδιάστατης απεικόνισης. Επιπλέον, γίνεται προσπάθεια να εξηγηθούν οι οπτικές μεταβλητές ενός τρισδιάστατου χάρτη, όπως και οι τεχνολογίες γύρω από τη δημιουργία του. Επιπλέον, αναφέρονται επιγραμματικά οι κατηγορίες θεματικών απεικονίσεων, παρουσιάζονται οι τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης στους θεματικούς χάρτες, όπως και ορισμένα παραδείγματα τρισδιάστατων θεματικών χαρτών.

Κατά το **Κεφάλαιο 3**, πραγματοποιείται η εισαγωγή στην τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing). Αναφέρονται επιγραμματικά το ιστορικό υπόβαθρο και οι βασικές αρχές, όπως και ορισμένα παραδείγματα εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Συγχρόνως, παρουσιάζονται οι μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης, ενώ παρουσιάζεται και αναλύεται ειδικότερα και σε βάθος η μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία για την κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου απεικόνισης του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης, δηλαδή η μέθοδος FDM (Fused deposition modelling), όπως επίσης και τα βασικότερα υλικά που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους εκτυπώσεις. Τέλος, παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τρισδιάστατων εκτυπώσεων, όπως και ορισμένες βελτιωτικές προτάσεις.

Στο **Κεφάλαιο 4**, παρουσιάζεται ο Δείκτης Κλιματικής Επίδοσης, ο οποίος αποτυπώθηκε στον τρισδιάστατο χάρτη, που προέκυψε από τη συγκεκριμένη μελέτη. Γίνεται μια εισαγωγή στον Δείκτη και τον σκοπό δημιουργίας του. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού του, οι επιμέρους μεταβλητές που τον συνθέτουν και τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Τέλος, αναφέρεται η κατάταξη των χωρών για το 2024 και η θέση της Ελλάδας, και συγχρόνως, οι πολιτικές που λαμβάνει σήμερα η χώρα μας για την Κλιματική Αλλαγή.

Κατά το **Κεφάλαιο 5**, αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε από την προετοιμασία του χάρτη έως την εξαγωγή του σε αρχείο μορφής STL, προτού είναι έτοιμο για να εισέλθει στον τρισδιάστατο εκτυπωτή Ultimaker S5 του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας της Σχολής ΑΤΜ-ΜΓ. Με το πέρας της διαδικασίας αυτής τα παραχθέντα αρχεία μορφής STL, εισήχθησαν στο λογισμικό Blender, ώστε να γίνει οποιαδήποτε παρέμβαση χρειαζόταν και να προστεθούν τα απαραίτητα χαρτογραφικά στοιχεία, ώστε να προκύψει το υπόμνημα. Ολοκληρώνοντας, εξήχθησαν τα τρία τελικά τρισδιάστατα μοντέλα STL, αυτή τη φορά έτοιμα για τρισδιάστατη εκτύπωση.

Στο **Κεφάλαιο 6**, περιγράφεται η διαδικασία εκτύπωσης των μοντέλων από τον 3D εκτυπωτή Ultimaker S5. Αρχικά, γίνεται μια συνοπτική περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών του εκτυπωτή Ultimaker S5, ούτως ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα των δυνατοτήτων της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το αρχείο STL εισήχθη στο περιβάλλον του λογισμικού Ultimaker Cura 5.7.2, ώστε να καθοριστούν οι απαραίτητες παράμετροι της εκτύπωσης για να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα, συναρτήσει χρόνου και ποιότητας. Αναλύεται ο ρόλος της κάθε παραμέτρου που αξιοποιήθηκε μαζί με την τιμή η οποία ορίστηκε για τη περίπτωση του μοντέλου. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τόσο των δοκιμαστικών, όσο και των τελικών εκτυπώσεων, από τη πρώτη γνωριμία και δοκιμή εκτύπωσης έως το τελικό βελτιστοποιημένο αποτέλεσμα των τριών τμημάτων.

Στο **Κεφάλαιο 7**, παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας, αναφορικά, τόσο με το πεδίο της Χαρτογραφίας και ειδικότερα της Θεματικής, όσο και με την τρισδιάστατη απεικόνιση, ενώ εισάγονται νέα πεδία, τα οποία θα μπορούσε να λάβει υπόψη της και να εργαστεί επί αυτών, μια μελλοντική έρευνα, ώστε να εξελίξει ακόμα περισσότερο την τρισδιάστατη χαρτογραφική απεικόνιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

3D ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ 3D ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Χαρτογραφία αποτελεί συγχρόνως μια από τις πιο αρχαίες αλλά και πιο σύγχρονες επιστήμες. Οι νέες τρισδιάστατες τεχνολογίες και οι εφαρμογές των σύγχρονων τεχνικών αποδεικνύουν την ανάπτυξη της επιστήμης της Χαρτογραφίας. Η έρευνα και η ανάπτυξη των τρισδιάστατων χαρτών είναι πρόκληση για κάποιον που επιδιώκει να διαμοιράσει γεωχωρικές πληροφορίες προς τους χρήστες με έναν πιο ελκυστικό τρόπο. Ένας νέος τρόπος να επιτευχθεί αυτός ο στόχος είναι η αξιοποίηση των χαρτογραφικών αρχών για τη δημιουργία ενός 3D χάρτη.

Οι πληροφορίες που παρέχει η γήινη επιφάνεια μπορούν να συλλεχθούν από ποικίλες πηγές όπως τηλεπισκοπικά δεδομένα, δεδομένα GPS, φωτογραμμετρικές ή επιτόπιες μετρήσεις. Σήμερα, με την εξέλιξη των χαρτογραφικών εργαλείων δίνεται η δυνατότητα τρισδιάστατων απεικονίσεων τέτοιων δεδομένων, όπως είναι τα τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων. Τέτοιου είδους μοντέλα διευκολύνουν την κατανόηση του πραγματικού κόσμου, ακόμα και από τους μη ειδικούς χρήστες. Η βελτίωση του φωτορεαλισμού των 3D μοντέλων συμβάλλει στη διευρυμένη προσβασιμότητα σε ένα φάσμα χρηστών, από νεότερους μαθητές ως υψηλών ικανοτήτων ειδικούς διαφόρων τομέων της επιστήμης (Bandrona et al., 2012).



Εικόνα 1: 3D μοντέλο τμήματος της πόλης Βάρνα (DavGeo, n.d.)

2.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ 3D ΧΑΡΤΗ

Η ανάγκη για την ύπαρξη της έννοιας του “πραγματικού” 3D στη Χαρτογραφία έχει διαπιστωθεί και επιβεβαιωθεί ήδη από τις δεκαετίες του '70 και του '80, διότι η έννοια του ψεύδο-3D ή αλλιώς 2.5D ήταν ήδη γνωστή. Οι αποκαλούμενες ψευδο-3D απεικονίσεις έχουν τη δυνατότητα να αποδώσουν προοπτικά και μονοσκοπικά σε επίπεδες επιφάνειες, όπως για παράδειγμα σε μια οθόνη υπολογιστή. Από την άλλη, οι πραγματικά 3D απεικονίσεις μπορούν να είναι αποτέλεσμα παράλλαξης (parallax-3D) ή μια πλήρης τρισδιάστατη μοντελοποίηση (full 3D) (Buchroithner 2013).

Οι Buchroithner και Knust ορίζουν κάθε εικόνα και ενσάρκωση του πραγματικού κόσμου, η οποία μπορεί να γίνει ορατή στερεοσκοπικά, όχι όμως μόνο αποκλειστικά λόγω της προοπτικής θέασης, ως “πραγματικά 3D” εικόνα. Οι στερεοσκοπικές παρουσιάσεις μπορούν να είναι αναλογικές ή ψηφιακές. Επιπλέον, μπορούν να διακριθούν σε αυτοστερεοσκοπικές και μη-αυτοστερεοσκοπικές, ανάλογα με το αν απαιτούν πρόσθετα μέσα προβολής, όπως είναι τα γυαλιά, για την αυτόματη χωρική αντίληψη. Ειδικότερα, ο Buchroithner προσδιορίζει μοναδικά τον σχετικά καινούργιο όρο, “3D Chartography”, ως το πεδίο της χαρτογραφίας, το οποίο περιλαμβάνει κλασσικές τρισδιάστατες, σχετιζόμενες με φυσικούς χάρτες, ψευδο-3D και πραγματικές τρισδιάστατες χαρτογραφικές απεικονίσεις. Αυτός ο ορισμός είναι ένας από τους πρώτους καταγεγραμμένους στον συγκεκριμένο τομέα της χαρτογραφίας. Ωστόσο, είναι σαφές ότι δεν περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα απεικονίσεων, το οποίο παραμένει αδιευκρίνιστο. (Buchroithner, 2013)

Ο πλέον ολοκληρωμένος ορισμός για έναν “3D χάρτη”, εκφρασμένος από τον Döllner (2001), περιγράφει την έννοια από μια πιο δημιουργική και προσανατολισμένη στο χρήστη σκοπιά. Αναφέρει ότι οι διαδραστικοί (δυναμικοί) 3D χάρτες μπορούν να γίνουν κατανοητοί ως αναπαραστάσεις, οι οποίες απεικονίζουν χωρικά δεδομένα και διαδικασίες στη βάση ενός ψηφιακού μοντέλου τριών διαστάσεων, δημιουργημένο σε υπολογιστή. Επιπλέον, η σύνθεση του χάρτη γίνεται δυναμικά ανάλογα με την οπτική συνθήκη, τις προτιμήσεις και τη συμπεριφορά του εκάστοτε χρήστη.

Η έννοια του 3D χρησιμοποιείται στον κλάδο της σύγχρονης χαρτογραφίας και νέα τρισδιάστατα χαρτογραφικά προϊόντα κάνουν την εμφάνισή τους, όπως μοντέλα πόλης και τρισδιάστατοι χάρτες. Αυτή η νέα συνθήκη δεν αλλάζει μόνο τα μέσα επικοινωνίας με το κοινό, αλλά επίσης φέρνει καινοτομίες στις εργασίες και τους ρόλους των χαρτογράφων. Σύμφωνα με τον Häberling (2005), οι σύγχρονες τρισδιάστατες απεικονίσεις καθορίζονται λιγότερο από τη διαίσθηση και τη δημιουργικότητα του δημιουργού (χαρτογράφου). Αντιθέτως, εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, ψηφιακών και μη, αλλά και τις δυνατότητες του λογισμικού ή ειδικών συσκευών.

Ο όρος “χάρτης” έχει πολλές και διαφορετικές ερμηνείες, οι οποίες έχουν αναλυθεί μέσα στους αιώνες ύπαρξης της επιστήμης της χαρτογραφίας. Για τον προσδιορισμό του όρου “3D χάρτης”, η πλέον κατάλληλη περιγραφή μπορεί να αναζητηθεί σε μελέτες που αφορούν τις τρισδιάστατες απεικονίσεις.

Ο χάρτης θα μπορούσε να εκφραστεί ως:

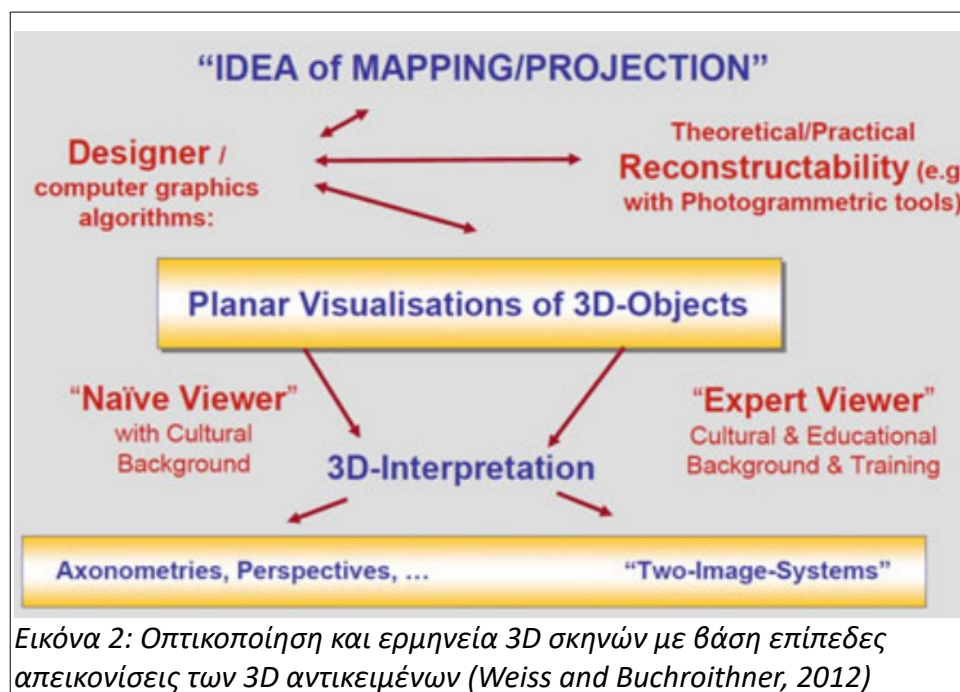
1. Μια αναπαράσταση ή της γεωγραφικής πραγματικότητας, ένα εργαλείο για την παρουσίαση της γεωγραφικής πληροφορίας με τέτοιο τρόπο που να είναι οπτικός, ψηφιακός ή απτικός (ICA, 1992).
2. Μια συμβολική εικόνα της γεωγραφικής πραγματικότητας, παρουσιάζοντας επιλεγμένα χαρακτηριστικά, που προκύπτει από τις δημιουργικές προσπάθειες των χαρτογράφων και σχεδιάζεται με σκοπό τη χρήση όταν οι χωρικές σχέσεις έχουν ιδιαίτερη σημασία (Wood, 1993).
3. Οι χάρτες χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση γεωχωρικών δεδομένων, τα οποία αναφέρονται στην τοποθεσία ή τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων ή των φαινομένων που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια (Kraak & Ormeling, 2011).

Συγχρόνως, με γνώμονα τους παραπάνω ορισμούς του παραδοσιακού χάρτη, ένας 3D χάρτης ορίζεται ως:

1. Μια ψηφιακή, μαθηματικά ορισμένη, τρισδιάστατη απεικόνιση της Γης, επιφανειών, αντικειμένων και φαινομένων της φύσης ή της κοινωνίας. Απεικονιζόμενες οντότητες και φαινόμενα σχεδιάζονται, οπτικοποιούνται και ταξινομούνται με γνώμονα ένα συγκεκριμένο σκοπό (Bandrova et al., 2012).
2. Μια σύγχρονη, παραγμένη στον υπολογιστή, προοπτική όψη με χαρτογραφικό περιεχόμενο (Häberling, 2005).

3. Μια γενικευμένη απεικόνιση μιας συγκεκριμένης περιοχής, χρησιμοποιώντας συμβολισμό, ώστε να εικονογραφηθούν φυσικά χαρακτηριστικά (Häberling et al., 2008).

Η Εικόνα 2 περιγράφει τη διαδικασία με την οποία μια χαρτογραφική ιδέα ερμηνεύεται χωρικά από τον χρήστη μέσω μιας επίπεδης αναπαράστασης του σχεδιαστή. Μια τέτοια αναπαράσταση των φυσικών τρισδιάστατων αντικειμένων αποτελεί τη σύνδεση των εννοιών, των αλγορίθμων και γενικότερα των μέσων των γραφικών υπολογιστών και/ή των φωτογραμμετρικών εργαλείων με την ψυχική ανασυγκρότηση και ερμηνεία των διαφόρων εννοιών του πραγματικού κόσμου. Γίνεται σαφές πως η ερμηνεία του χρήστη επαφίεται τόσο στη χαρτογραφική εμπειρία του όσο και στο πολιτισμικό και εκπαιδευτικό του υπόβαθρο.



2.3. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ 3D ΧΑΡΤΩΝ

Όπως συμβαίνει με όλες τις επιστήμες, είναι σαφές ότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας και των υπολογιστών και η διεύρυνση του φάσματος των υπολογιστικών εργαλείων έχουν επιφέρει πλήθος αλλαγών στις βασικές αρχές της θεωρίας της Χαρτογραφίας. Οι τεχνικές οπτικοποίησης και οι δυνατότητες επικοινωνίας μεταξύ χρήστη και υπολογιστών μπορούν να δημιουργήσουν την

ευκαιρία για σχεδίαση νέων αναπαραστάσεων τοπίων. Επιπλέον, είναι ικανές να επιτρέψουν στους χρήστες την καλύτερη ερμηνεία του εδάφους, γεγονός που επιφέρει πιο αποτελεσματική και ολοκληρωμένη απεικόνιση χωρικών δεδομένων, αντίστοιχη με την παραδοσιακή δισδιάστατη στο χαρτί ή στην οθόνη. Ενώ οι αρχές των παραδοσιακών 2D χαρτών αναπτύσσονται εδώ και δεκαετίες και αποτελούν ισχυρή βάση για τη δημιουργία κάθε χάρτη, αντίστοιχες αρχές για τους 3D χάρτες δεν έχουν καθοριστεί σαφώς.

Μια δυνατότητα που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες είναι η παραγωγή 3D χαρτογραφικών μοντέλων (3D maps) ως μια νέα, εναλλακτική προσέγγιση στην παρουσίαση του τοπίο. Βασικότερο πλεονέκτημα των τρισδιάστατων χαρτών έναντι των δισδιάστατων αποτελεί η πιο ρεαλιστική παρουσίαση της τρίτης διάστασης. Εκτός αυτού, οι 3D χάρτες προσφέρουν πολλές νέες δυνατότητες στη χρήση: προσομοιώσεις μετακινήσεων σε πραγματικό χρόνο, προσομοιώσεις τοποθέτησης νέων αντικειμένων στο τοπίο, αναλύσεις δυναμικών φαινομένων κλπ. Επίσης, είναι δυνατή η εκτύπωση επιλεγμένης θέασης στο χαρτί και η χρησιμοποίησή της ως παραδοσιακό 2D χάρτη. Κατά συνέπεια, ο χρήστης δεν αποτελεί απλώς τον παρατηρητή του χάρτη, αλλά σε ένα τόσο διαδραστικό περιβάλλον γίνεται ο ίδιος ο χαρτογράφος, παρακολουθεί διαφορετικά δυναμικά φαινόμενα και ασφαλώς μπορεί να κινείται μέσα στο εικονικό μοντέλο.

Η οπτικοποίηση την φυσικής επιφάνειας όπου η προβολή του χάρτη δεν είναι αυστηρώς κάθετη, όπως στους κοινούς δισδιάστατους χάρτες, είναι ακόμα μια νέα σπουδαία δυνατότητα. Οι χρήστες μπορούν να παρατηρούν έναν τρισδιάστατο χάρτη στην οθόνη του υπολογιστή, όπου το ενδεδειγμένο λογισμικό του προσφέρει την επιλογή της οπτικής γωνίας (viewpoint) και της απόστασης (distance) θέασης. Οι χαρτογραφικές απεικονίσεις, έχοντας τη δυνατότητα κατευθυνόμενης κεκλιμένης θέασης ως προς το αντίστοιχο οριζόντιο επίπεδο, είναι γνωστές εδώ και αιώνες ως προοπτικοί ή πανοραμικοί χάρτες. Ωστόσο, σήμερα, η τεχνολογία επιτρέπει την προετοιμασία και την παραγωγή τους σύμφωνα με τις αρχές της χαρτογραφικής επιστήμης. Υπάρχει, επίσης, ο τεράστιος όγκος διαθέσιμων αποθηκευμένων τρισδιάστατων τοπογραφικών δεδομένων (3D data), ο οποίος είναι απαραίτητος για κάθε τρισδιάστατη απεικόνιση. Οι πλάγιες απεικονίσεις παρουσιάζουν το τοπίο, όπως το αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος και κατά συνέπεια, προσφέρουν την καλύτερη δυνατή αναγνώριση της μορφολογίας.

2.4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ – ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΥΟ ΣΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

Σε περιβάλλον υπολογιστή, τα δεδομένα συνήθως αποθηκεύονται σε ποικίλες διανυσματικές τοπογραφικές βάσεις δεδομένων, όπου κάθε αντικείμενο είναι δυνατό να αποθηκευτεί ως σημείο, γραμμή ή πολύγωνο. Μοντέλα δεδομένων, όπου κάθε αντικείμενο προσδιορίζεται από ένα ζεύγος συντεταγμένων σε οριζόντιο επίπεδο είναι γνωστό ως δισδιάστατο (2D).

Σύντομα, η ανάγκη για καθορισμό του ύψους μιας οντότητας εμφανίστηκε, από τη στιγμή που τα ύψη είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό του αναγλύφου και κάθε υψομετρική ανάλυση. Το μοντέλο δεδομένων, όπου το ύψος προστίθεται ως χαρακτηριστικό και κάθε σημείο περιγράφεται με ένα σύνολο τριών συντεταγμένων (x,y,z) χαρακτηρίζεται ως 2.5D. Η οπτικοποίηση ενός μοντέλου 2D επιτρέπει τη δημιουργία μιας παραδοσιακής κάτοψης ενός χάρτη, ενώ το τρισδιάστατο μοντέλο προσφέρει διαφορετικές εκδοχές.

Μια τρισδιάστατη απεικόνιση μπορεί να ονομαστεί “χάρτης”, μόνο εάν ικανοποιεί κάποιες προδιαγραφές, που φυσικά έχουν βαρύνουσα σημασία και για τους 2D χάρτες, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

1. Κάθε αντικείμενο που απεικονίζεται προσδιορίζεται από τη γεωγραφική του θέση σε ένα επιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων.
2. Αντικείμενα και φαινόμενα προβάλλονται από τη γήινη επιφάνεια στο επιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων με βάση τις ορισμένες χαρτογραφικές προβολές.
3. Τα χαρτογραφικά σύμβολα αποτελούν το “αλφάβητο” ενός χάρτη και έτσι, προσδιορίζουν κατάλληλα την επικοινωνία και τη μεταφορά πληροφορίας μεταξύ χαρτογράφου και χρήστη.
4. Οι αρχές της χαρτογραφικής γενίκευσης καθορίζουν το επίπεδο λεπτομέρειας της χαρτογραφικής πληροφορίας.

Η διαφορά ενός τρισδιάστατου χάρτη με μια φωτορεαλιστική εικόνα, όπως είναι η εικόνα 3, που αποτελεί μίμηση φυσικών και τεχνητών στοιχείων και στην οποία αναγνωρίζεται η τρίτη διάσταση, είναι ουσιαστικά η πληρότητα των πληροφοριών. Αν και τέτοιες εικόνες είναι αποδεκτές και μπορούν να αποτελέσουν ακριβή παρουσίαση της πραγματικότητας, δεν είναι δυνατό να συμπεριλάβουν την πληροφορία για τη γήινη επιφάνεια και τα διάφορα φαινόμενα που ένας χάρτης είναι δυνατόν να αποδώσει.



Εικόνα 3: Φωτορεαλιστική εικόνα που απεικονίζει την Ιρλανδία (L. Irish, 2020)

2.5. ΟΙ ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΩΝ 3D ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ

Λίγες δεκαετίες πριν, ο χρήστης είχε στην κατοχή του αποκλειστικά δύο διαστάσεων χάρτες και μέσα ώστε να απεικονίζει πραγματικά φαινόμενα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι εκάστοτε μελετητικές και ερευνητικές διαθέσεις του να περιορίζονται σε θέματα επεξεργασίας, ανάλυσης και σχέσεων και συμπεριφορών μεταξύ των οντοτήτων της γήινης επιφάνειας. Σημαντικό είναι ότι πρόσφατες εξελίξεις τόσο σε τεχνολογία υλικού όσο και σε λογισμικού έχουν φανερώσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα στην αποθήκευση και τη συντήρηση μεγάλου όγκου δεδομένων. Όσο οι ανάγκες των χρηστών το επιτάσσουν και η τεχνολογία συνεχώς εξελίσσεται, οι τρισδιάστατες απεικονίσεις θα λαμβάνουν περισσότερο μερίδιο του χαρτογραφικών εργασιών (Bandrona et al., 2012).

Το βασικότερο πλεονέκτημα ενός τρισδιάστατου χαρτογραφικού μοντέλου αποτελεί η δυνατότητά του να χρησιμοποιηθεί για ποικίλους σκοπούς. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια βάση δεδομένων – πηγή για τη δημιουργία διαφορετικών εφαρμογών, που χρησιμοποιούνται σε πληθώρα τομέων και ενδιαφερόντων. Σήμερα, οι 3D χάρτες υψηλής ακρίβειας αποτελούν βοηθητικό εργαλείο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως η τοπογραφία, οι κατασκευές, ο αστικός σχεδιασμός και η διαχείριση της γης. Επιπλέον, χρήστες τέτοιων απεικονίσεων εντοπίζονται σε πεδία όπως η εκπαίδευση, η αρχιτεκτονική, η διαφήμιση, ο τουρισμός, οι μεταφορές, η διαχείριση καταστροφών, η κτηματογράφηση, οι τηλεπικοινωνίες και πολλές άλλες.

Οι χρήστες των τρισδιάστατων χαρτών μπορούν να εντοπιστούν σε ποικίλα πεδία της επιστήμης, της βιομηχανίας και των επικοινωνιών. Οι κυριότεροι τέτοιοι τομείς είναι οι εξής:

1. Πολεοδομικός σχεδιασμός και αρχιτεκτονική – Οι μηχανικοί και οι αρχιτέκτονες χρειάζονται φωτορεαλιστικά μοντέλα κτηρίων και χαρτογραφικά μοντέλα σε περιβάλλον πόλης, με σκοπό τον σχεδιασμό και την οπτικοποίηση νέων που θα μπορούν στη συνέχεια να εισαχθούν σε τρισδιάστατους χάρτες. Κατόπιν, οι χάρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν επί παραδείγματι για τη συλλογή πληροφοριών με στόχο την αποκατάσταση προσόψεων κτηρίων.
2. Εκπαίδευση σε σχολεία και πανεπιστήμια – Ορισμένοι μαθητές βρίσκουν τη χρήση σχολικών ατλάντων και χαρτών σε μαθήματα όπως γεωγραφία και ιστορία αρκετά δύσκολη. Η διδασκαλία μέσω της χρήσης πολυμέσων, που περιλαμβάνει εικόνες, χάρτες, διαγράμματα και ήχο, πόσο μάλλον σε περιβάλλον 3D, μπορεί να αυξήσει την ποιότητα εκμάθησης και να τονώσει το ενδιαφέρον των μαθητών προς τέτοιου είδους γνωστικά αντικείμενα.
3. Σχεδίαση και διαφήμιση – Τρισδιάστατοι τουριστικοί χάρτες είναι δυνατό να προσδώσουν μια πιο ρεαλιστική και εύκολα κατανοητή εντύπωση του αστικού αλλά και του αγροτικού περιβάλλοντος στον χρήστη σε σχέση με τους αντίστοιχους χάρτες δύο διαστάσεων.
4. Μεταφορές – Η προσομοίωση της αστικής κυκλοφορίας σε έναν χάρτη τριών διαστάσεων αποτελεί χρήσιμο εργαλείο και είναι ικανή να επιτρέψει τον καλύτερο σχεδιασμό διαφόρων ειδών χρονοδιαγραμμάτων στις μεταφορές.
5. Τηλεπικοινωνίες – Οι εταιρίες τηλεπικοινωνιών μπορούν να χρησιμοποιήσουν 3D χάρτες και δεδομένα ώστε να υπολογίσουν και να οπτικοποιήσουν την κατανομή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο αστικό περιβάλλον. Τέτοιου είδους χάρτες επιτρέπουν την εύκολη ανάλυση και τον καλύτερο δυνατό σχεδιασμό.

6. Μόλυνση του περιβάλλοντος – Τρισδιάστατοι χάρτες μπορούν να απεικονίσουν την διανομή των διαφόρων ρύπων στην ατμόσφαιρα, να προσομοιώσουν την υπερθέρμανση του πλανήτη, αλλά και την κατανομή του θορύβου.

2.6. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Συνήθως, οι δημιουργοί χαρτών υιοθετούν τις χαρτογραφικές αρχές που ακολουθούν από την εμπειρία τους με τους κλασσικούς χάρτες. Αυτό οφείλεται στην απουσία μιας ολοκληρωμένης και πλήρως καθορισμένης χαρτογραφικής αρχής σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των προσωπικών προτιμήσεων στη σχεδιαστική διαδικασία, η οποία τελικά, οδηγεί σε πολλαπλές αντιφάσεις στο χαρτογραφικό σχεδιαστικό περιβάλλον. Ο χαρτογραφικός σχεδιασμός εξαρτάται από από ένα πλήθος σχεδιαστικών μεταβλητών (Häberling, 2005).

Ο Häberling (2005) ήταν ο πρώτος που προσπάθησε να δημιουργήσει έναν κατάλογο μεταβλητών σχεδιασμού, κυρίως για τοπογραφικούς χάρτες. Αυτές οι μεταβλητές σχεδιασμού 3D χαρτών δομούνται κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού με βάση τα βήματα της μοντελοποίησης (όπως η μοντελοποίηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και των αντικειμένων), του συμβολισμού (όπως η γραφική εμφάνιση και οι υφές των αντικειμένων) και της οπτικοποίησης (όπως η προοπτική, ο φωτισμός και η σκιά).

2.7. ΘΕΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ

2.7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας θεματικός χάρτης αποτελεί μια κατηγορία χάρτη με βασικά γεωγραφικά στοιχεία αλλά και θεματικά στοιχεία, τα οποία τονίζουν έναν χάρτη ενός ή περισσότερων συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Ανάμεσα σε αυτά, τα στοιχεία θεματικής φύσης βασίζονται στα αντίστοιχα θεματικά δεδομένα και δείκτες, όπως και στη χρήση τεχνικών μέσων ταξινόμησης χωρικών στοιχείων. Ο θεματικός χάρτης είναι δυνατό να παρέχει μια ισχυρή επιστημονική βάση με σκοπό

τη λήψη αποφάσεων, ως πρόσθετη δυνατότητα σε αυτή της παρουσίασης της χωρικής κατανομής και των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών ενός θέματος. Συγχρόνως, μπορεί να εκφράσει με τον καλύτερο τρόπο την ανάπτυξη και την εξέλιξη τέτοιου είδους φαινομένων. (Kang et al., 2017)

Σύμφωνα με τους Wang και Wu (2021), η Θεματική Χαρτογραφία θεωρείται πως αποτελείται από τέσσερα στάδια, όσον αφορά στον τρόπο ανάπτυξης της ως επιστήμης. Το πρώτο στάδιο αποτελεί την απαρχή της επιστήμης και προσδιορίζεται μεταξύ των δεκαετιών του '50 και του '60, ενώ το δεύτερο στάδιο αφορά την ουσιαστική ανάπτυξη μεταξύ 1970 και 1980. Κατά το αρχικό στάδιο της ανάπτυξης της Θεματικής Χαρτογραφίας δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες, οι οποίοι αποτύπωναν φυσικά φαινόμενα γεωλογίας, εδάφους, βλάστησης, πανίδας και υδρολογίας. Στη φάση της ανάπτυξης, οι επιστήμονες επικεντρώθηκαν στην εξέλιξη των θεωριών σχετικών με τις τεχνικές μεθόδους, τον αυτοματισμό των χαρτογραφικών διαδικασιών, όπως επίσης και τη δημιουργία θεματικών χαρτών και ατλάντων, βασισμένων σε αεροφωτογραφίες και τηλεπισκοπικά δεδομένα. Κατόπιν, η ταχεία άνοδος και η πραγματική εμβάθυνση θεωρήθηκε πως συντελέστηκε κατά τη δεκαετία του '90 και αφορά στην ευρεία χρήση της τηλεπισκόπησης, των GIS (Geographic Information Systems), των ψηφιακών χαρτών και της προηγμένης τεχνολογίας σχετικής με την τοπογραφία, προκειμένου να αυτοματοποιηθεί η δημιουργία και η παραγωγή θεματικών χαρτών.

Κατά τον Boos G. (2013), ένας παραδοσιακός θεματικός χάρτης αναπαριστά την κατανομή στατιστικών φαινομένων στη φυσική γήινη επιφάνεια, με τη χρήση μεταβλητών όπως το σχήμα, η απόχρωση και η υφή. Σκοπό έχει να επικοινωνήσει στους χρήστες τις υποκείμενες τιμές των μεταβλητών. Συγχρόνως, ένας χάρτης μπορεί να θεωρηθεί θεματικός, όταν γίνεται σαφές πως δίνεται έμφαση στην κατανομή ορισμένων κοινωνικών ή φυσικών φαινομένων.

Οι θεματικοί χάρτες αποτελούν σημαντικό κομμάτι των χαρτογραφικών απεικονίσεων. Η πλειοψηφία των θεματικών χαρτών ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες ή είδη χαρτών (Kessler and Slocum, 2011):

1. Χαρτόγραμμα
2. Χωροπληθής χάρτης

3. Χάρτης κουκίδων
4. Δασυμετρικός χάρτης
5. Χάρτης ρωών
6. Ισαριθμικός χάρτης
7. Αναλογικών συμβόλων

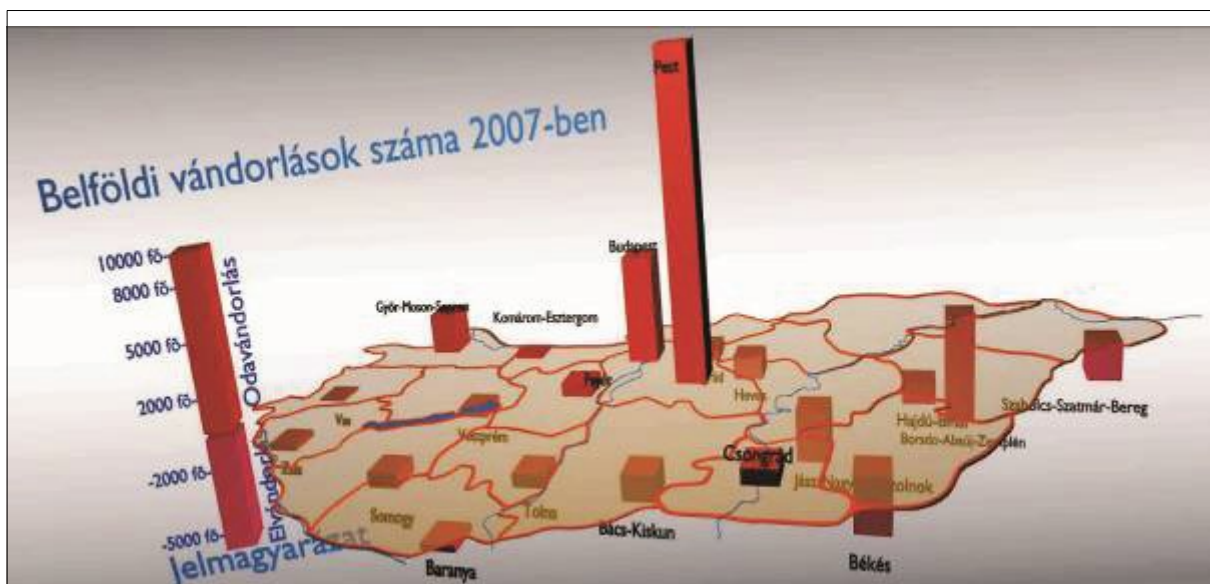
Παρά την πληθώρα διαφορετικών τύπων θεματικών χαρτών, η επιλογή μεθόδου για την εκάστοτε εφαρμογή εξαρτάται από το σκοπό δημιουργίας του χάρτη και από τη φύση των δεδομένων που πρόκειται να οπτικοποιηθούν και να αναδειχθούν. Κατά συνέπεια, οι δοκιμές και προσπάθειες, που μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλματα, καθίστανται απαραίτητες για τη δημιουργία ενός θεματικού χάρτη, στα πλαίσια μιας δυναμικής διαδικασίας γεμάτης προτάσεις και επαληθεύσεις (Morita, 2011).

Τον πιο απλό τρόπο οπτικοποίησης θεματικών δεδομένων αποτελεί η χρήση ενός χάρτη δύο διαστάσεων με σύμβολα και/ή χρώματα, τα οποία αναπαριστούν τις τιμές των δεδομένων (Slocum et al., 2009). Ο πιο διαδεδομένος θεματικός χάρτης είναι ο χωροπληθής. Συγχρόνως, υπάρχουν πιο σύνθετες προσεγγίσεις όπως είναι το χαρτόγραμμα. Η συγκεκριμένη απεικόνιση αποτελεί ένα δημοφιλές και αποτελεσματικό τρόπο οπτικοποίησης χωρικών και μη δεδομένων. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της μεθόδου αποτελεί η παραμόρφωση της γεωγραφικής περιοχής και η μη χρήση συμβόλων ή χρώματος, ώστε η περιοχή να αντιπροσωπεύει άμεσα τη μεταβλητή που αναπαρίσταται (Slocum et al., 2009). Μειονέκτημα συνιστούν οι αλλαγές στη γεωμετρία, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε δυσκολίες ερμηνείας του φαινομένου και του χάρτη γενικότερα.

Οι ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα της τρισδιάστατης απεικόνισης προσφέρουν νέα εργαλεία, τα οποία είναι δυνατό να αξιοποιηθούν στην ανάπτυξη νέων τύπων απεικονίσεων (Morita, 2011). Εντοπίζονται παραδείγματα τρισδιάστατων χαρτών, όπου η χρήση του άξονα z χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση ενός φαινομένου. Τέτοιου είδους χάρτες είναι στην πραγματικότητα 2.5D και όχι πραγματικά τρισδιάστατοι, εφόσον για κάθε θέση με συντεταγμένες x , y αντιστοιχεί μία τιμή z .

Η προσαρμογή των παραδοσιακών μεθόδων δημιουργίας θεματικών χαρτών στις κατάλληλες για την 3D απεικόνιση φαινομένων παραμένει ένας ανεξερεύνητος τομέας της χαρτογραφίας. Οι χαρτογράφοι έχουν πλέον πολλές δυνατότητες για να αναπαραστήσουν δεδομένα που επιθυμούν με σύγχρονες τρισδιάστατες μεθόδους και επιπλέον, να χρησιμοποιούν κινούμενα σχέδια για να αναδεικνύουν τα διάφορα φαινόμενα, όπως για παράδειγμα την πάροδο του χρόνου. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι τρισδιάστατες εκδοχές των πέντε βασικών παραδοσιακών θεματικών απεικονίσεων (Zsoldi, 2011).

Στην Εικόνα 4, φαίνεται η εσωτερική μετανάστευση στις μεγάλες πόλεις της Ουγγαρίας, σε στατικό χάρτη χρησιμοποιώντας **σημειακά τρισδιάστατα σύμβολα**. Πιο αναλυτικά, το ύψος των πρισμάτων αντιπροσωπεύει τον αριθμό μεταναστών. Γίνεται σαφές ότι, όταν το πρίσμα βρίσκεται υπό του επιπέδου της χώρας, τότε η μετανάστευση είναι αρνητική και άρα ο πληθυσμός απομακρύνεται από τη συγκεκριμένη πόλη, ενώ όταν είναι από πάνω, η μετανάστευση στην αντίστοιχη πόλη είναι θετική και ο πληθυσμός μεταναστεύει προς την αντίστοιχη πόλη.

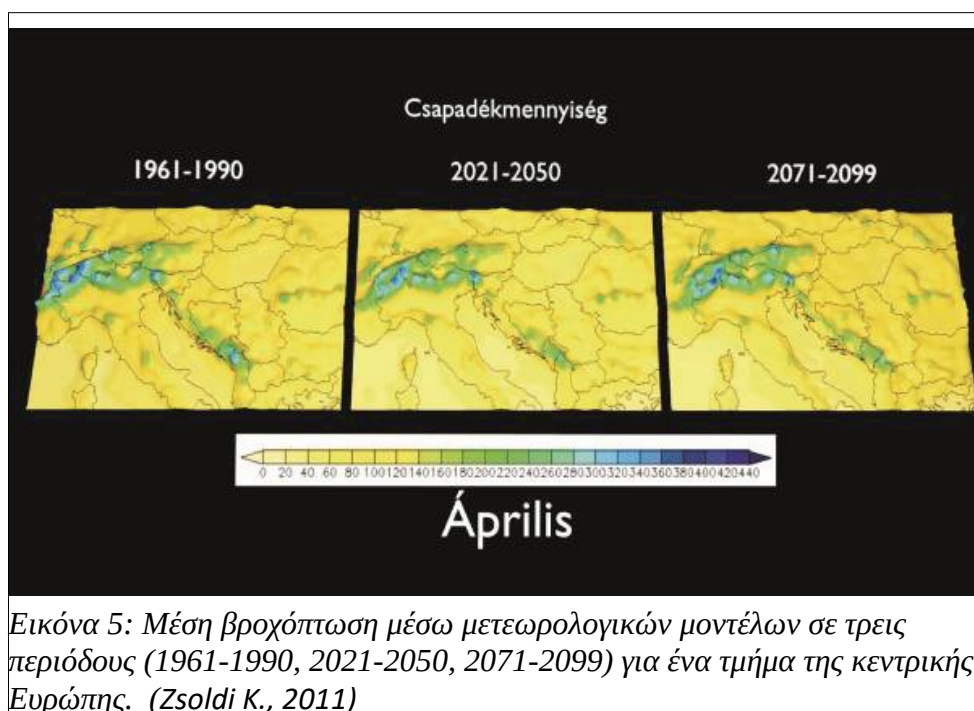


Εικόνα 4: Εσωτερική μετανάστευση στην Ουγγαρία, στατικός χάρτης. Το ύψος των στηλών εκφράζει τον αριθμό των μεταναστών. (Zsoldi K., 2011)

Κάθε χάρτης που δείχνει περιοχές με συγκεκριμένη ιδιότητα/χαρακτηριστικό, όπως είναι το υψόμετρο, η θερμοκρασία, η πυκνοκατοίκηση κλπ.) και το πως αυτή μεταβάλλεται στο χώρο, λέγεται χωρικός θεματικός χάρτης. Ένας τέτοιος χάρτης αποδίδει τη μεταβολή ενός φαινομένου σε έναν τόπο με τη βοήθεια καμπυλών, οι οποίες ονομάζονται **ισαριθμητικές ή Ισαριθμες ή**

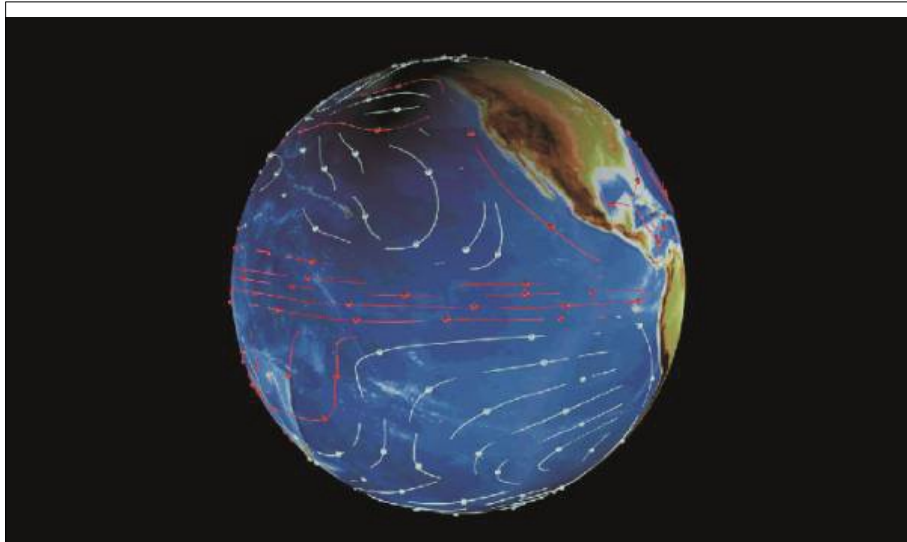
Χωροπληθείς. Κάθε σημείο πάνω στην καμπύλη έχει μία συγκεκριμένη τιμή του φαινομένου. Τέτοιου είδους καμπύλη μπορεί να απεικονίζει το υψόμετρο, τη θερμοκρασία, το βάθος, το ύψος βροχής, το επίπεδο θορύβου κλπ.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, παρουσιάζεται η μέση βροχόπτωση με τη μορφή τρισδιάστατου μοντέλου με τη χρήση ισαριθμικών καμπυλών, σε τμήμα της κεντρικής και νότιας Ευρώπης για τρεις χρονικές περιόδους, μια παρελθοντική και δύο μελλοντικές.



Εικόνα 5: Μέση βροχόπτωση μέσω μετεωρολογικών μοντέλων σε τρεις περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2099) για ένα τμήμα της κεντρικής Ευρώπης. (Zsoldi K., 2011)

Οι **χάρτες ροής** χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της κίνησης ή της μεταφοράς των αντικειμένων με τη χρήση βελών ή γραμμών. Αξιοποιώντας την τεχνολογία 3D, είναι δυνατό να δημιουργηθούν τέτοια βέλη με την οπτική του χώρου και με τη βοήθεια της ψηφιακής τεχνολογίας να μετατραπούν σε κινούμενα σχέδια (animation). Στην Εικόνα 6, παρουσιάζονται ωκεάνια ρεύματα σε δυναμικό χάρτη. Οι γραμμές απεικονίζουν τη διαδρομή του ρεύματος νερού και τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση. Στον πραγματικό δυναμικό χάρτη, παρατηρούνται καλύτερα όλες οι κινήσεις που αναφέρονται παραπάνω, και ταυτόχρονα, η περιστροφή της γης.



Εικόνα 6: Ωκεάνια ρεύματα, δυναμικός χάρτης. Ο χάρτης είναι διαδραστικός και κινούμενος. (Zsoldi K., 2011)

Εκτός από παραδείγματα ψηφιακών θεματικών χαρτών, υπάρχουν και αντίστοιχα παραδείγματα φυσικών (αναλογικών) μοντέλων. Ένα παράδειγμα τρισδιάστατης θεματικής απεικόνισης με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελεί ο χάρτης Σεισμικής Διακινδύνευσης στον Ελλαδικό χώρο με δεδομένο το αντίστοιχο Ευρωπαϊκό μοντέλο του 2020 (Αλεξανδρής, 2023). Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν στο περιβάλλον QGIS και ο τελικός χάρτης προέκυψε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού λογισμικού Blender, στο οποίο δημιουργήθηκε εξ ολοκλήρου και το υπόμνημα. Το τρισδιάστατο μοντέλο του χάρτη που εξήχθη σε μορφή STL, αφού ορίστηκαν οι ρυθμίσεις εκτύπωσης στο λογισμικό Cura που συνοδεύει τέτοιου είδους εφαρμογές, εκτυπώθηκε στον εκτυπωτή Ultimaker S5 του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας της Σχολής ΑΤΜ – ΜΓ του ΕΜΠ.

2.7.2. ΧΑΡΤΕΣ ΑΦΗΣ

Οι Χάρτες Αφής απευθύνονται σε άτομα με μερική ή πλήρη τύφλωση και όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό τέτοιου είδους μέσα επιτρέπουν στον χρήστη να κάνει χρήση την απτικής αίσθησης (Koch, 2012). Τεχνολογίες παραγωγής απτικών χαρτών είναι ο θερμοπλαστικός μετασχηματισμός (thermoplastic transformation), το μικροκαψουλικό χαρτί (microcapsule paper) και η τήξη (fuser), η εκτύπωση αφής (tactile print) και η ανάγλυφη (embossing). Πρόσφατα, νέες τεχνολογίες κάνουν την εμφάνισή τους, με σκοπό να δοθεί η δυνατότητα διαδικτυακής χρήσης, χωρίς ωστόσο να είναι έτοιμα για πρακτική εφαρμογή (Koch, 2012).

Σύμφωνα με μια μελέτη του Τμήματος Γεωπληροφορικής και Χαρτογραφίας του Φινλανδικού Ινστιτούτου Γεωδαισίας, όπου διερευνάται η παραγωγή απτικών μοντέλων τοπίου μέσω ταχείας δημιουργίας πρωτοτύπων για άτομα με προβλήματα όρασης, εντοπίστηκε η δυνατότητα στόχευσης σε μαζική βιομηχανική παραγωγή τέτοιων μοντέλων. Τα δεδομένα που λήφθηκαν για αυτό το σκοπό ήταν ψηφιακές ορθοφωτογραφίες και δεδομένα σάρωσης laser από σύστημα LIDAR. Δημιουργήθηκε ένα DEM (Digital Elevation Model) και ψηφιοποιήθηκαν κτίρια και δρόμοι, ενώ στη συνέχεια όλα τα διανυσματικά (vector) θεματικά επίπεδα μετατράπηκαν σε ψηφιακά (raster) για περαιτέρω επεξεργασία. Τέλος, η υφή (texture) προσαρμόστηκε στις ανάγκες των χρηστών με προβλήματα όρασης, προσπαθώντας να τονιστούν ιδιαίτερα στοιχεία, όπως κτίρια και δρόμοι επιπλέον και με τη χρήση του χρώματος. Το αποτέλεσμα εξήχθη σε αρχείο VRML και τυπώθηκε σε εκτυπωτή Contex DESIGNmate CX™ (Schwarzbach et al., 2012).

Η δημιουργία χαρτών για άτομα με προβλήματα όρασης ξεκίνησε στις αρχές του 19ου αι. και πλέον τόσο η αίσθηση της όρασης όσο και της αφής έχουν κατορθώσει να διευρύνουν το κοινό στο οποίο απευθύνονται οι χάρτες. Στα πλαίσια της Μεταπτυχιακής Εργασίας της Α. Ζαχαρόγιωργα με τίτλο “Απτικοί και πολυαισθητηριακοί χάρτες για άτομα με προβλήματα όρασης” του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών “Γεωπληροφορική” του Ε.Μ.Π., διεξήχθη έρευνα σε μαθητές με προβλήματα όρασης κατά την οποία πραγματοποιήθηκε σύγκριση ορισμένων απτικών χαρτών, οι οποίοι αποτέλεσαν παράγωγο 3D εκτύπωσης και της στερεοαντιγραφικής μεθόδου (Ζαχαρόγιωργα, 2019). Ο 3D εκτυπωμένος παγκόσμιος χάρτης, κλίμακας 1:70.000.000, απεικόνιζε την πυκνότητα πληθυσμού ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και τον πληθυσμό ανά ήπειρο. Το ύψος των ηπείρων αντιπροσωπεύει την αντίστοιχη πυκνότητα πληθυσμού, ενώ στην Ανταρκτική που είχε μηδενική πυκνότητα πληθυσμού δόθηκε το ελάχιστο ύψος, δηλαδή η τιμή 1mm. Για τον 3D εκτυπωμένο χάρτη χρησιμοποιήθηκε πλαστικό υλικό. Συγχρόνως, με τη χρήση κουκίδων επί των πρισμάτων των ηπείρων, αναπαραστάθηκε η απόλυτη τιμή του πληθυσμού. Το υπόμνημα του χάρτη αποτέλεσε ξεχωριστό μοντέλο. Ήταν γραμμένο σε κώδικα Braille και τα πρίσματα των αναγραφόμενων τιμών μπορούσαν να μετακινηθούν. Οι βάσεις των πρισμάτων είχαν είχαν διαφορετικό σχήμα μεταξύ τους, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επανατοποθετεί εύκολα τα πρίσματα στη σωστή τους θέση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ 3D PRINTING

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης ως ένα βασικό μέσο δημιουργίας απτών στοιχείων από ψηφιακά σχέδια έχει αναπτυχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Αυτή η μεγάλη πρόοδος τέτοιων μεθόδων οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ταχύτατη μείωση του κόστους, όπως συμβαίνει πάντα με τις νέες τεχνολογίες (Royte, 2013). Σήμερα, οι μηχανικοί και πολλοί άλλοι επιστήμονες έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν ακριβή πρότυπα. Συγχρόνως, στον τομέα της δημόσιας υγείας επιτρέπεται η ανάπτυξη εξατομικευμένων ιατρικών συσκευών, όπως επίσης δημιουργούνται προοπτικές στην τρέχουσα και μελλοντική εξερεύνηση του διαστήματος.

Οι σχετικοί τεχνικοί περιορισμοί της χρήσης ενός χάρτη δύο διαστάσεων με σκοπό την απεικόνιση ενός τρισδιάστατου φαινομένου, είναι επαρκώς καταγεγραμμένοι και αποσαφηνισμένοι. Οι χαρτογράφοι χρησιμοποιούν ισαριθμικές γραμμές και τεχνικές “φωτοσκίασης”, έτσι ώστε να υπονοήσουν την τρίτη διάσταση σε έναν χάρτη επίπεδης επιφάνειας (Tanaka 1950, Imhof, 1982). Πιο συγκεκριμένα, ένας περιορισμός της χρήσης χαρτών δύο διαστάσεων έγκειται στην αδυναμία συμπερίληψης περισσότερων αισθήσεων πέραν της όρασης στη μελέτη και την ερμηνεία των χαρτών. Για παράδειγμα, η αίσθηση της αφής αποδεικνύεται ότι ενισχύει σημαντικά την εμπειρία και την κατανόηση (Jorntell et al., 2014) και βελτιώνει την αντίληψη (Dunn et al., 2002). Οι ανυψωμένοι απτικοί χάρτες, ένα μέσο που υπάρχει εδώ και αιώνες, είναι ένας βασικός τρόπος με τον οποίο οι χαρτογράφοι έχουν προσπαθήσει να γεφυρώσουν τέτοιες ελλείψεις της παραδοσιακής Χαρτογραφίας. Χάρη στη δυνατότητα δημιουργίας τέτοιων χαρτών, η Χαρτογραφία καθίσταται επιστήμη που εφαρμόζει τη σύγχρονη 3D τεχνολογία, με περιθώρια για περαιτέρω έρευνα της επεξεργασίας των γεωχωρικών δεδομένων και της μετατροπής τους σε 3D μορφή (Shears et al., 2016).

3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ – ΠΡΟΤΕΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Ορισμένοι από τους πρώτους χάρτες που δημιουργήθηκαν έχουν βρεθεί σε τοιχογραφίες σπηλαίων σε περιοχή που σήμερα ανήκει στην Τσεχία. Πρόκειται για σχέδια που χρησιμοποιούν διάφορα σχήματα με σκοπό την αναπαράσταση λόφων, κοιλάδων και άλλων τοπογραφικών οντοτήτων (Imhof, 1982). Ωστόσο, το μόνιμο ζήτημα που καλούνταν να αντιμετωπίσουν οι χαρτογράφοι αφορά στην εύρεση της βέλτιστης μεθόδου χρήσης δισδιάστατων μέσων για την απεικόνιση του τρισδιάστατου κόσμου και άλλων τρισδιάστατων φαινομένων και χαρακτηριστικών. Οι δύο πιο γνωστές εφαρμογές περιλαμβάνουν τις ισοϋψείς καμπύλες (contours) και τις σκιασμένες (hillshade) επιφάνειες (Imhof, 1982). Πιο συγκεκριμένα, οι τοπογραφικοί χάρτες χρησιμοποιούν τις ισοϋψείς για να αποτυπώσουν σημεία του εδάφους με το ίδιο υψόμετρο, ενώ η μέθοδος σκίασης αναγλύφου χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της ψευδαίσθησης των σκιών, οι οποίες υπονοούν την τρίτη διάσταση. Παρόλα αυτά, τέτοιες μέθοδοι αν και παράγουν χάρτες κατάλληλους για ανάλυση από τον χρήστη, αποτυγχάνουν να συμπεριλάβουν την απτική αίσθηση που είναι τόσο σημαντική για την ευρύτερη κατανόηση από το κοινό (Jorntell et al., 2014).

Η δημιουργία ανάγλυφων χαρτών αποτελεί έναν τρόπο αντιμετώπισης εγγενών ζητημάτων της τρισδιάστατης χαρτογράφησης. Ως μέσο, οι ανάγλυφοι χάρτες έχουν περιορισμούς, όντας δαπανηροί, ογκώδεις, δύσχρηστοι στην αναδίπλωση και το τύλιγμα, εύθραυστοι λόγω του πλαστικού φύλλου και συχνά γενικευμένοι προκειμένου να ικανοποιηθούν οι κατασκευαστικοί περιορισμοί (Shears et al., 2016). Παραδείγματα ανάγλυφων χαρτών της Ευρώπης φαίνονται στις Εικόνες 7 και 8.



Εικόνα 7: Ανάγλυφος χάρτης της Ευρώπης (Geobit, 2024)



Εικόνα 8: Τμήμα τοπογραφικού ανάγλυφου χάρτη (Geobit, 2024)

3.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ 3D PRINTING

3.3.1. ΤΑΧΕΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΤΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΟΠΙΟΥ (Rapid Prototyping and Landscape Modeling)

Τα τελευταία χρόνια καθίσταται δυνατή η δημιουργία μοντέλων της φυσικής γήινης επιφάνειας μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα με μεθόδους στερεολιθογραφίας (stereolithography), 3D εκτύπωσης (3D printing) και φρεζαρίσματος (milling). Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες που ανήκουν στην οικογένεια των τεχνικών ταχείας εκτύπωσης (Rase, 2014):

- Απομάκρυνσης ή φρεζαρίσματος (Milling - Michelangelo Method), όπου αφαιρείται υλικό (ξύλο ή πλαστικό), ώστε να σχηματιστεί το επιθυμητό μοντέλο,
- Συγκέντρωσης (Aggregation - Rodin Method), όπου αντιστρόφως με την προηγούμενη τεχνική, ένα μαλακό υλικό, όπως ζελέ ή σκόνη, συσσωρεύεται σε στρώματα, ώστε να δημιουργηθεί το τελικό μοντέλο, είτε με τη βοήθεια της θερμότητας είτε με κάποια κόλλα,
- Μετασχηματισμού (Transformation - Chillida Method), που περιλαμβάνει το σχηματισμό υλικού με τη χρήση θερμότητας και πίεσης, και
- Χαρακτική με laser, κατά την οποία μικροσκοπικά σημεία εντός ενός γυάλινου αντικειμένου, κατόπιν τήξης από μια δέσμη laser, μετατρέπονται σε αδιαφανή (Engraving Laser Etching - Dürer Method).

Παραδείγματα μοντέλων, παραγόμενα με βάση τις αρχές της μεθόδου 3D printing, παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα. Πιο συγκεκριμένα, στην Εικόνα 9, το κεντρικό δείγμα της εικόνας δημιουργήθηκε με έναν 3D εκτυπωτή και απεικονίζει το όρος Eiger Northface στην Ελβετία, με δεδομένα λαμβανόμενα από το Χαρτογραφικό Ινστιτούτο του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου της Δρέσδης στη Γερμανία (Rase, 2014). Για την παραγωγή τέτοιων μοντέλων, η μέθοδος της συγκέντρωσης (Rodin Method) θεωρείται αυτή με τις μεγαλύτερες δυνατότητες. Από την άλλη, η μέθοδος του μετασχηματισμού (Chillida Method) σχηματίζει το μοντέλο μέσω των συνθηκών θερμότητας και πίεσης. Χρησιμοποιείται ένα καλούπι ώστε το θερμοπλαστικό υλικό να μετατραπεί στο επιθυμητό μοντέλο. Σε πρώτη φάση, οι γεωπληροφορίες που αντιστοιχούν στο μοντέλο εκτυπώνονται, λαμβάνοντας υπόψη τις γεωμετρικές παραμέτρους μετά τον μετασχηματισμό. Με αυτόν τον τρόπο, παράγονται μεγάλες σειρές ανάγλυφων απεικονίσεων,

ώστε τα μεμονωμένα αντίγραφα να είναι συγκριτικά πιο φτηνά. Όσον αφορά στη μέθοδο της Χαρακτικής με laser, τα εν λόγω μοντέλα παράγονται με τη χρήση laser, το οποίο χαράσσει αδιαφανή σημεία εντός ενός μπλοκ γυαλιού. Στην Εικόνα 10, απεικονίζεται ένα μικρό δείγμα ενός αναγλύφου με ορεινούς όγκους γύρω από την υψηλότερη κορυφή της Αυστρίας, το Großglockner (3798m) και τον μεγαλύτερο παγετώνα των Ανατολικών Άλπεων, το Pasterze (Rase, 2014).



Εικόνα 9: Rapid Prototyping στο Ινστιτούτο Γεωμετρίας, Πανεπιστήμιο Τεχνολογίας, Δρέσδη, Γερμανία (Weiss and Buchroithner, 2012)



Εικόνα 10: Υποεπιφανειακή χάραξη με χρήση laser ενός ορεινού όγκου γύρω από το Großglockner (3798m) (Weiss and Buchroithner, 2012)

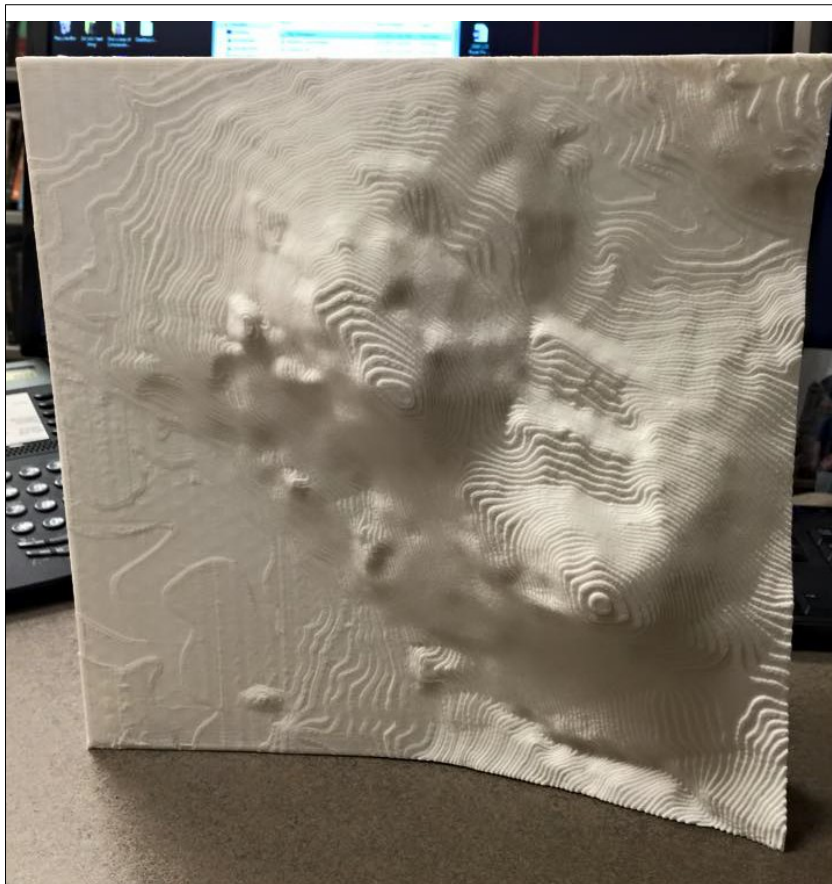
3.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΕΣΩ 3D PRINTING ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

3.4.1. ΜΕΘΟΔΟΙ 3D PRINTING

Για την αντιμετώπιση των δυσχερειών που προκύπτουν στους ανάγλυφους χάρτες δύο διαστάσεων, η πλέον κατάλληλη λύση που προκύπτει είναι η χρήση ενός 3D printer, δηλαδή μιας ελεγχόμενης από υπολογιστή περιφερειακής συσκευής που μπορεί να κατασκευάσει τρισδιάστατα αντικείμενα με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές ενός ψηφιακού σχεδιαστικού προγραμματισμού. Η διαδικασία περιλαμβάνει συνήθως τη χρήση ενός εύπλαστου υλικού, όπως μέταλλο ή πλαστικό, λιωμένο και εξωθούμενο από τη συσκευή για την κατασκευή του χάρτη. Όταν το προϊόν εξάγεται, το υλικό ψύχεται και σκληραίνει, ενώ απομένει ένα λεπτό στρώμα (slice) από το υλικό. Η συσκευή εξακολουθεί να παράγει διατεταγμένες “φέτες” του τυπωμένου υλικού, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός ψηφιακού απτού αντικειμένου, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχει θέσει ο σχεδιαστής (Shears et al., 2016). Στην Εικόνα 11, απεικονίζεται

πλακίδιο-τμήμα ενός τοπογραφικού χάρτη της πανεπιστημιούπολης (campus) του Πανεπιστημίου Mansfield σε κλίμακα 1:6000, παραγόμενος σε 3D printing.

Η μέθοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης ήταν αρχικά γνωστή ως “additive manufacturing” και αναπτύχθηκε στις αρχές του 1980 (redOrbit, 2014). Με την απήχηση της πορείας που ακολούθησαν οι μικροϋπολογιστές τα τελευταία 35 χρόνια, η τεχνολογία γίνεται ολοένα και πιο προσβάσιμη στο ευρύ κοινό, τόσο σε θέμα ποιότητας και καταλληλότητας όσο και σε θέμα κόστους. Χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες του 3D printing, οι παραγωγοί τέτοιων μοντέλων κοινοποιούν και μοιράζονται τις απόψεις και τις μεθοδολογίες τους πάνω στην τρισδιάστατη απεικόνιση.



Εικόνα 11: Πλακίδιο τοπογραφικού μοντέλου της πανεπιστημιούπολης του Mansfield, κλίμακα 1:6000. (Shears et al., 2016)

Από την ανάπτυξη του πρώτου 3D εκτυπωτή κατά τη δεκαετία του 1980, η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει καταστεί μια έννοια, η οποία περιγράφει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών. Τέτοιου είδους τεχνολογίες εκτύπωσης έχουν σήμερα ωριμάσει με τρόπο που τις καθιερώνει όλο και περισσότερο στην κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων. Ακολουθώντας την αρχή της εκτύπωσης κατά στρώμα, όπως προαναφέρθηκε, οι πλέον διαδεδομένοι μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι οι εξής:

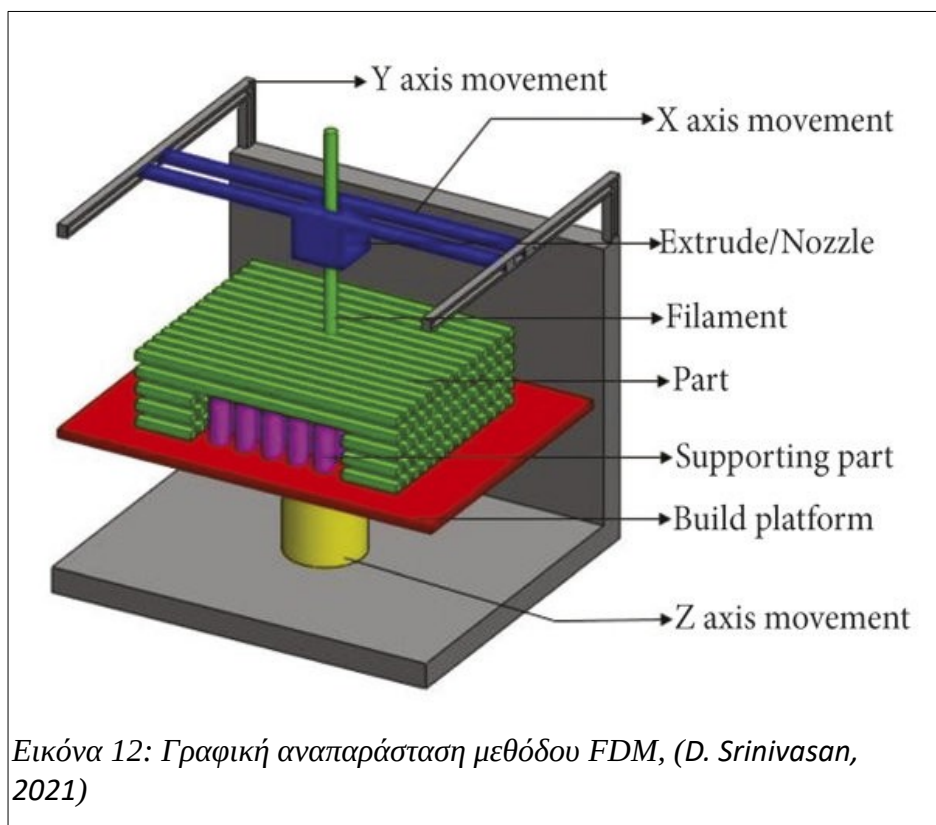
- η Στερεολιθογραφία (Stereolithography – SLA), χρησιμοποιώντας φωτοχημικές διεργασίες, όπου το φως προκαλεί διασταύρωση χημικών μονομερών και ολιγομερών για τον σχηματισμό πολυμερών, τα οποία αποτελούν το σώμα ενός τρισδιάστατου στερεού (Jacobs, 2012),
- η Επιλεκτική Πυροσυσσωμάτωση με laser (Selective Laser Sintering – SLS), η οποία εμπίπτει στην κατηγορία Σύντηξης Σκόνης (Powder Bed) και χρησιμοποιεί μικροσκοπικά σωματίδια σκόνης πολυμερούς υλικού που συγχωνεύονται μέσω θερμότητας από laser υψηλής ισχύος, για να δημιουργήσουν ένα στερεό σώμα (3dsourced.com, 2024),
- η Επιλεκτική Τήξη με laser (Selective Laser Melting – SLM), όπου επίσης χρησιμοποιούνται στρώματα σωματιδίων σκόνης και μέσω της θερμότητας δημιουργούνται μεταλλικά μέρη (Xometry.com, 2024),
- η Τρισδιάστατη Χύτευση (3D Printing Molding – 3DP), όπου παράγοντας καλούπια ή άλλα προσαρμοσμένα εργαλεία δημιουργούνται σύνθετα σχήματα και στη συνέχεια γεμίζονται περιχύνοντας υλικά όπως πλαστικό ή μέταλλο, το οποίο τήκεται και παίρνει το σχήμα του καλουπιού (Altaf et al., 2018),
- η Τεχνική Κατασκευής Συντηγμένης Εναπόθεσης (Fused Deposition Manufacturing – FDM), η οποία αποτελεί την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο και θα αναλυθεί παρακάτω (Haghsefat and Tingting, 2020).

3.4.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΝΤΗΓΜΕΝΗΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ (Fused Deposition Manufacturing)

Η τεχνολογία FDM αποτελεί μια τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης, η οποία αφορά στην εξώθηση υλικού με τη βοήθεια ενός ακροφυσίου. Πιο συγκεκριμένα, το ακροφύσιο παράγει θερμοπλαστικό πολυμερές με τη μορφή νήματος, το οποίο τοποθετεί με τη μορφή στρωμάτων επί της βάσης κατασκευής του εκτυπωτή. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η κεφαλή εκτύπωσης

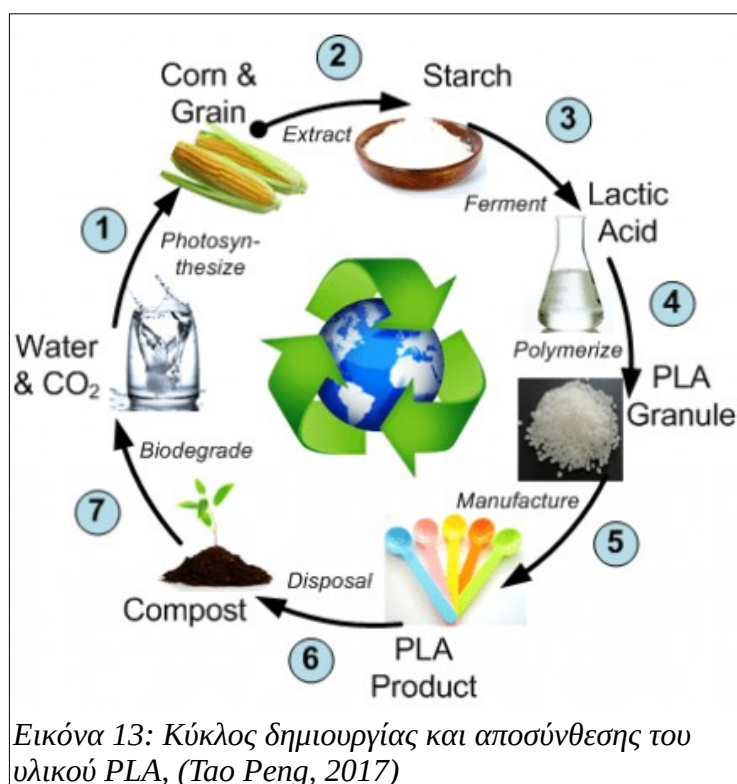
μετακινείται τρισδιάστατα, κατά τους άξονες x , y και z . Όσον αφορά στα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία εκτύπωσης FDM, πρόκειται κατά βάση για θερμοπλαστικά υλικά, τα οποία πέρα από ορισμένες βασικές απαιτήσεις στην επίδοση που πρέπει να καλύπτουν, είναι απαραίτητες και ορισμένες μηχανικές ιδιότητες, όπως η συρρίκνωση. Τα χρησιμοποιούμενα υλικά της εν λόγω μεθόδου διακρίνονται σε υποστηρικτικά υλικά και υλικά χύτευσης, με τα δύο κυριότερα της δεύτερης κατηγορίας να είναι τα PLA και ABS. Τα δύο υλικά χαρακτηρίζονται από ελαφρώς διαφορετική απόδοση και παρουσιάζουν αναμενόμενα προβλήματα στην εκτύπωση, τα οποία απαιτούν επαρκή κατανόηση των χαρακτηριστικών τους (Haghsefat and Tingting, 2020).

Τέλος, η συγκεκριμένη μέθοδος χαρακτηρίζεται από πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες, όπως είναι η ευκολία εκμάθησης και χρήσης του εξοπλισμού και το χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, τόσο των υλικών όσο και του εξοπλισμού. Όλα τα παραπάνω, καθιστούν τη μέθοδο εξαιρετικά αποδοτική σε σύγκριση με τον ανταγωνισμό και ιδιαίτερα προσιτή στην πλειοψηφία των χρηστών για μια ποικιλία εφαρμογών. Από την άλλη, η FDM μειονεκτεί για παράδειγμα σε θέματα ακρίβειας. Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι η τεχνολογία επιδέχεται σημαντικές βελτιώσεις, ωριμάζει και προοδεύει με τον καιρό. (Haghsefat and Tingting, 2020)



3.4.3. ΥΛΙΚΑ ΜΕΘΟΔΟΥ FDM – ΥΛΙΚΟ PLA

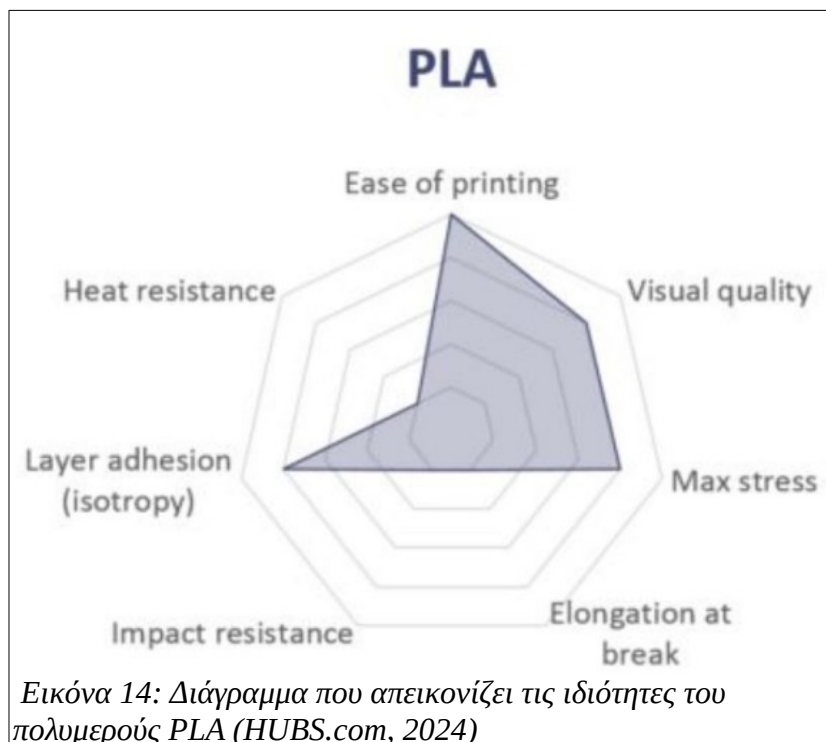
Το υλικό που αποκαλείται Πολυγαλακτικό Οξύ (Polylactic Acid – PLA) αποτελεί αδιαμφισβήτητα το πιο δημοφιλές όταν πρόκειται για τη μέθοδο εκτύπωσης FDM. Πρόκειται για ένα αδιαφανές άοσμο βιοπλαστικό, το οποίο παράγεται από φυτικά άμυλα (plant starches) μέσω μιας βιώσιμης διαδικασίας, συνήθως με τον πολυμερισμό διάνοιξης δακτυλίου (ring opening polymerization). Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία δημιουργίας και αποσύνθεσης, κοινώς ο “κύκλος ζωής”, ενός υλικού κατασκευασμένου με PLA παρουσιάζεται στο Σχήμα 13.



Εικόνα 13: Κύκλος δημιουργίας και αποσύνθεσης του υλικού PLA, (Tao Peng, 2017)

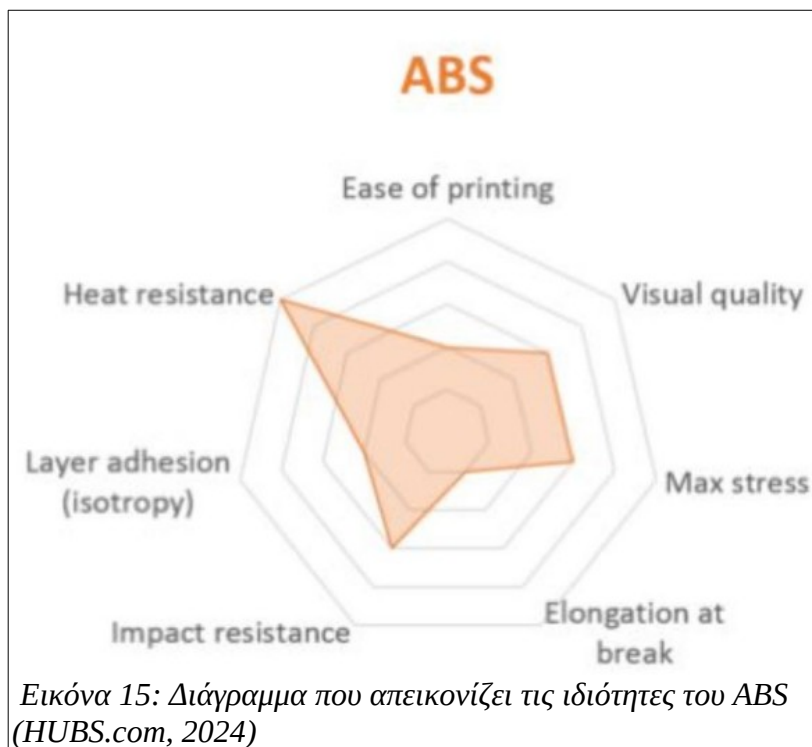
Λόγω της παρασκευής του από ζυμωμένες ουσίες αμύλου, η διαδικασία απαιτεί λιγότερη ενέργεια από την αντίστοιχη παραγωγή θερμοπλαστικών με βάση το πετρέλαιο, γεγονός που το καθιστά φιλικό προς το περιβάλλον. (Xometry.com, 2024) Υπό κατάλληλες συνθήκες, το υλικό δύναται να είναι βιοδιασπώμενο και να αποσυντεθεί στα δομικά του στοιχεία γαλακτικού οξέος, τα οποία είναι μη-τοξικά. Επιπλέον, η θερμοκρασία τήξης του είναι στο εύρος 145–160 °C, η θερμοκρασία εκτύπωσης του ακροφυσίου είναι 180–200 °C και τέλος, η θερμοκρασία της πλάκας θέρμανσης είναι μεταξύ 60–70°C. (Haghsefat and Tingting, 2020)

Χρησιμοποιείται με ευκολία σχεδόν από όλους τους FDM εκτυπωτές, με ελάχιστα αποτυχημένα αποτελέσματα και μια μεγάλη ποικιλία, τόσο σε χρώματα (colours) όσο και σε αναμείξεις (blends). Χάρη στο PLA, πραγματοποιούνται εύκολες προς το χρήστη εκτυπώσεις με καλή ποιότητα στο παραγόμενο προϊόν. (3dsourced.com, 2024) Τέτοιου είδους εκτυπώσεις βρίσκουν εφαρμογή ευρέως σε ιατρικές συσκευές, συσκευές τροφίμων και σε εφαρμογές κατασκευής προσθετικών, καθώς το υλικό είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για κατασκευές που απαιτούν σχετική αντοχή. Ωστόσο, κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί πως το PLA χαρακτηρίζεται από ευθραυστότητα και χαμηλή αντοχή στην κάμψη. Σε συνδυασμό με τη χαμηλή αντοχή στην υγρασία και τις υψηλές θερμοκρασίες, το υλικό παρουσιάζει δυσχέρεια στη συγκόλληση. (Haghsefat and Tingting, 2020) Συμπερασματικά, στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται διάγραμμα των ιδιοτήτων του υλικού PLA, δηλαδή τη βέλτιστη ευκολία εκτύπωσης, την οπτική ποιότητα του αποτελέσματος, την καλή προσκόλληση των εκτυπωμένων επιπέδων (ισοτροπία) και την καλή αντοχή στην πίεση, αλλά και συγχρόνως, την κάκιση αντοχή στη θερμότητα και τις κρούσεις και την επέκταση των σπασιμάτων.



3.4.4. ΥΛΙΚΑ ΜΕΘΟΔΟΥ FDM – ΥΛΙΚΟ ABS

Το υλικό που αποκαλείται Ακρυλονιτρίλιο Βουταδιένιο Στυρόλιο (Acrylonitrile Butadiene Styrene – ABS) αποτελεί ένα ακόμη θερμοπλαστικό υλικό, το οποίο αποτελεί δημοφιλή επιλογή ανάμεσα στις βιομηχανίες της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Με βάση το πετρέλαιο, αποτελείται από τρία μονομερή, το ακρυλονιτρίλιο, το βουταδιένιο και το στυρόλιο και επηρεάζεται από διάφορους διαλύτες και οξέα. Κάτι τέτοιο δεν αποτελεί απαραίτητως μειονέκτημα μιας και προσφέρει την ικανότητα μεταγενέστερης επεξεργασίας με ατμούς ακετόνης, ούτως ώστε να επιτευχθεί ένα λείο και γυαλιστερό φινίρισμα. Χαρακτηρίζεται από καλές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, καθώς και σταθερότητα σε ότι αφορά τις διαστάσεις. Η θερμοκρασία αφετηρίας μιας εκτύπωσης με ABS είναι στο εύρος 210^ο - 240^ο C, ενώ η θερμοκρασία της πλάκας θέρμανσης ξεπερνά τους 80^ο C. Όπως και το PLA, το συγκεκριμένο υλικό δύναται να υποστεί μεταγενέστερη επεξεργασία με γυαλόχαρτο και να βαφτεί με ακρυλικά χρώματα. Τέλος, οι περιπτώσεις κατά τις οποίες επιλέγεται έναντι του PLA σχετίζονται με εφαρμογές που απαιτούν ιδιαίτερα υψηλή αντοχή στη θερμότητα και μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. (Haghsefat and Tingting, 2020). Εν κατακλείδι, στο διάγραμμα της Εικόνας 15 παρουσιάζονται οι ιδιότητες του υλικού ABS, και ειδικότερα, η βέλτιστη αντοχή στη θερμότητα, οι μέτριες επιδόσεις του σε οπτική ποιότητα, αντοχή στην πίεση και τις κρούσεις, αλλά και την ευκολία εκτύπωσης, την επέκταση των σπασιμάτων και την προσκόλληση των εκτυπωμένων επιπέδων (ισοτροπία), όπου δεν λαμβάνει καθόλου καλή βαθμολογία.



3.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ 3D PRINTING

Η σύγχρονη τεχνολογία που αφορά στην οπτικοποίηση με τη χρήση υπολογιστή αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού του τοπίου και της χαρτογραφίας. Ωστόσο, καθίσταται επιτακτική ανάγκη η βελτίωση της αξιοπιστίας και της διαδραστικότητας τέτοιων μεθόδων από τους επιστημονικούς οργανισμούς και τους επαγγελματίες. Προς αυτή την κατεύθυνση, η συνεχώς αναπτυσσόμενη και τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης εμφανίζεται ως μια μέθοδος για τη συνολική βελτίωση της χρήσης της τεχνολογίας στις εφαρμογές απεικόνισης και ανάλυσης του χώρου. Παρόλα αυτά, εξακολουθεί να μην αποτελεί μια ευρέως εφαρμοζόμενη και χρησιμοποιούμενη μέθοδος σε αρκετές χώρες από τους επαγγελματίες, ασφαλώς διότι χαρακτηρίζεται από ορισμένες δυσκολίες (Kim et al., 2021). Μελετώντας και ξεκαθαρίζοντας ποικίλες απόψεις χρηστών, οι οποίοι έχουν μικρή ή μεγάλη εμπειρία στους χάρτες παραγόμενους με τρισδιάστατη εκτύπωση, προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα για την αξιοπιστία και την καταλληλότητα αυτής της μεθόδου απεικόνισης (Kim et al., 2021).

3.5.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Σημαντική ποικιλία εφαρμογών

Αρχικά, βασικό πλεονέκτημα που προκύπτει από μεγάλη μερίδα χρηστών της τεχνολογίας 3D printing είναι η **σημαντική ποικιλία εφαρμογών**, σε πολλές βιομηχανικούς τομείς και επιστημονικούς κλάδους, των οποίων τα αποτελέσματα είναι ήδη ορατά και σπουδαία. Για ένα μεγάλο κομμάτι των επιστημόνων της ανάλυσης και της απεικόνισης του χώρου και των φαινομένων σε αυτόν, οι τρισδιάστατοι εκτυπωμένοι χάρτες αποτελούν μεγάλο βοήθημα για δημιουργία πρωτότυπων αντικείμενων του πραγματικού κόσμου, τόσο του αστικού όσο και του φυσικού περιβάλλοντος. Συγχρόνως, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο στη συμβουλευτική πελατών σε διάφορους τομείς της παράγωγης όπως την αρχιτεκτονική, τη διακόσμηση, τις κατασκευές, τη μεσιτική.

Πλέον τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα τοπογραφικά μοντέλα, έχουν αποκτήσει σημαντική χρησιμότητα στην εκπαιδευτική διαδικασία, αποδεικνύοντας πώς μπορούν να ενισχύσουν την κατανόηση και την οπτικοποίηση σύνθετων γεωγραφικών εννοιών. Κατά τη χρήση 3D εκτυπωμένων χαρτών σε σχολεία και πανεπιστήμια, οι μαθητές/σπουδαστές εμφανίζονται πιο αφοσιωμένοι κατά τη διαδικασία επαφής με το τρισδιάστατο μοντέλο παρά με τον αντίστοιχο δισδιάστατο τοπογραφικό χάρτη. Οι νέοι άνθρωποι δείχνουν ενθουσιασμό στην εξερεύνηση του τοπίου μέσω της χρήσης της 3D τεχνολογίας. Για παράδειγμα, εισαγωγικοί φοιτητές σε εργαστήριο γεωλογίας, παρατήρησαν πως τα τυπωμένα επίπεδα των τρισδιάστατων εδαφικών μοντέλων τους βοήθησαν να αναγνωρίσουν μοτίβα σε ισοϋψείς καμπύλες. Η δυνατότητα εύκολης περιστροφής των μοντέλων και προβολής τους από διαφορετικές γωνίες εξυπηρέτησαν τους μαθητές στην κατανόηση των εννοιών που αφορούν τις ισοϋψείς, την κλίση του εδάφους και συνολικά τις ιδιαιτερότητες του αναγλύφου (Harding et al., 2021).

2. Εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος

Ορισμένοι από τους χρήστες, έπειτα από σχετικά σύντομη επαφή και γνωριμία με την τεχνολογία, θεωρούν πως συμβάλλει στην **εξοικονόμηση τόσο χρόνου όσο και χρήματος**. Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) επιτρέπει την ανάπτυξη καινοτόμων ιδεών με ταχύτατους ρυθμούς, τόσο στον τομέα της τοπογραφίας όσο και σε άλλους τομείς. Η δυνατότητα εκτύπωσης μιας εφαρμογής την ίδια μέρα που σχεδιάστηκε σε ψηφιακό περιβάλλον μειώνει αισθητά τη συνολική διαδικασία της ανάπτυξης (Gokhare et al., 2017). Είναι άλλωστε γνωστό πως σε τομείς όπως η

αρχιτεκτονική, που η αναπαράσταση τοπίων γίνεται μέχρι σήμερα με φυσικά και τεχνητά υλικά, τα ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και κοστοβόρα, επομένως, ο ανταγωνισμός των διάφορων μεθόδων είναι προς το συμφέρον των χρηστών. Συγχρόνως, η παραδοσιακή τρισδιάστατη εκτύπωση αντιμετωπίζει το ζήτημα της πολύπλοκης γεωμετρίας, που μπορεί να παρουσιάζει ένα μοντέλο. Ένα τέτοιο σύνθετο μοντέλο είναι δύσκολο να παραχθεί μέσω μιας συμβατικής μεθόδου, τόσο λόγω χρόνου όσο και ακρίβειας (Kim et al., 2021).

3. Υψηλή ακρίβεια και επίπεδο λεπτομέρειας

Σημαντικό χαρακτηριστικό, το οποίο παρατηρείται από την πλειοψηφία των χρηστών τρισδιάστατων μοντέλων, αποτελεί η δυνατότητα σχεδιασμού και εκτύπωσης σύνθετων τοπογραφικών μοντέλων με **μεγάλη ακρίβεια** και γενικότερα, αντικειμένων του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Τέτοιο επίπεδο ακρίβειας και λεπτομέρειας δεν είναι δυνατό να αποτυπωθεί στους παραδοσιακούς τρισδιάστατους χάρτες, πόσο μάλλον σε εκείνους των δύο διαστάσεων. Για παράδειγμα, γίνεται εφικτή η λεπτομερής αναπαράσταση περίπλοκων γεωγραφικών χαρακτηριστικών ενός εδαφικού ανάγλυφου και ποικίλες σύνθετες μορφές του εδάφους με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας. Συγχρόνως, η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει ένα επίπεδο σχεδιαστικής ελευθερίας που συχνά είναι περιορισμένο ή αδύνατο με τις παραδοσιακές μεθόδους μοντελοποίησης και δημιουργίας χαρτών. Μέσω των συνεχών δοκιμών, ενθαρρύνεται η καινοτομία και η ανακάλυψη από τους σχεδιαστές, με αποτέλεσμα την εξερεύνηση των δυνατοτήτων και των ορίων των υπαρχόντων μεθόδων. Τέλος, σχετικά με τα ζητήματα μεγέθους, τα οποία για πολλούς είναι αποτρεπτικά για τη μέθοδο του 3D printing, είναι γνωστό πως εμφανίζονται και στους ψηφιακούς χάρτες, όπου εκεί ρόλο στο μέγεθος παίζει το εύρος της οθόνης. Συνεπώς, το θέμα του μεγέθους του χάρτη έχει να κάνει με το μέσο και δεν μπορεί να λαμβάνεται υπόψη στη σύγκριση.

4. Ευκολία και διεύρυνση της χρήσης

Υπέρ της χρήσης της τεχνολογίας 3D printing, επικρατεί η άποψη ότι οι χρήστες με λιγότερες γνώσεις, ανεξαρτήτως επιστημονικού κλάδου, **διευκολύνονται στην επαφή** με τους χάρτες και πιο συγκεκριμένα του τρισδιάστατου. Σε αυτή την κατεύθυνση, οι εκτυπωμένοι τρισδιάστατοι χάρτες θεωρούνται πιο χρήσιμοι και εύκολα αξιοποιήσιμοι από τους ψηφιακούς 3D χάρτες. Σαφώς και η χρήση τους απαιτεί τη γνώση και την αντίληψη του θεωρητικού υποβάθρου και του θέματος που αφορά κάθε μοντέλο, ωστόσο η δυνατότητα να έρθει κάποιος σε επαφή και να

εξερευνήσει ένα μοντέλο του πραγματικού κόσμου είναι πολύ πιο σπουδαία και αξιοσημείωτη στις τρεις διαστάσεις. Τέλος, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό, το οποίο έχει σημειωθεί από τους χρήστες τέτοιων μοντέλων, αποτελεί η δυνατότητα των τρισδιάστατων εκτυπωτών να μπορούν να εγκατασταθούν και να αφεθούν να συνεχίσουν τη διαδικασία παραγωγής, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανάγκη παρουσίας χειριστών καθ' όλη τη διάρκεια (Gokhare et al., 2017).

5. Ανάδραση και επικοινωνιακή κριτική

Όπως είναι γνωστό, η **ανάδραση (feedback)** των ατόμων που έρχονται σε επαφή, χρησιμοποιούν και στους οποίους επιδρά ένα επιστημονικό εργαλείο και τα αποτελέσματά του, αποτελεί απαραίτητο συστατικό για την επιτυχημένη εξέλιξη των εργαλείων και των μεθόδων. Με τη βοήθεια ενός πρωτότυπου μοντέλου παρεχόμενο στους χρήστες, δίνεται η δυνατότητα δοκιμών και ελέγχων από διάφορους τομείς επιστημονικούς αλλά και εμπορικούς για τη χρησιμότητα και την καταλληλότητα της μεθόδου της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Λαμβάνοντας τις ποικίλες απόψεις των χρηστών, τόσο τα θετικά όσο και τα αρνητικά σχόλια και τους προβληματισμούς, προτού ολοκληρωθεί και κυκλοφορήσει επίσημα από το δημιουργό, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εφόδιο για την επαλήθευση των δυνατοτήτων και της πραγματικής αξίας ενός μοντέλου (Gokhare et al., 2017). Μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό ότι μια τέτοια διαδικασία λήψης feedback από τους χρήστες δύναται να ολοκληρωθεί εύκολα και άμεσα στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση παρά σε οποιαδήποτε άλλη παρόμοια μέθοδο.

3.6.2. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Όσο και αν η τεχνολογία του 3D printing έχει δώσει τα διαπιστευτήριά της με πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως κάθε άλλη μέθοδος απεικόνισης χαρακτηρίζεται από ορισμένες ατέλειες. Όπως παρατηρήθηκε από τους περισσότερους χρήστες, αυτά τα μοντέλα καθίστανται δύσκολα στη χρήση, θεωρείται μεγάλη πρόκληση για κάποιον να κατέχει τη συγκεκριμένη τεχνολογία στο έπακρο, ενώ αρκετοί πιστεύουν πως η πλήρης εκμάθησή του απαιτεί υψηλό κόστος. (Harding et al., 2021) Αυτή η άποψη έχει σε ένα βαθμό επηρεάσει τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς, στους οποίους η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν έχει επεκταθεί ευρέως, καθώς δεν έχει πείσει ώστε να θεωρείται απαραίτητη. Ειδικότερα, οι μικρές επιχειρήσεις χαρακτηρίζουν σχεδόν ανέφικτη την απόκτηση τέτοιων 3D εγκαταστάσεων και εργαλείων εκτύπωσης, λόγω των εμποδίων κόστους και τεχνολογίας.

Σε ότι αφορά τους περιορισμούς στο μέγεθος των εικονιζόμενων αντικειμένων και τη λεπτομέρεια στην απόδοση, που παρατηρούνται από επιστήμονες και εμπειρογνώμονες, οι οποίοι εμφανίζονται προφανώς λόγω της κατασκευής και των προδιαγραφών των σύγχρονων 3D εκτυπωτών, αναμφίβολα επιφέρουν θέμα σύγκρισης με άλλες μεθόδους εκτύπωσης, οι οποίες δεν έχουν δυσχέρεια στην απεικόνιση μικρών κλιμάκων. Επιπλέον, τίθεται ζήτημα σύγκρισης κόστους και αντίστοιχου παραγόμενου προϊόντος για κάθε μέθοδο απεικόνισης (Gokhare et al., 2017). Για μια σημαντική μερίδα χρηστών, εμπόδιο της μεθόδου αποτελεί ο χρόνος κατασκευής ενός 3D μοντέλου, ο οποίος είναι σημαντικός τόσο για τον επαγγελματία όσο και για τον ερασιτέχνη. Συγχρόνως, τα υλικά και ο χρωματισμός θεωρείται πως απαιτούν αρκετή επικαιροποίηση, ώστε να καλύπτουν τις σύγχρονες ανάγκες. Καταληκτικά, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ο εκτυπωμένος τρισδιάστατος χάρτης δεν μπορεί να παρουσιάζει στοιχεία του πραγματικού κόσμου, φαινόμενα και μεταβολές αυτών σε πραγματικό χρόνο, σε σύγκριση με τον τρισδιάστατο χάρτη του διαδικτύου, που ασφαλώς είναι δυναμικός και πλεονεκτεί κάθε άλλης μεθόδου.

3.6.3. ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην κατεύθυνση της βελτίωσης και εξέλιξης της μεθόδου της τρισδιάστατης εκτύπωσης, ορισμένοι έμπειροι χρήστες έχουν εκφράσει απόψεις και προτάσεις που είναι ικανές να συμβάλλουν στην καλύτερη δυνατή αξιοποίηση τέτοιου είδους εκτυπώσεων, ειδικότερα στον τομέα της χαρτογραφίας. Σε πρώτη φάση, καθίσταται αναγκαία η διεύρυνση των υλικών που χρησιμοποιούνται στη λογική ότι η ποικιλία θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη και ουσιαστικότερη αποτελεσματικότητα των παραγόμενων προϊόντων. Προτείνεται από μεγάλη μερίδα χρηστών η χρήση μετάλλων στην τρισδιάστατη εκτύπωση, πρακτική που ενδεχομένως να επιφέρει πιο στιβαρές κατασκευές. Βελτιώσεις επιδέχεται και το ζήτημα του μεγέθους, όπου σήμερα οι περιορισμοί κρίνονται σημαντικοί, όμως η εξέλιξη της εν λόγω τεχνολογίας θα μπορέσει να επιλύσει θεωρητικά εύκολα τέτοια ζητήματα. Συγχρόνως, θα δοθεί η δυνατότητα επέκτασης στο εύρος της κλίμακας εκτύπωσης, γεγονός που δυσχεραίνει το έργο των χρηστών σε μεγάλο βαθμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ – CLIMATE CHANGE PERFORMANCE INDEX

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Δείκτης Κλιματικής Επίδοσης (ΔΚΕ) αφορά ένα ανεξάρτητο σύστημα βαθμολόγησης, σχεδιασμένο από τον γερμανικό οργανισμό Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης Germanwatch e.V. με σκοπό την ενίσχυση της διαφάνειας και της αξιοπιστίας των διεθνών πολιτικών με επίκεντρο το κλίμα. Με γνώμονα ορισμένα τυποποιημένα κριτήρια, ο συγκεκριμένος δείκτης αξιολογεί και κατόπιν συγκρίνει την απόδοση και την πρόοδο των προσπαθειών πάνω στην προστασία του κλίματος των 63 χωρών, όπως είναι η Κίνα, οι ΗΠΑ, το Μαρόκο και η Ινδία, αλλά και χωρών της Ε.Ε., οι οποίες είναι υπεύθυνες για περισσότερο από το 90% των παγκόσμιων Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (GHG) (Hellman, 2022).

Σε συνεργασία με το γερμανικό Ινστιτούτο NewClimate και το παγκόσμιο δίκτυο περιβαλλοντικών ΜΚΟ “Climate Action”, και με την οικονομική υποστήριξη του Barthel Foundation, ο οργανισμός Germanwatch δημοσιεύει τον Δείκτη Κλιματικών Επιδόσεων από το 2005 και σε ετήσια βάση στην ετήσια διάσκεψη Κλιματική Αλλαγή των Ηνωμένων Εθνών (UN Climate Change Conference) (Burck et al., 2019). Τα σημαντικότερα αποτελέσματα που αφορούν την απόδοση των χωρών συγκεντρώνονται από 450 εμπειρογνώμονες και παρέχονται σε μορφή ποσοστού επί τοις εκατό (%) σε πολλές γλώσσες όπως τα Γερμανικά, τα Αγγλικά, τα Γαλλικά και τα Ισπανικά. Ο ΔΚΕ αποτελεί συχνά θέμα συζήτησης στα εθνικά κοινοβούλια και κυβερνήσεις, αλλά και στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και συγχρόνως διανέμεται σε βασικά εθνικά και διεθνή μέσα ενημέρωσης όπως The Guardian, China Daily και The Times of India. (ccpi.org, 2024)

Η συμφωνία του Παρισιού, η οποία αποτελεί μια νομικά δεσμευτική διεθνή συνθήκη για την Κλιματική Αλλαγή εγκρίθηκε από συνολικά 196 συμβαλλόμενα μέρη κατά τη διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (COP21) στο Παρίσι το Δεκέμβριο του 2015 και τέθηκε σε ισχύ το Νοέμβριο του 2016. Βασικό στόχο αποτελεί η συγκράτηση “της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αρκετά κάτω από τους 2°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα” και να συνεχιστούν και να ενταθούν οι προσπάθειες “περιορισμού της αύξησης της θερμοκρασίας

στον 1,5°C άνω των προβιομηχανικών επιπέδων” (unfccc.int, 2024). Συγχρόνως, η Διακυβερνητική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών τονίζει πως η υπέρβαση του ορίου του 1,5°C εμπεριέχει τον κίνδυνο σοβαρότερων επιπτώσεων στην κλιματική αλλαγή, όπως είναι οι ξηρασίες, τα κύματα καύσωνα και οι βροχοπτώσεις. Με το πέρασ πέντε και πλέον ετών, η εν λόγω συμφωνία εισέρχεται σε μια κρίσιμη φάση εφαρμογής, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Ο ΔΚΕ παρέχει μακροχρόνια και αξιόπιστη ανάλυση και μελέτη, διεξαγόμενη από “ηγέτες” και “ουραγούς” αναφορικά με την προστασία του κλίματος. Το γεγονός αυτό καθιστά τον ΔΚΕ ιδιαίτερα χρήσιμο και ισχυρό μέσο αξιολόγησης, ούτως ώστε οι κυβερνήσεις να λογοδοτούν αναφορικά με την ευθύνη τους για την κλιματική κρίση και συγχρόνως να παρέχεται ενημέρωση για τις διαδικασίες προόδου και βελτίωσης των ανθρωπίνων παρεμβάσεων στο κλίμα (ccpi.org, 2024).

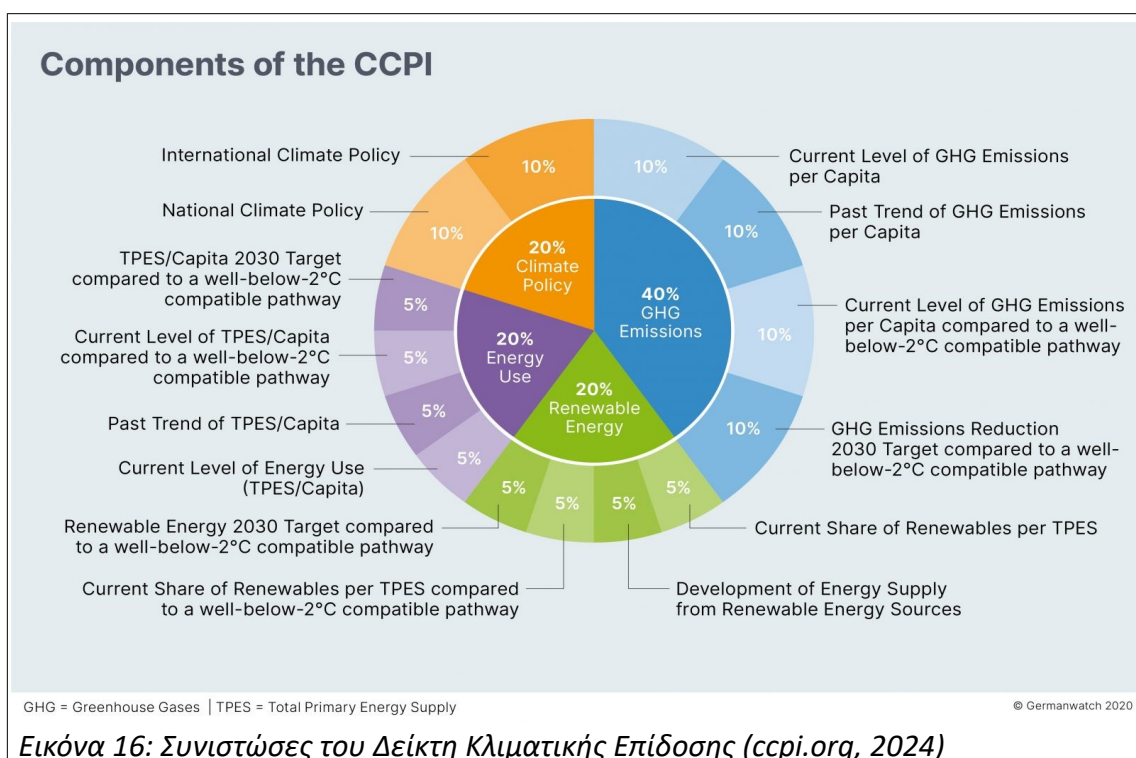
4.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Από το 2005, ο Δείκτης Κλιματικής Επίδοσης αξιολογεί και συγκρίνει τις επιδόσεις προστασίας του κλίματος των 63 χωρών και της Ε.Ε., οι οποίες είναι υπεύθυνες για περισσότερο από το 90% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Στόχος του ΔΚΕ είναι να παρέχει μια ολοκληρωμένη και ισορροπημένη αξιολόγηση των παραπάνω χωρών. Παρακάτω παρατίθεται γράφημα με τις τέσσερις συνιστώσες του ΔΚΕ, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 16, οι οποίες είναι:

- Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου (GHG) (40% της συνολικής βαθμολογίας)
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) (20% της συνολικής βαθμολογίας)
- Χρήση ενέργειας (20% της συνολικής βαθμολογίας)
- Πολιτικές για το κλίμα (20% της συνολικής βαθμολογίας)

Πιο αναλυτικά, η συνιστώσα των Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου αναλύεται, ισόποσα σε ποσοστά 10%, στο τρέχον κατά κεφαλήν επίπεδο εκπομπών, την προηγούμενη κατά κεφαλήν τάση των εκπομπών GHG, το τρέχον επίπεδο εκπομπών σε σύγκριση με μια συμβατή πολύ κάτω των 2°C πορεία, και τη μείωση των εκπομπών βάσει των στόχων 2030 σε σύγκριση με μια συμβατή πολύ κάτω των 2°C πορεία. Η συνιστώσα των Πολιτικών για το Κλίμα διαιρείται σε Εθνική και Διεθνή Πολιτική για το Κλίμα. Το ποσοστό της Χρήσης Ενέργειας αναλύεται, ισόποσα σε ποσοστά 5%, σε κατά κεφαλήν Συνολικό Εφοδιασμό σε Πρωτογενή Ενέργεια (Total Primary

Energy Supply – TPES) βάσει των στόχων 2030 σε σύγκριση με μια συμβατή πολύ κάτω των 2°C πορεία, τωρινό επίπεδο του κατά κεφαλήν TPES σε σύγκριση με μια συμβατή πολύ κάτω των 2°C πορεία, παλαιό επίπεδο του κατά κεφαλήν TPES και τωρινό επίπεδο της Χρήσης Ενέργειας. Τέλος, η συνιστώσα των ΑΠΕ υποδιαιρείται σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας βάσει των στόχων 2030 σε σύγκριση με μια συμβατή πολύ κάτω των 2°C πορεία, το τρέχον επίπεδο ΑΠΕ ανά TPES σε σύγκριση με μια συμβατή πολύ κάτω των 2°C πορεία, ανάπτυξη των αποθεμάτων ενέργειας από ΑΠΕ και το τρέχον μερίδιο ΑΠΕ ανά TPES.



Εικόνα 16: Συνιστώσες του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης (ccpi.org, 2024)

Πρέπει να τονιστεί πως το μεγαλύτερο ποσοστό της αξιολόγησης μιας χώρας με τη μέθοδο του ΔΚΕ βασίζεται σε ποσοτικά δεδομένα από διεθνώς αναγνωρισμένους οργανισμούς. Πιο συγκεκριμένα, περίπου το 80% της αξιολόγησης των επιδόσεων μιας χώρας βασίζεται σε ποσοτικά δεδομένα από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), την PRIMAP, τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) και τις εθνικές απογραφές αερίων του θερμοκηπίου που υποβάλλονται στην UNFCCC (ccpi.org, 2024). Λόγω της διαθεσιμότητας δεδομένων, οι προηγούμενες εκδόσεις CCPI έως το 2022 υπολογίστηκαν με βάση δεδομένα που καταγράφηκαν πριν από δύο έτη. Από την έκδοση CCPI 2023, με τη βοήθεια του PRIMAP, οι μελετητές πέτυχαν τη χρήση δεδομένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με χρονική υστέρηση μόνο ενός έτους.

Κάτι τέτοιο καταδεικνύει πως αναφορικά με τον ΔΚΕ 2024 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα των GHG από το 2022 με βάση αριθμητικές μεθόδους (numerical methods) και γραμμική παρέκταση (linear extrapolation). Ειδικότερα, οι κατηγορίες των ΑΠΕ και της Χρήσης Ενέργειας υπολογίζονται με καταγεγραμμένα στοιχεία του 2021, ως τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα δεδομένα. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι ο Δείκτης Απόδοσης 2024 εξακολουθεί να είναι επηρεασμένος από την COVID-19 (ccpi.org, 2024).

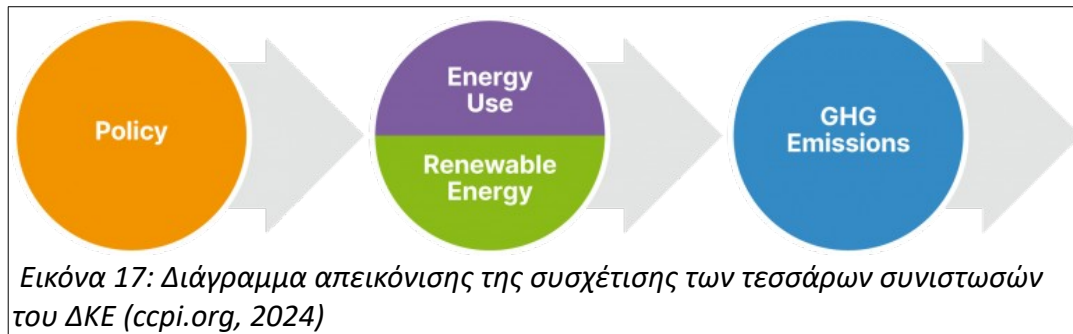
Όπως προαναφέρθηκε, οι τρεις ποσοτικές κατηγορίες – συνιστώσες του ΔΚΕ, δηλαδή οι Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και η Χρήση ενέργειας, προσδιορίζονται από από τέσσερις δείκτες, οι οποίοι είναι οι εξής:

- το Τωρινό Επίπεδο
- η Παρελθοντική Τάση
- η Συμβατότητα του τωρινού επιπέδου με μια ιδεατή πορεία πολύ κάτω των 2°C
- η Συμβατότητα του στόχου των χωρών για το 2030 με μια ιδεατή πορεία πολύ κάτω των 2°C

Αναφορικά με τη συνιστώσα των Πολιτικών για το Κλίμα, αυτή συμβάλλει στο αποτέλεσμα του ΔΚΕ σε ποσοστό 20%. Οι δείκτες στους οποίους διαιρείται αυτή η κατηγορία είναι η Εθνική Πολιτική για το Κλίμα και η Διεθνής Πολιτική για το Κλίμα. Χάρη σε αυτή τη συνιστώσα, ο Δείκτης Απόδοσης καλύπτει τις πιο πρόσφατες εξελίξεις για το κλίμα στα εθνικά πλαίσια πολιτικής. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα ποσοτικά δεδομένα δεν είναι ικανά να προβάλλουν και να αποτυπώσουν τέτοια πληροφορία. Ωστόσο, τα ποιοτικά δεδομένα για αυτούς τους δείκτες αξιολογούνται σε ετήσια βάση μέσω ενός ολοκληρωμένου ερωτηματολογίου και με τη συνδρομή εμπειρογνομώνων της πολιτικής που αφορά στο κλίμα και την ενέργεια από τις αξιολογούμενες χώρες. Μέσω ενός ερωτηματολογίου, οι ειδικοί βαθμολογούν τα σημαντικότερα μέτρα των κυβερνήσεων των χωρών τους και τα αποτελέσματα χαρακτηρίζονται ως πολύ υψηλά, υψηλά, μεσαία, χαμηλά ή πολύ χαμηλά (Burck et al., 2019).

Καταληκτικά, επί της συγκεκριμένης συνιστώσας οι ειδικοί θεωρούν και επισημαίνουν πως τα μέτρα προστασίας του κλίματος από τις εκάστοτε κυβερνήσεις συχνά χρειάζονται αρκετά χρόνια προκειμένου να γίνει αισθητή η επιρροή τους στις εκπομπές GHG, τις ΑΠΕ και τη χρήση ενέργειας. Στο γράφημα της εικόνας 17, απεικονίζεται η πορεία της άσκησης επιρροής μεταξύ των τεσσάρων

συνιστωσών του Δείκτη Απόδοσης. Λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο με τον οποίο η Πολιτική για το Κλίμα θα διαμορφώσει εντός των επόμενων ετών τη Χρήση Ενέργειας και τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, αν ασφαλώς καταστεί αποτελεσματική, η εκάστοτε χώρα οδηγείται αναπόφευκτα στη σταδιακή μείωση των Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου.



4.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κατά την τρέχουσα μέθοδο αξιολόγησης, ορίζεται οι μηδέν βαθμοί (0%) ως το κατώτατο όριο και οι 100 βαθμοί (100%) ως το μέγιστο που μπορεί να επιτευχθεί. Μια χώρα η οποία έχει την καλύτερη επίδοση σε έναν συγκεκριμένο δείκτη, λαμβάνει τη μέγιστη βαθμολογία στον εν λόγω δείκτη. Ωστόσο, για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη ο ακόλουθος περιορισμός:

Οι 100 βαθμοί είναι δυνατό να επιτευχθούν σε θεωρητικό επίπεδο, αλλά τόσο για τη συνολική βαθμολογία όσο και για την κάθε μια συνιστώσα, σημαίνουν μόνο τη βέλτιστη σχετική βαθμολογία, χωρίς απαραίτητα να επιδεικνύουν την καλύτερη δυνατή προσπάθεια για την προστασία του κλίματος.

Αφού έχουν αποσαφηνιστεί τα παραπάνω, η τελική βαθμολόγηση βάσει του Δείκτη Κλιματικών Επιδόσεων υπολογίζεται από τον σταθμισμένο μέσο όρο των βαθμολογιών που έχουν επιτευχθεί στους επιμέρους δείκτες, χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$I = \sum_{i=1}^n w_i X_i \quad \text{και} \quad X_i (\text{Score}) = 100 \left(\frac{\text{actual value} - \text{minimum value}}{\text{maximum value} - \text{minimum value}} \right)$$

όπου, I = ο Δείκτης Απόδοσης Κλιματικής Αλλαγής, X_i = ο κανονικοποιημένος δείκτης και w_i = η στάθμιση του X_i ($\sum w_i=1$, για $0 \leq w_i \leq 1$) και n = ο αριθμός των επιμέρους δεικτών (σήμερα ισούται με 14)

Πρέπει να σημειωθεί πως οι διαφορές μεταξύ των προσπαθειών των βαθμολογούμενων χωρών για την προστασία του κλίματος γίνονται διακριτές μόνο μέσω της βαθμολόγησής τους και όχι μέσω της κατάταξης. Ρίχνοντας μια πιο προσεκτική ματιά στην κορυφαία θέση του ΔΚΕ 2024, παρατηρείται πως αυτή κατέχεται από τη Δανία, χωρίς ωστόσο να είναι η χώρα που έχει την υψηλότερη βαθμολογία σε όλες τις συνιστώσες του δείκτη. Αυτό το παράδειγμα αποδεικνύει ότι οι αποτυχίες και τα αδύνατα σημεία των χωρών μπορούν να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν μέσω των επιμέρους κατηγοριών και δεικτών της βαθμολόγησης. (Burck et al., 2019) Συγχρόνως, για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, κρίνεται αναγκαίο να αναφερθούν ορισμένες υποθέσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για πολλές αξιολογούμενες χώρες:

- 1) Το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει σταθερό στη συνολική τελική κατανάλωση.
- 2) Η μέση απόδοση της μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε δευτερογενή (πριν από τις απώλειες και την ίδια χρήση της βιομηχανίας της ενέργειας) παραμένει σταθερή για την ενέργεια από ανανεώσιμες και ορυκτές πηγές αναφορικά με το σήμερα.
- 3) Η «ίδια χρήση της βιομηχανίας της ενέργειας» κατανέμεται μεταξύ του τομέα της ηλεκτρικής και της μη ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με το μερίδιο που κατέχουν στην Τελική Αρχική Προμήθεια Ενέργειας (Total Primary Energy Supply - TPES). Και στους δύο τομείς, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές θεωρείται ότι δεν καταναλώνει ενέργεια για την παραγωγή ενέργειας.
- 4) Στον τομέα της μη ηλεκτρικής ενέργειας, το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές παραμένει σταθερό στην TPES και την Τελική Συνολική Κατανάλωση (Total Final Consumption - TFC), αντίστοιχα.
- 5) Το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι το ίδιο με το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με άλλα λόγια, οι απώλειες επηρεάζονται εξίσου από την ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες και αυτήν από ορυκτές πηγές.

Τα πιο πρόσφατα αποτελέσματα παρουσιάζουν τις κυριότερες περιφερειακές διαφορές στις προσπάθειες και τις επιδόσεις για την Προστασία του Κλίματος από τις 63 χώρες που

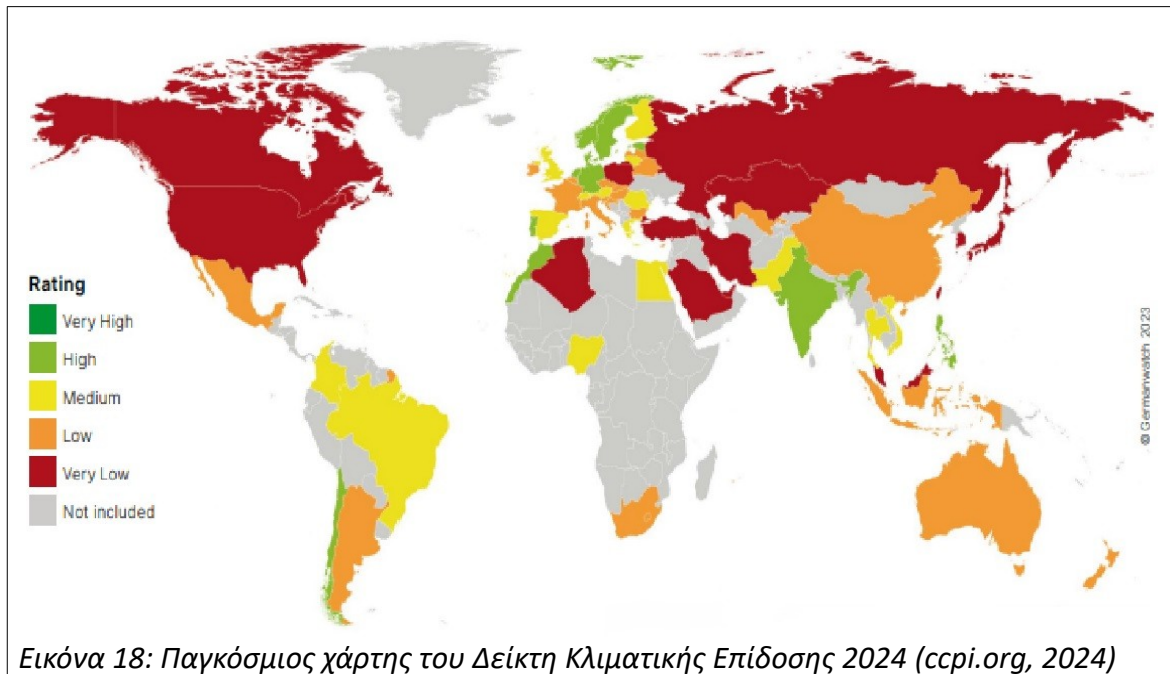
αξιολογήθηκαν και της ΕΕ. Βάσει του Δείκτη Επίδοσης, καμία από τις χώρες δεν έχει ακόμη επιτύχει επιδόσεις σε όλους τους δείκτες που μπορούν να χαρακτηριστούν ως πολύ υψηλές. Αυτό συμβαίνει διότι, καμία χώρα δεν πληροί τις προαποφασισμένες απαιτήσεις για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη αρκετά κάτω από τους 2 °C, όπως αποφασίστηκε στη συμφωνία του Παρισιού. Κατά συνέπεια, οι τρεις πρώτες θέσεις στην τελική κατάταξη παραμένουν κενές. (ccpi.org)

4.4. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ – Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Η κατάταξη των αξιολογούμενων χωρών βασίζεται ασφαλώς στη συνολική βαθμολογία τους. Όπως προαναφέρθηκε, η βαθμολογία στηρίζεται σε επιμέρους τέσσερις συνιστώσες, οι οποίες με τη σειρά τους αποτελούνται από 14 δείκτες. Τα αποτελέσματα φανερώνουν πως, ακόμη και αν όλες οι χώρες δεσμεύονταν στις πολιτικές που αφορούν το κλίμα και έχουν συμφωνηθεί μέχρι σήμερα, οι προσπάθειες θα εξακολουθούσαν να είναι ανεπαρκείς για την πρόληψη των κινδύνων της κλιματικής αλλαγής. Για αυτό το λόγο, λοιπόν, απαιτούνται ακόμη εντονότερες και δραστηρότερες πολιτικές από τις κυβερνήσεις τόσο των υψηλότερα βαθμολογημένων χωρών όσο και των χαμηλότερα βαθμολογημένων, προκειμένου να εισέλθει ο κόσμος σε τροχιά διατήρησης της υπερθέρμανσης του πλανήτη αρκετά κάτω από την αύξηση των 2°C ή και καλύτερα του 1,5°C.

Για το 2024, οι τρεις πρώτες θέσεις της κατάταξης παραμένουν κενές, έτσι ώστε να δοθεί κίνητρο στις χώρες να επιταχύνουν την εφαρμογή των μέτρων τους. Σε πρώτη φάση, τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω στο χάρτη δύο διαστάσεων της Εικόνας 18, όπου η βαθμολόγηση είναι ταξινομημένη σε Πολύ Υψηλή (σκούρο πράσινο), Υψηλή (ανοιχτό πράσινο), Μεσαία (κίτρινο), Χαμηλή (πορτοκαλί) και Πολύ Χαμηλή (κόκκινο). Συγχρόνως, οι περιοχές που δεν έχουν συμπεριληφθεί εμφανίζονται με γκρι χρώμα. Όπως γίνεται αντιληπτό, με σκούρα πράσινη απόχρωση δεν αποτυπώνεται καμία χώρα. Με ανοιχτό πράσινο απεικονίζονται οι χώρες με βαθμολογίες άνω του 64% μέχρι την πρώτη στην κατάταξη χώρα, τη Δανία. Στη Μεσαία κατηγορία ανήκουν οι χώρες με βαθμολογία 58%-64%, στη Χαμηλή βρίσκονται οι χώρες με βαθμολογία 45%-58% και τέλος, στη Πολύ Χαμηλή κατηγορία οι χώρες με βαθμολογία κάτω του 45%. Η κατάταξη των χωρών βάσει του ΔΚΕ για το 2024, οι τιμές του δείκτη για την κάθε χώρα, η προαναφερθείσα κατηγοριοποίηση σε πέντε τάξεις, η σύγκριση με τη χρήση βελών του 2024 με την επίδοση την προηγούμενη χρονιά (άνοδος ή πτώση στην κατάταξη), όπως και το ποσοστό που

κατέχουν οι συνιστώσες (μπλε χρώμα για τις Εκπομπές GHG, πράσινο για τις ΑΠΕ, μωβ για την Χρήση Ενέργειας και πορτοκαλί για την Κλιματική Πολιτική) στην τελική τιμή του δείκτη για κάθε χώρα παρουσιάζονται διαγραμματικά στον πίνακα της Εικόνας 19.



Εικόνα 18: Παγκόσμιος χάρτης του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης 2024 (ccpi.org, 2024)

Αξίζει να πραγματοποιηθεί ιδιαίτερη μνεία στις επιδόσεις των G20 χωρών στον Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης. Από το 1999, η Ομάδα G20 είναι ένα διεθνές φόρουμ για τις κυβερνήσεις και τους διοικητές των κεντρικών τραπεζών από τις 20 μεγάλες οικονομίες. Τα μέλη του περιλαμβάνουν 19 επιμέρους χώρες, τις Αργεντινή, Αυστραλία, Βραζιλία, Γαλλία, Γερμανία, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, Ηνωμένο Βασίλειο, Ιαπωνία, Ιταλία, Ινδία, Ινδονησία, Καναδάς, Κίνα, Μεξικό, Νότια Αφρική, Νότια Κορέα, Ρωσία, Σαουδική Αραβία, Τουρκία, και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.). Σκοπό έχουν τη μελέτη, την αναθεώρηση και την προώθηση συζήτησης υψηλού επιπέδου για θέματα πολιτικής που αφορούν την προώθηση της διεθνούς χρηματοπιστωτικής σταθερότητας. Συλλογικά, οι οικονομίες της G20 αντιπροσωπεύουν περίπου το 85% του ακαθάριστου προϊόντος παγκοσμίως (GWP), το 80% του παγκόσμιου εμπορίου, και τα δύο τρίτα του παγκόσμιου πληθυσμού (g20.org).

Οι χώρες του G20 που βρίσκονται σε υψηλές θέσεις και κατέχουν βαθμολογία άνω του 64% για το 2024 είναι η Ινδία στην 7η θέση (70.25%), η Γερμανία στην 14η θέση (65.77%) και η ΕΕ ως ενιαίο σύνολο στην 16η θέση (64.71%). Από την άλλη, δεκαπέντε χώρες εκ των G20 λαμβάνουν συνολικά

χαμηλή ή πολύ χαμηλή βαθμολογία. Είναι γνωστό πως οι χώρες του G20 είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνες για την κλιματική κρίση, μιας και ευθύνονται για περισσότερο από το 75% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, ο Καναδάς, η Ρωσία και η Σαουδική Αραβία παραμένουν οι χώρες με τις χειρότερες επιδόσεις από τις G20.

Αναφορικά με την Ε.Ε., αξίζει να σημειωθεί πως υπήρξε άνοδος στην κατάταξη κατά 3 θέσεις και πλέον βρίσκεται στην 16η θέση, όντας στην κατηγορία των Υψηλά βαθμολογούμενων χωρών. Συγχρόνως, 14 από τις χώρες της Ε.Ε. συγκαταλέγονται μεταξύ των Υψηλά και Μεσαία βαθμολογούμενων, με τη Δανία στην 4η θέση και την Εσθονία στην 5η θέση να είναι οι δύο πρώτες στην κατάταξη. Επιπλέον, η Ολλανδία παρουσιάζει βελτιωμένες επιδόσεις σε τρεις από τις τέσσερις συνιστώσες του ΔΚΕ και βρίσκεται πέντε θέσεις ψηλότερα, δηλαδή στην 8η θέση. Από την άλλη, η Ιταλία φαίνεται να κατρακυλά 15 θέσεις και να είναι στην 44η θέση και η Πολωνία να βρίσκεται στην 55η θέση, όντας η χειρότερα βαθμολογούμενη χώρα της Ε.Ε., λόγω ασφαλώς της φτωχής προσπάθειας των πολιτικών για το κλίμα.

Climate Change Performance Index 2024 – Rating table

Rank	Rank change	Country	Score**	Categories
1*	-	-	-	
2	-	-	-	
3	-	-	-	
4	0 -	Denmark	75.59	
5	4 ▲	Estonia	72.07	
6	6 ▲	Philippines	70.70	
7	1 ▲	India ☼	70.25	
8	5 ▲	Netherlands	69.98	
9	-2 ▼	Morocco	69.82	
10	-5 ▼	Sweden	69.39	
11	-5 ▼	Chile	68.74	
12	-2 ▼	Norway ☼	67.48	
13	1 ▲	Portugal	67.39	
14	2 ▲	Germany ☼	65.77	
15	2 ▲	Luxembourg	65.09	
16	3 ▲	European Union (27)	64.71	
17	new	Nigeria ☼	63.88	
18	5 ▲	Spain	63.37	
19	2 ▲	Lithuania	62.99	
20	-9 ▼	United Kingdom ☼	62.36	
21	1 ▲	Switzerland	61.94	
22	-2 ▼	Egypt	61.80	
23	15 ▲	Brazil ☼	61.74	
24	19 ▲	Romania	61.50	
25	17 ▲	Thailand	61.38	
26	-11 ▼	Finland	61.11	
27	13 ▲	Vietnam	60.94	
28	-4 ▼	Greece	60.34	
29	-11 ▼	Malta	59.80	
30	new	Pakistan	59.35	
31	-4 ▼	Colombia	58.68	
32	0 -	Austria	58.17	
33	-8 ▼	Latvia	57.68	
34	-1 ▼	New Zealand	57.66	
35	-5 ▼	Croatia	57.32	
36	-10 ▼	Indonesia ☼	57.20	
37	-9 ▼	France	57.12	
38	-7 ▼	Mexico ☼	55.81	
39	0 -	Belgium	55.00	
40	-6 ▼	Slovak Republic	54.47	
41	0 -	Slovenia	53.57	
42	-7 ▼	Cyprus	53.09	
43	-6 ▼	Ireland	51.42	
44	-15 ▼	Italy	50.60	
45	-1 ▼	South Africa ☼	49.53	
46	-10 ▼	Bulgaria	46.94	
47	-1 ▼	Belarus	46.80	
48	new	Uzbekistan	46.68	
49	4 ▲	Hungary	45.93	
50	5 ▲	Australia ☼	45.72	
51	0 -	China ☼	45.56	
52	-7 ▼	Czech Republic	45.41	
53	-4 ▼	Argentina	45.39	
54	-6 ▼	Algeria	44.54	
55	-1 ▼	Poland ☼	44.40	
56	-9 ▼	Turkey	43.82	
57	-5 ▼	United States ☼	42.79	
58	-8 ▼	Japan	42.08	
59	-3 ▼	Malaysia	38.57	
60	1 ▲	Kazakhstan ☼	38.52	
61	-4 ▼	Chinese Taipei	36.94	
62	-4 ▼	Canada ☼	31.55	
63	-4 ▼	Russian Federation ☼	31.00	
64	-4 ▼	Republic of Korea	29.98	
65	new	United Arab Emirates ☼	24.55	
66	-3 ▼	Islamic Republic of Iran ☼	23.53	
67	-5 ▼	Saudi Arabia ☼	19.33	

Rating

- Very High
- High
- Medium
- Low
- Very Low

Index Categories

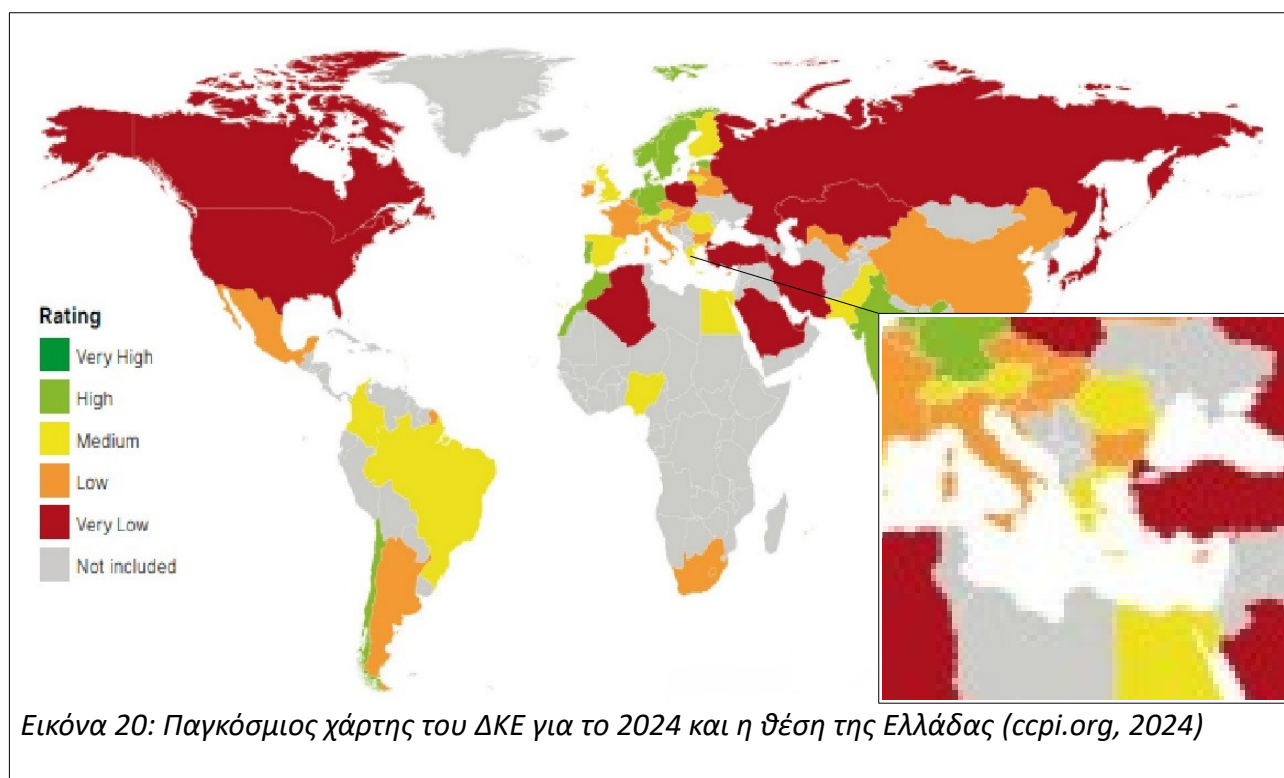
- GHG Emissions (40% weighting)
- Renewable Energy (20% weighting)
- Energy Use (20% weighting)
- Climate Policy (20% weighting)

The labelled countries are the biggest producers of oil, gas, and coal worldwide.

* None of the countries achieved positions one to three. No country is doing enough to prevent dangerous climate change. © Germanwatch 2023
 ** rounded

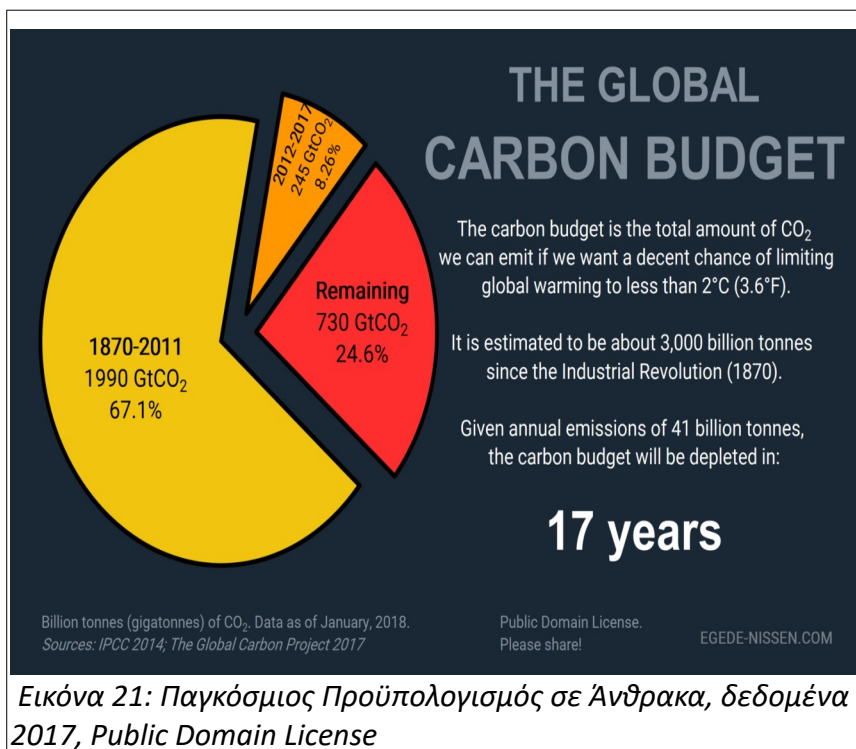
Εικόνα 19: Πίνακας κατάταξης των χωρών βάσει του ΔΚΕ 2024 (ccpi.org, 2024)

Αναφορικά με την Ελλάδα, η χώρα μας κατατάσσεται στην 28η θέση για το 2024, όντας τέσσερις θέσεις πιο κάτω από το προηγούμενο έτος, 2023. Οι επιδόσεις της συνολικά στον ΔΚΕ βαθμολογούνται με ποσοστό 60.34% και έτσι, βρίσκεται στη ζώνη που η βαθμολόγηση της χαρακτηρίζεται “Μέτρια”. Ειδικότερα, παρατηρείται πως η Ελλάδα παρουσιάζει μεικτές συμπεριφορές στις τέσσερις συνιστώσες του Δείκτη. Η αξιολόγησή της που σχετίζεται με τη Χρήση Ενέργειας χαρακτηρίζεται “Υψηλή”, οι αντίστοιχες των Εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ως “Μέτριες”, ενώ στο πεδίο των Πολιτικών για το κλίμα λαμβάνει “Χαμηλή” βαθμολογία. Συγχρόνως, γίνεται αντιληπτό πως η αξιολόγηση των Πολιτικών για το κλίμα είναι η μοναδική εκ των τεσσάρων που παρουσιάζει πτώση σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Σε γενικές γραμμές, η χώρα έχει καλές επιδόσεις σε αυτούς που αποκαλούνται “Δείκτες Τάσεων” (Trend Indicators), δηλαδή στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπου οι εκπομπές της παρουσιάζονται σε συνεχή πτωτική πορεία και ομοίως στις ΑΠΕ και τη χρήση ενέργειας. (ccpi.org, 2024)



Όπως γίνεται σαφές μελετώντας τον ΔΚΕ 2024, αλλά και των τελευταίων ετών, οι φιλοδοξίες της Ελλάδας αναφορικά με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης, και ειδικότερα, Εξοικονόμησης Ενέργειας και Ενεργειακής Απόδοσης καθίστανται ανεπαρκείς. Κατά τον Αύγουστο 2023, η χώρα

υπέβαλε προσχέδιο του Αναθεωρημένου Εθνικού Σχεδίου της για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), που στόχο έχει την αύξηση του σημείου επίτευξης για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) έως το 2030. Συγκριτικά με το ΕΣΕΚ του 2019, το συγκεκριμένο χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα φιλόδοξο, μιας που η χώρα θα επιδιώξει να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές GHG της. Ωστόσο, σημειώνεται πως υπάρχουν περιθώρια αύξησης των φιλοδοξιών της Ελλάδας στην κατεύθυνση προς την επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης, ώστε να πετύχει η χώρα την απαραίτητη διατήρηση της αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τους 2° C. Συγχρόνως, οι εμπειρογνώμονες επισημαίνουν πως ο στόχος για τα αέρια του θερμοκηπίου που τίθεται στο ΕΣΕΚ 2024 λαμβάνει υπόψη διπλάσιο προϋπολογισμό για την κατανάλωση άνθρακα (Carbon Budget) από αυτόν που δικαιούται η Ελλάδα. Στην Εικόνα 21, επεξηγείται ο Παγκόσμιος Προϋπολογισμός σε Άνθρακα (Global Carbon Budget), δηλαδή η συνολική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), την οποία δίνεται να εκπέμψει ο πλανήτης τα επόμενα χρόνια, αν πρόκειται να επιτευχθεί αλλαγή στο όριο της υπερθέρμανσης κατά 2° C (3.6° F). Η ποσότητα αυτή υπολογίζεται περίπου στους 3.000 δισεκατομμύρια τόνους από την Βιομηχανική Επανάσταση (1870) και δεδομένου πως οι ετήσιες εκπομπές αγγίζουν τους 41 δισεκατομμύρια τόνους, απομένουν 10 χρόνια μέχρι να εξαντληθεί το συγκεκριμένο απόθεμα. Τέλος, κριτική στην Ελλάδα γίνεται για τους χαμηλούς στόχους που έχει θέσει σε ότι αφορά την Εξοικονόμηση Ενέργειας και την Ενεργειακή απόδοση, εφόσον υπολείπεται του στόχου της ΕΕ για σημαντική μείωση επί του επιπέδου της τελικής κατανάλωσης ενέργειας των ευρωπαϊκών χωρών κατά 11.7% ως το 2030.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

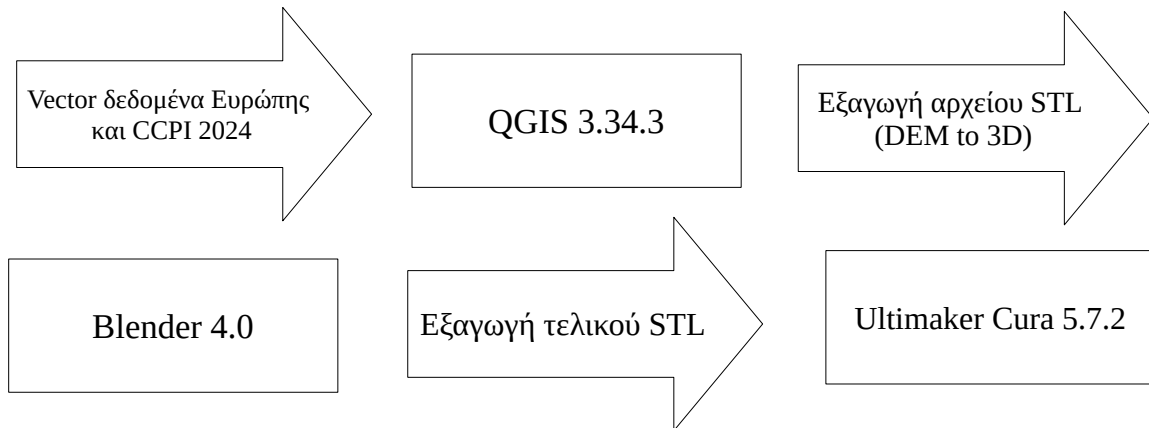
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, παρουσιάζονται εν συντομία τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εκπόνηση του τεχνικού μέρους της εργασίας, δηλαδή τη δημιουργία και την εκτύπωση του τρισδιάστατου μοντέλου. Σε πρώτη φάση, τα δεδομένα του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης (Climate Change Performance Index) για το έτος 2024, τα οποία πρόκειται να απεικονιστούν, εισήχθησαν ως περιγραφικά χαρακτηριστικά του θεματικού επιπέδου των χωρών της Ευρώπης στο ελεύθερο λογισμικό Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών QGIS 3.34.3.

Στη συνέχεια, ο χάρτης χωρίστηκε σε δύο μέρη, το ανατολικό και το δυτικό τμήμα της Ευρώπης, με σκοπό να δημιουργηθούν δύο τρισδιάστατα μοντέλα, που η ένωσή τους θα αποτελέσει το τελικό μοντέλο. Μέσω της εντολής Rasterization (Vector to Raster) επί των αρχείων vector και κατόπιν, του εργαλείου DEM to 3D, που βρίσκεται ως πρόσθετο (plugin) στο QGIS, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία των αρχείων STL, τα οποία διαθέτουν τη γεωμετρική πληροφορία του μοντέλου της περιοχής μελέτης. Πρέπει να τονιστεί πως η διαδικασία μετατροπής vector σε raster μορφή ακολουθήθηκε εξαιτίας της λειτουργίας του συγκεκριμένου plugin με δεδομένα raster. Με την ολοκλήρωση της δημιουργίας των δύο αρχείων STL, αυτά εισήχθησαν στο ελεύθερο λογισμικό σχεδίασης 3D γραφικών Blender 4.0 και χάρη στην προσθήκη των απαιτούμενων χαρτογραφικών στοιχείων, παρασκευάστηκαν τρία τρισδιάστατα μοντέλα. Στη μορφή STL χρειάστηκε να μετατραπούν ξεχωριστά τα όρια των χωρών που δεν διέθεταν δεδομένα του ΔΚΕ 2024 (No Data). Συγχρόνως, πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενες ενέργειες στο σχεδιαστικό περιβάλλον, ώστε τα τμήματα του χάρτη να “κουμπώσουν” με τη μορφή παζλ και να δημιουργήσουν το τελικό προϊόν.

Τέλος, τα μοντέλα εισήχθησαν στο πρόγραμμα Ultimaker Cura 5.7.2, όπου έγινε επιλογή του εκτυπωτή Ultimaker S5, τον οποίο διαθέτει το Εργαστήριο Χαρτογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής και των απαραίτητων παραμέτρων για τη βέλτιστο παραγώμενο αποτέλεσμα εκτύπωσης βάσει της επιθυμητής ανάλυσης και

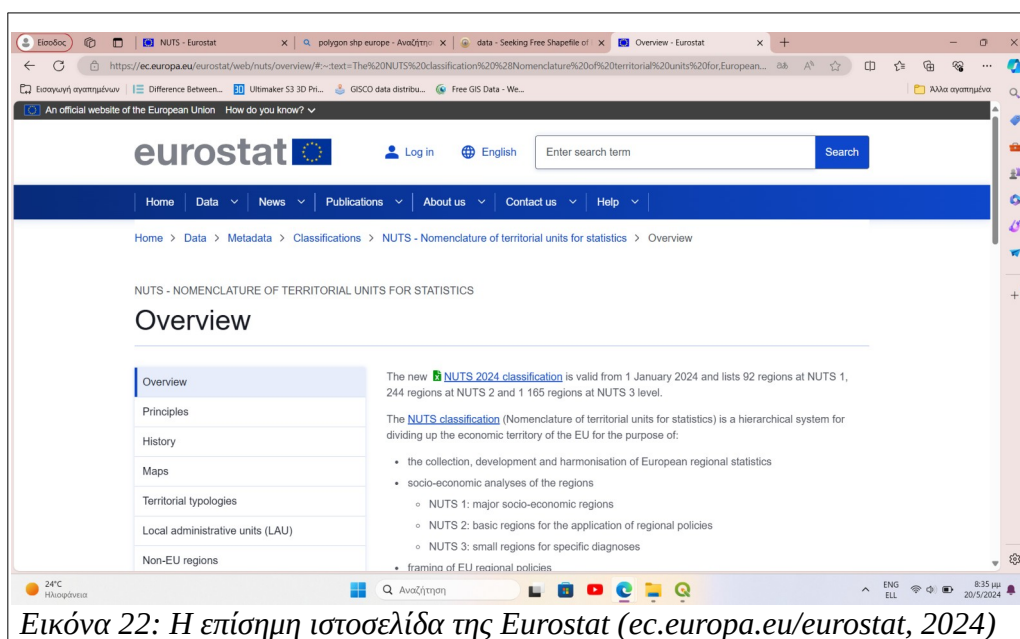
λεπτομέρειας, αλλά και του διαθέσιμου χρόνου. Στόχο αποτέλούσε η εκτέλεση της τρισδιάστατης εκτύπωσης του χάρτη. Για την καλύτερη κατανόηση, στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται συνοπτικά η τεχνική διαδικασία παραγωγής ενός τρισδιάστατου χάρτη.



Διάγραμμα 1: Διαγραμματική απεικόνιση της δημιουργίας του τρισδιάστατου χάρτη

5.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ QGIS 3.34.3

5.2.1. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗΣ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΥΡΩΠΗΣ ΚΑΙ CCPI ΓΙΑ ΤΟ 2024 – ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ

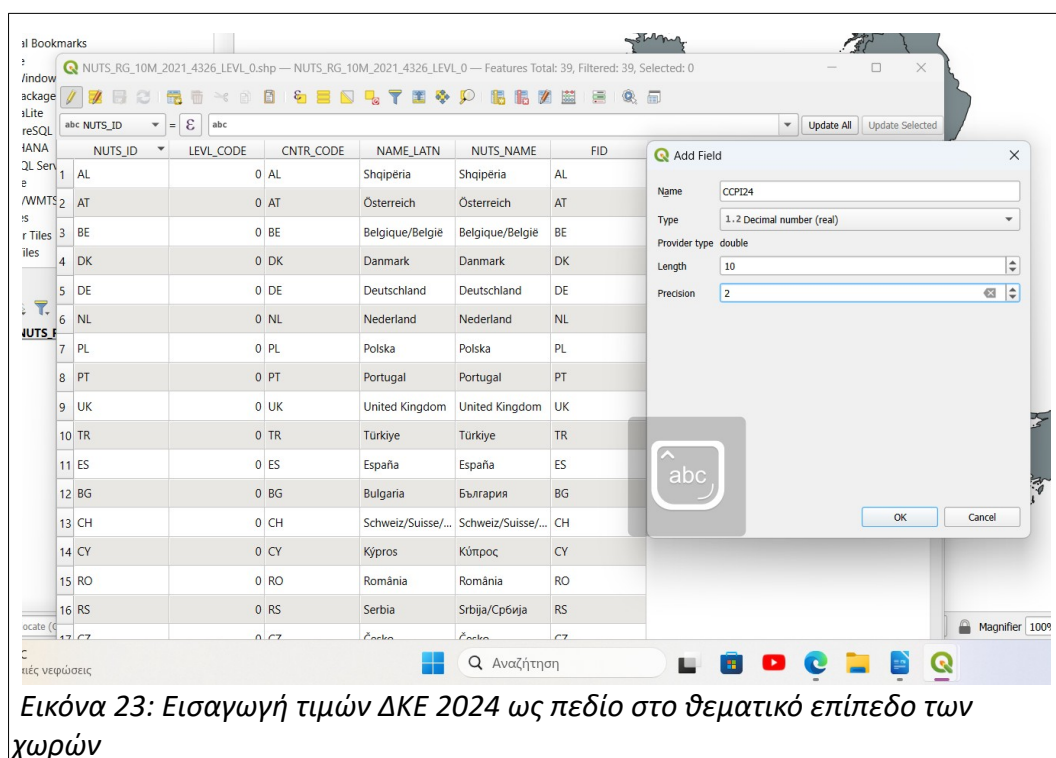


Σε πρώτη φάση, τα γεωχωρικά δεδομένα για την Ευρώπη ελήφθησαν από τη σελίδα της EUROSTAT για το 2021, ως τα πλέον αξιόπιστα και επικαιροποιημένα. Συγκεκριμένα, η λήψη (download) πραγματοποιήθηκε μέσω της ιστοσελίδας gisco-services.ec.europa.eu. Πρόκειται για αρχείο **shapefile (shp) πολυγωνικού τύπου (polygon type)** που περιέχει τις χώρες της Ευρώπης, με πλήρη ονοματολογία και τα σύνορα των ευρωπαϊκών χωρών, σε **κλίμακα 1:20 εκατομμύρια**, ασφαλώς για στατιστικούς σκοπούς (Nomenclature of Territorial Units for Statistics – NUTS). Αξίζει να σημειωθεί πως χώρες όπως η Βοσνία Ερζεγοβίνη ή το Κόσοβο απουσίαζαν από το θεματικό επίπεδο και κρίθηκε σκόπιμο να ψηφιοποιηθούν και να αποτελέσουν οντότητες του εν λόγω shapefile για το πλέον ορθό γεωγραφικό αποτέλεσμα. Η απουσία των συγκεκριμένων χωρών οφείλεται στο ιδιαίτερο καθεστώς που ανήκει η εκάστοτε χώρα ως προς την ένταξή της στην Ευρωπαϊκή Ένωση και κατά συνέπεια, δεν συμπεριλαμβάνεται σε τέτοιου είδους στατιστικές μελέτες και αναλύσεις.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονιστεί πως τα γεωγραφικά δεδομένα της Eurostat ακολουθούν το Προβολικό Σύστημα Συντεταγμένων **ETRS89-extended / LAEA Europe (κωδικός EPSG:3035)**. Με βάση τον επίσημο πίνακα της ESRI με τις χαρτογραφικές προβολές και τις παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη για τη βέλτιστη επιλογή, η Lambert Azimuthal Equal Area, στην οποία βασίζεται το συγκεκριμένο προβολικό, αποτελεί αξιμουθιακή ισοδύναμη προβολή, κατάλληλη για απεικόνιση σε κλίμακα ηπείρου, και από άποψη σκοπού του χάρτη, κατάλληλη για θεματικές απεικονίσεις, όπως είναι και η παρούσα απεικόνιση του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης. Συνεπώς, η Ισοδύναμη Προβολή που χρησιμοποιήθηκε, ώστε να διατηρηθούν αναλλοίωτα τα εμβαδά των χωρών είναι η **Lamberts Azimuthial Equal Area** και το Σύστημα Αναφοράς είναι το Pan European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89).

Επιστρέφοντας στο περιβάλλον του QGIS, έγινε εισαγωγή του shapefile των συνόρων της Ευρώπης σε διανυσματική μορφή (vector), όπου κάθε ευρωπαϊκή χώρα αποτυπώνεται με τη μορφή πολυγώνου (polygon type). Κατόπιν, προκειμένου να απεικονιστεί ο Δείκτης Κλιματικής Επίδοσης για το 2024 ως η τρίτη διάσταση στον τελικό τρισδιάστατο χάρτη, δημιουργήθηκε ένα **νέο χαρακτηριστικό (field)** στο θεματικό επίπεδο των χωρών με τίτλο “CCPI24”, όπως φαίνεται στην Εικόνα 23. Η συγκεκριμένη στήλη στον πίνακα των περιγραφικών χαρακτηριστικών του θεματικού επιπέδου περιείχε για κάθε χώρα την τιμή του Δείκτη Αξιολόγησης που έλαβε για το έτος 2024. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν πραγματοποιήθηκε κάποια μέθοδος ομαδοποίησης των

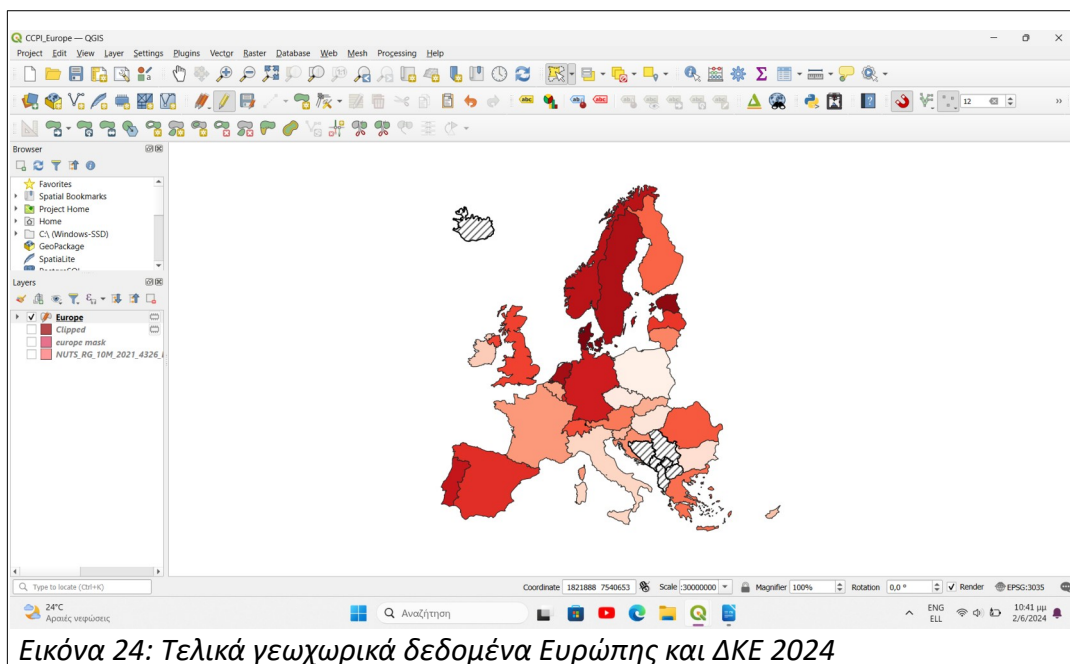
δεδομένων που ακολουθεί και την ανάλυση της επίσημης ιστοσελίδας του CCPI, καθώς σε μια τρισδιάστατη απεικόνιση δεν υπάρχει ο περιορισμός της οπτικής αντίληψης του ανθρώπινου ματιού πέντε έως το πολύ οκτώ διαφορετικές εντάσεις μιας απόχρωσης που συμβαίνει στις δύο διαστάσεις. Σε έναν χάρτη τριών διαστάσεων ο χρήστης μπορεί να αντιληφθεί τα διαφορετικά ύψη και κατά συνέπεια τις διαφορετικές τιμές του φαινομένου, χωρίς να απαιτείται ομαδοποίηση. Οι τιμές του ΔΚΕ στις χώρες της Ευρώπης που συμμετέχουν κανονικά στην αξιολόγηση κυμαίνονται από 44,40%, δηλαδή ο ΔΚΕ της Πολωνίας για το 2024, μέχρι και 75,59%, δηλαδή ο ΔΚΕ της Δανίας για το 2024. Αξίζει να αναφερθεί πως ο Δείκτης της Ελλάδας αγγίζει το 60,34%.



Εικόνα 23: Εισαγωγή τιμών ΔΚΕ 2024 ως πεδίο στο θεματικό επίπεδο των χωρών

Με στόχο το βέλτιστο οπτικό αποτέλεσμα κατά την τρισδιάστατη απεικόνιση, στη συνέχεια, επιλέχθηκε και πραγματοποιήθηκε η αφαίρεση από το θεματικό επίπεδο και κατά συνέπεια από την απεικόνιση και τη μελέτη χώρες όπως η Τουρκία και η Ρωσία, αλλά και ορισμένα νησιά του Ατλαντικού και του Ειρηνικού Ωκεανού, τα οποία ανήκουν διοικητικά σε ευρωπαϊκές χώρες, ωστόσο πάρθηκε η απόφαση για λόγους βελτίωσης του οπτικού εκτυπωμένου αποτελέσματος να μην απεικονιστούν. Η εν λόγω περικοπή έγινε με τη χρήση της εντολής **Clip vector by mask layer** στο QGIS. Έτσι, δημιουργήθηκε το τελικό θεματικό επίπεδο από το οποίο στη συνέχεια, θα προκύψει το τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω, στην Εικόνα 24.

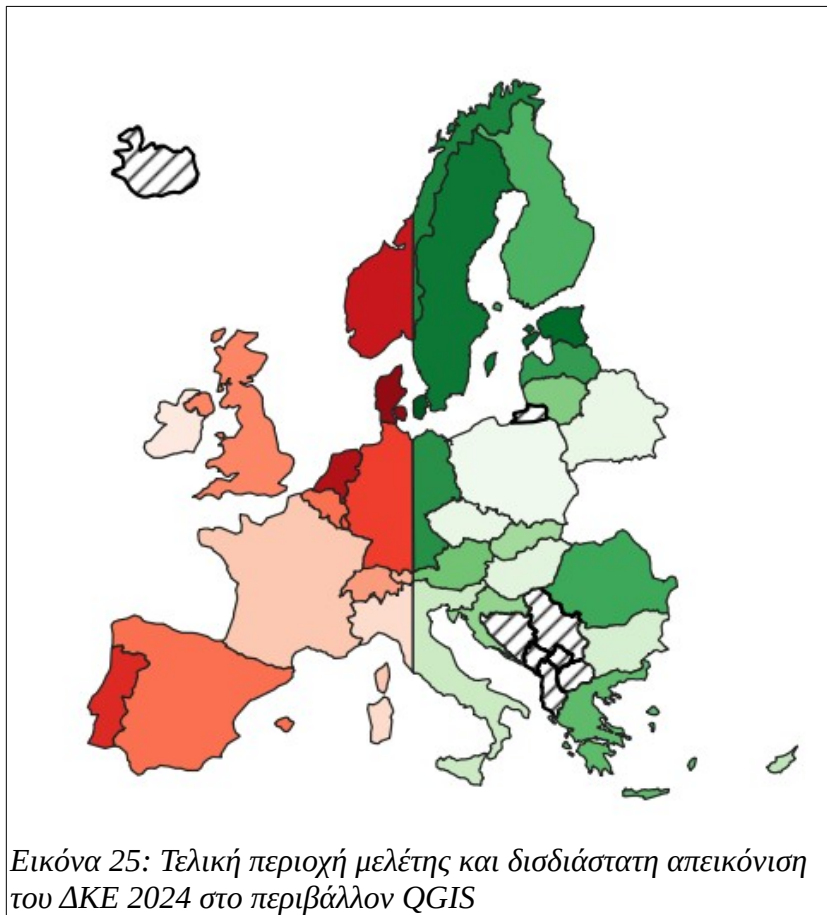
Επιπλέον, πάντα με γνώμονα την επίτευξη του καλύτερου παραγόμενου αποτελέσματος της τρισδιάστατης εκτύπωσης και με κατεχόμενη γνώση των μεθόδων και των αποτελεσμάτων προηγούμενων τρισδιάστατων εκτυπώσεων χαρτών που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜ-ΜΓ, έγινε κατανοητό πως τα δεδομένα απαιτούν γενίκευση. Με άλλα λόγια, βάσει της κλίμακας και του σκοπού του χάρτη, κρίθηκε σκόπιμη η μείωση της πολυπλοκότητας του χάρτη, προκειμένου να αποδοθούν εμφατικά τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά του χώρου που απεικονίζεται. Κατά συνέπεια, με στόχο της βελτιστοποίησης της οπτικής πληροφορίας, επιλέχθηκε η εφαρμογή γεωμετρικών τελεστών γενίκευσης, και συγκεκριμένα η **απλοποίηση** και η **εξομάλυνση** των γεωμετριών του χάρτη μέσω της εντολής **Geometry Tools** → **Simplify** του QGIS. Συγχρόνως, εφόσον τα περισσότερα νησιά της Ευρώπης στο τρισδιάστατο μοντέλο θα αποτελούσαν ακίδες που θα καταστρέφονταν κατά τη χρήση του χάρτη, αλλά και λόγω θερμοκρασιών, κρίθηκε απαραίτητο να μην αποτυπωθούν.



5.2.2. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΘΕΜΑΤΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ – ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΜΟΡΦΗΣ VECTOR ΣΕ RASTER – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Με σκοπό η παρούσα εφαρμογή να συνεισφέρει τα μέγιστα στον επιστημονικό τομέα αναφορικά με τις τρισδιάστατες χαρτογραφικές εκτυπώσεις, κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθούν δύο τμήματα χάρτη, τα οποία κατόπιν ένωσης τους, αλλά και σε συνδυασμό με το υπόμνημα, να επιτυγχάνεται ένας πλήρης τρισδιάστατος χάρτης, μεγαλύτερος από αυτόν που δύναται να παράγει ο εκτυπωτής του εργαστηρίου. Σε πρώτη φάση, στη διαδικασία που ολοκληρώθηκε, το θεματικό επίπεδο των ευρωπαϊκών χωρών, συνοδευόμενο από τις τιμές του ΔΚΕ 2024, διαχωρίστηκε σε ανατολικό και δυτικό τμήμα της Ευρώπης.

Αρχικά, μέσω του εργαλείου του QGIS, **Vector Overlay → Split with Lines**, με τη χρήση ενός γραμμικού θεματικού επιπέδου που παίζει το ρόλο της “μάσκας”, μπορεί το επίπεδο των ευρωπαϊκών χωρών να τμηθεί. Πρέπει να τονιστεί πως τα νέα πολύγωνα διατηρούν τα περιγραφικά χαρακτηριστικά του αρχικού θεματικού επιπέδου και κατά επέκταση και τα δεδομένα για τον δείκτη. Κατόπιν, η εντολή **Geoprocessing Tools → Difference** προσφέρει τη δυνατότητα εξαγωγής της Διαφοράς δύο θεματικών επιπέδων στη λογική της Άλγεβρας Boolean. Με αυτό τον τρόπο, προέκυψαν τα δύο θεματικά επίπεδα – τμήματα του ευρωπαϊκού χάρτη. Παρακάτω στην Εικόνα 25, παρουσιάζεται το αποτέλεσμα του χάρτη μετά από τις προαναφερθείσες διαδικασίες και απεικονίζοντας τις τιμές του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης με διαφορετικούς τόνους του κόκκινου και του πράσινου αντίστοιχα και θέτοντας διαγράμμιση στις χώρες που δεν υπάρχουν δεδομένα του δείκτη.

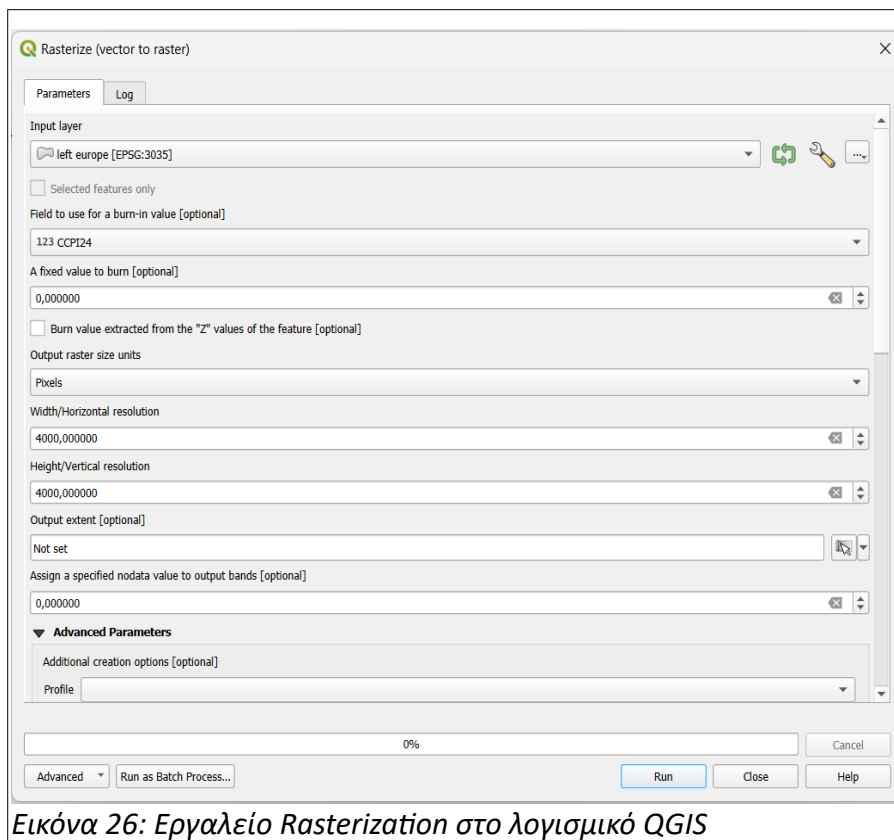


Επόμενο βήμα αποτελεί η μετατροπή των αρχείων από τη μορφή δεδομένων vector σε μορφή raster. Η εν λόγω διαδικασία κρίνεται αναγκαία, προκειμένου να επιτευχθεί ο τελικός στόχος μετατροπής της δισδιάστατης απεικόνισης σε τρισδιάστατη. Συγκεκριμένα, το πρόσθετο εργαλείο (plugin) που έχει δημιουργηθεί από την κοινότητα χρηστών του QGIS και μπορεί να προστεθεί από τον χρήστη στο λογισμικό με σκοπό τη δημιουργία ενός 3D μοντέλου ως αρχείο τύπου Τριγωνικής Αναπαράστασης 3D Αντικειμένου (STL) και ονομάζεται **DEM to 3D**, δέχεται αποκλειστικά αρχεία μορφής raster. Γίνεται σαφές πως μια τέτοια μετατροπή διανυσματικών δεδομένων σε εικονοστοιχεία, εξυπηρετεί τις περισσότερες φορές σκοπούς εκτύπωσης, όπως και στην προκειμένη περίπτωση. Η διαδικασία της “ραστεροποίησης” (rasterization), χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην επεξεργασία τρισδιάστατων γραφικών σε πραγματικό χρόνο και σκοπό έχει τη γρήγορη μεταλλαγή εικόνων. Κατά συνέπεια, έγινε χρήση της εντολής Rasterize (Vector to Raster) από το μενού **Raster → Conversion**, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό, δηλαδή οι διανυσματικές (vector) γεωμετρίες (σημεία, γραμμές και πολύγωνα) να μετατραπούν σε εικόνα κανονικοποιημένη (raster). Στην Εικόνα 26, αναγράφονται οι τιμές που εισήχθησαν σε κάθε μία

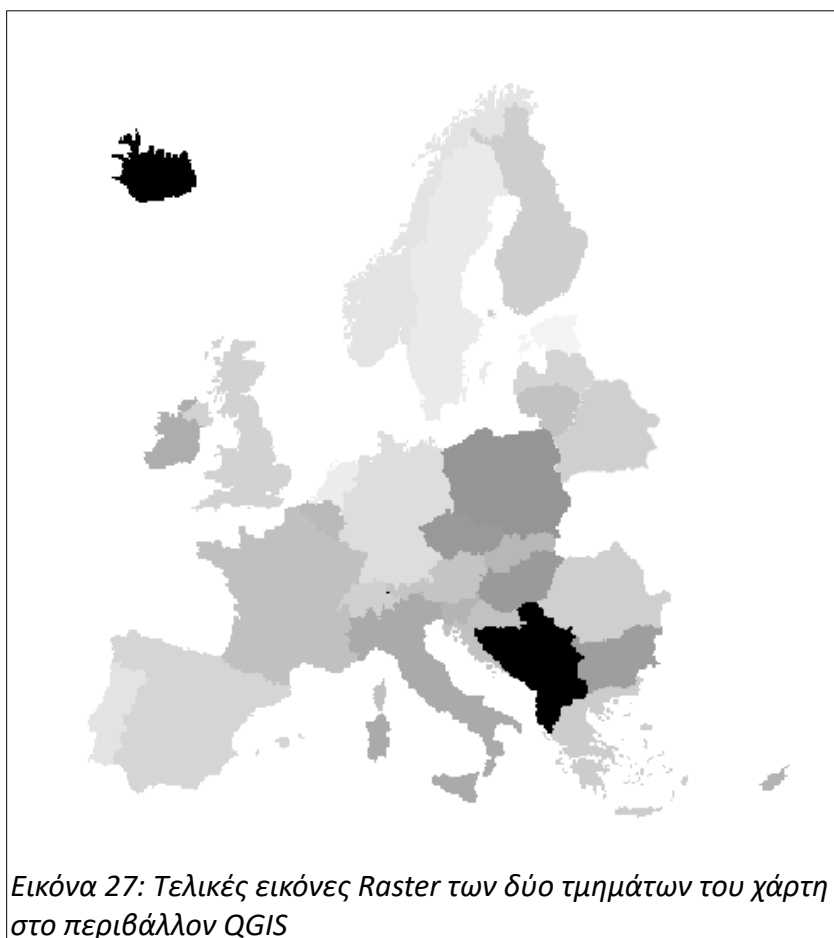
από τις παραμέτρους του εργαλείου μετατροπής σε raster, ενώ στην Εικόνα 27, φαίνονται οι δύο τελικές raster εικόνες των ευρωπαϊκών χωρών.

Ειδικότερα, μέσω της παραμέτρους **Input Layer** επιλέγεται το θεματικό επίπεδο, το οποίο θα εισαχθεί σε διανυσματική μορφή, δηλαδή αυτό των ευρωπαϊκών γεωχωρικών δεδομένων. Με την παράμετρο **Field to use for a Burn-in Value**, προσδιορίζεται η στήλη περιγραφικών χαρακτηριστικών, η οποία περιέχει το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό που θα δώσει τιμή στα εικονοστοιχεία. Εν προκειμένω, το χαρακτηριστικό είναι ο Δείκτης Κλιματικής Επίδοσης (CCPI24). Κατόπιν, η **Fixed Value to Burn** παράμετρος ορίζει καθολικά μια τιμή για τα εικονοστοιχεία, τα οποία θα προκύψουν από στοιχεία του attribute table του εισαγόμενου αρχείου τα οποία δεν φέρουν τιμή (null), με σκοπό να μην υπάρξουν κενά κατά την κατασκευή του αρχείου. Χώρες όπως η Ισλανδία και η Αλβανία δεν συμμετείχαν στην αξιολόγηση του CCPI και κατά συνέπεια δεν είχαν τιμή στο attribute table. Ωστόσο, ο τρόπος με τον οποίο επιλέχθηκε να απεικονιστούν οι τιμές μη ύπαρξης δεδομένων (No Data) θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Αναφορικά με την παράμετρο **Burn Value Extracted from the "Z" Values of the Feature**, δεν χρειάστηκε να δηλωθεί κάποια τιμή, καθώς η συγκεκριμένη επιλογή λειτουργεί επιτυχώς σε περιπτώσεις όπου το εισαγόμενο αρχείο vector είναι σημειακού ή γραμμικού τύπου. Πιο αναλυτικά, πραγματοποιείται γραμμική παρεμβολή κατά μήκος κάθε τμήματος, με σκοπό να εξαχθεί μια τιμή για τα εικονοστοιχεία αναφορικά με τις τιμές "Z" κάθε χαρακτηριστικού του αρχείου. Βασική επιλογή για το αποτέλεσμα του raster αρχείου αποτελεί η παράμετρος **Output raster size units**, όπου ορίζονται οι μονάδες του εξαγόμενου raster, οι οποίες καθορίζουν το μέγεθος και φυσικά την ανάλυσή του. Οι επιλογές που δίνονται είναι τα εικονοστοιχεία (Pixels) και οι Μονάδες Γεωαναφοράς (Georeferenced units) και στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκαν τα pixels. Ακολούθως, ορίζονται το ύψος (**Height/Vertical resolution**) και το πλάτος (**Width/Horizontal resolution**) των εξαγόμενων raster σε μονάδες που επιλέχθηκαν προηγουμένως, στην προκειμένη περίπτωση 5000x5000 pixels. Η επιλογή **Output extent** δίνει τη δυνατότητα καθορισμού της έκτασης που θα καταλαμβάνει η εικόνα raster, όμως από τη στιγμή που θεωρείται ίδια με τα αρχικά δεδομένα, δεν επιλέχθηκε. Τέλος, η παράμετρος **Assign a specified nodata value to output bands** που αναθέτει μια καθορισμένη τιμή nodata στα band εξόδου του παραγόμενου raster παρέμεινε κενή.

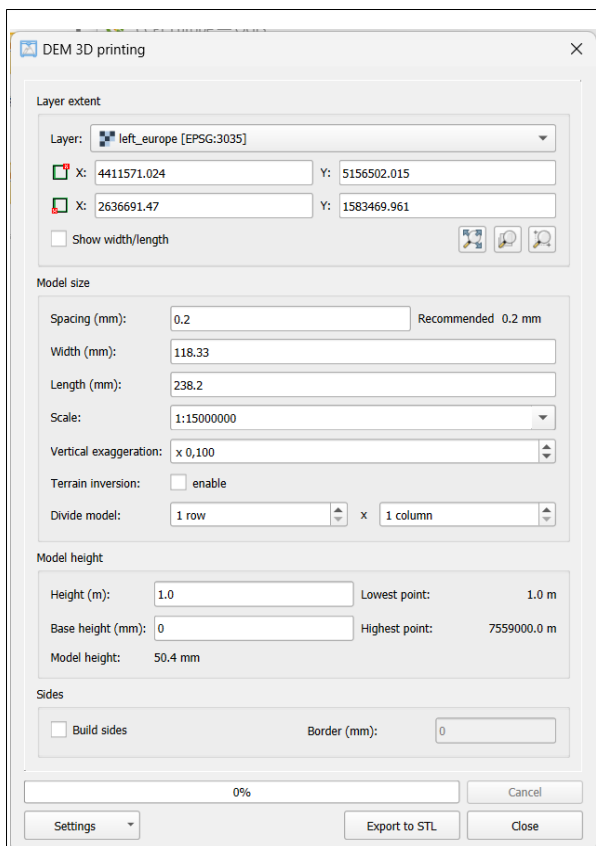


Εικόνα 26: Εργαλείο Rasterization στο λογισμικό QGIS

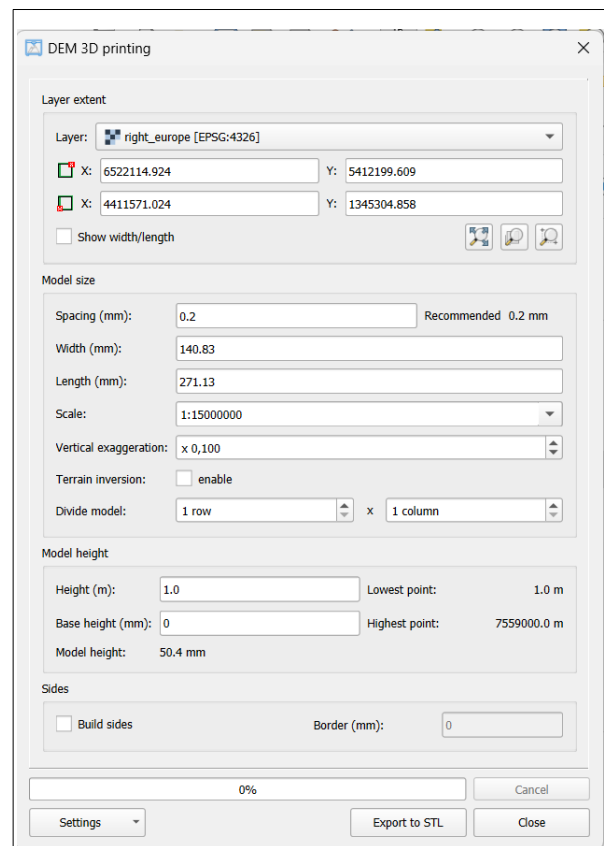


Εικόνα 27: Τελικές εικόνες Raster των δύο τμημάτων του χάρτη στο περιβάλλον QGIS

Επόμενο βήμα της τεχνικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε αποτελεί η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τη μετατροπή μιας δισδιάστατης εικόνας raster σε μια τρισδιάστατη απεικόνιση. Η μετατροπή αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του πρόσθετου εργαλείου του QGIS, που λέγεται DEM to 3D. Ουσιαστικά το εν λόγω plugin επεξεργάζεται ένα αρχείο μορφής DEM (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους), άρα και κάθε μορφής raster αντικείμενο, μιας καθορισμένης έκτασης και κατόπιν, προβαίνει στον υπολογισμό της κλίμακας του εξαγόμενου μοντέλου βάσει των διαστάσεων εκτύπωσης, ορισμένες από το χρήστη. Ταυτόχρονα, καθορίζονται το ύψος της κατακόρυφης βάσης του μοντέλου, ο συντελεστής κατακόρυφης υπερβολής (exaggeration) . Το τελικό παράγωγο είναι μορφής STL (Standard Triangle Language). Αρχεία τέτοιας μορφής είναι συμβατά και αναγνωρίζονται από τους 3D εκτυπωτές και κατά συνέπεια, αποτελούν τον τρόπο μετάβασης της γεωγραφικής πληροφορίας από τη δισδιάστατη μορφή μιας εικόνας στην τρισδιάστατη ενός μοντέλου. Παρακάτω φαίνονται στις Εικόνες 28 και 29, το προαναφερθέν εργαλείο με τις παραμέτρους του για τις δύο εικόνες των τμημάτων της Ευρώπης.



Εικόνα 28: Εργαλείο DEM to 3D για το δυτικό τμήμα



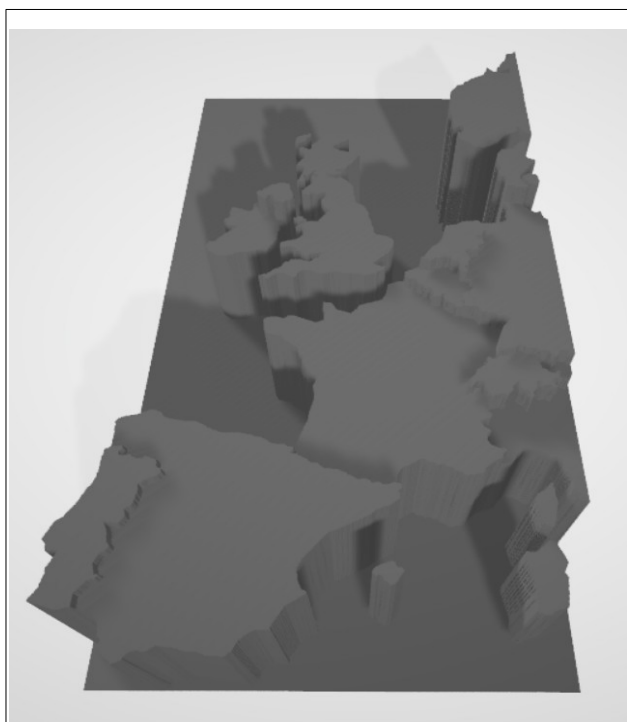
Εικόνα 29: Εργαλείο DEM to 3D για το ανατολικό τμήμα

Επιχειρώντας να αναλυθούν οι επιλογές που έγιναν στις παραμέτρους του εργαλείου, πρέπει να τονιστεί πως η διαδικασία πραγματοποιήθηκε χωριστά για τις δύο raster εικόνες των τμημάτων του χάρτη. Συνεπώς, τα βήματα και οι επιλογές που ελήφθησαν αναφέρονται χωριστά μόνο όπου απαιτείται. Αρχικά, λήφθηκε υπόψη η πλήρης έκταση της περιοχής μελέτης πάνω στο χάρτη, προκειμένου να υπολογιστούν οι επιθυμητές διαστάσεις των δύο τμημάτων κατά τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου μορφής STL. Η αφετηρία στη λειτουργία του εργαλείου βρίσκεται στο **Layer to print**, το οποίο επιτρέπει τον καθορισμό του θεματικού επιπέδου, το οποίο περιέχει τα δεδομένα, δηλαδή της raster εικόνας που δημιουργήθηκε σε προηγούμενο βήμα. Μέσω της επιλογής **Print extent**, ορίζεται η περιοχή που πρόκειται να εκτυπωθεί, η οποία πρέπει να είναι ορθογώνιου σχήματος.

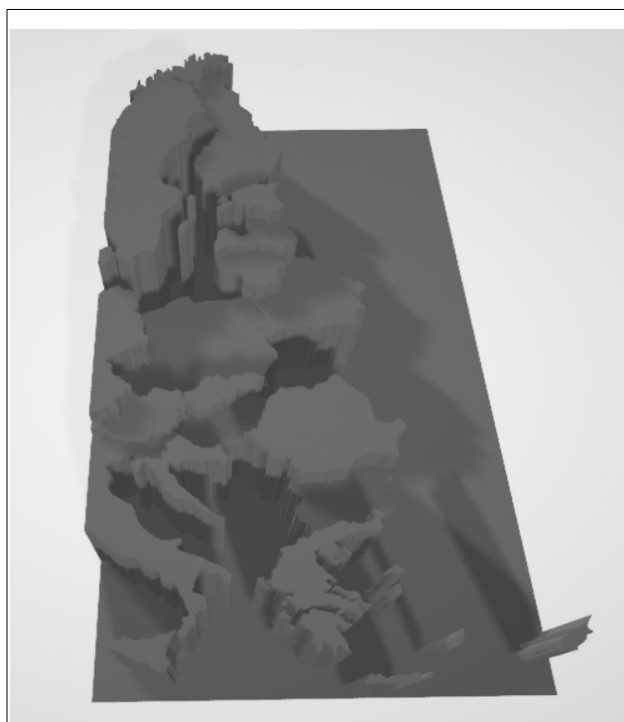
Ακολουθως, στο πεδίο **Spacing** (Απόσταση) η τιμή εκφράζει τον διαχωρισμό του πλέγματος των σημείων που ορίζουν το μοντέλο, αναλόγως την επιθυμητή γενίκευση του μοντέλου. Εν προκειμένω, επιλέχθηκε η προτεινόμενη τιμή από τον κατασκευαστή, δηλαδή τα 0.2 mm. Τα πεδία **Width**, **Length** και **Scale**, είναι αλληλοεξαρτώμενα και έτσι, αρκεί ο καθορισμός ενός για να συμπληρωθούν και τα υπόλοιπα. Οι συγκεκριμένες διαστάσεις αφορούν στις διαστάσεις εκτύπωσης του 3D εκτυπωτή Ultimaker 5.4.0 (330x240x330 mm). Βασική προϋπόθεση είναι τα δύο τμήματα του χάρτη που θα τυπωθούν να είναι στη ίδια κλίμακα, η οποία πρέπει να έχει μια ακέραια στρογγυλοποιημένη τιμή η οποία βάσει των διαστάσεων εκτύπωσης ορίστηκε 1:15000000. Προκειμένου να καλυφθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερη έκταση από τα δύο μοντέλα και εφόσον το υπόμνημα θα τυπωθεί ξεχωριστά, λαμβάνοντας συγχρόνως υπόψη πως η κλίμακα πρέπει να παραμείνει ίδια και στα δύο μοντέλα, οι διαστάσεις για το δυτικό τμήμα προέκυψαν 238.2x118.33mm και για το ανατολικό είναι 271.13x140.83mm.

Στη συνέχεια, ύστερα από δοκιμές η τιμή του **Vertical Exaggeration**, η οποία δίνει τη δυνατότητα να υπερβάλλει ή να ομαλοποιεί τα γεωχωρικά χαρακτηριστικά, ορίστηκε ίση με 0.1, δηλαδή αρκετά κάτω από τη μονάδα. Αυτό συνέβη διότι στις πραγματικές τους τιμές τα ύψη ήταν αρκετά μεγάλα για τις διαστάσεις μήκους και πλάτους του μοντέλου. Αξίζει να σημειωθεί πως το εν λόγω εργαλείο μπορεί να επιφέρει υπερβολή στις τιμές των δεδομένων, με τιμές άνω της μονάδας, όπως συνηθίζεται, αλλά και ομαλοποίηση των τιμών αν οριστεί τιμή κάτω της μονάδας. Στην επιλογή **Height** τοποθετείται η τιμή ύψους από την οποία θα ξεκινήσει η κατασκευή του μοντέλου. Καταλληλότερη τιμή επιλέχθηκε το 1.0m, ως η πιο κοντινή ακέραια τιμή στο

χαμηλότερο ύψος του μοντέλου. Τέλος, μέσω της παραμέτρου **Base Height** καθορίζεται η τιμή του ύψους βάσης, που ενδέχεται να έχει το μοντέλο, ανάλογα την προτίμηση του χρήστη. Εν προκειμένω, κρίθηκε κατάλληλο να μη δημιουργηθεί βάση, καθώς το μοντέλο θα υποβληθεί σε ιδιαίτερη επεξεργασία στο περιβάλλον Blender και ήταν πιο εύχρηστο να δημιουργηθεί η τελική βάση εκεί. Τέλος, το μέγιστο ύψος του ενιαίου μοντέλου προέκυψε στην τιμή των 50.4mm, που αντιστοιχεί στην τιμή του δείκτη για τη Δανία. Στις Εικόνες 30 και 31, φαίνονται τα δύο τρισδιάστατα μοντέλα που προέκυψαν από τη διαδικασία στο περιβάλλον QGIS, όπως απεικονίζονται σε ένα ελεύθερο πρόγραμμα θέασης 3D. Με μια πιο προσεκτική ματιά, γίνεται εμφανές πως απουσιάζουν χώρες, οι οποίες δεν έχουν δεδομένα, δηλαδή κάποια τιμή του δείκτη, που η απεικόνισή τους θα παρουσιαστεί στην επόμενη ενότητα.



Εικόνα 30: Τρισδιάστατο μοντέλο δυτικού τμήματος περιοχής μελέτης



Εικόνα 31: Τρισδιάστατο μοντέλο ανατολικού τμήματος περιοχής μελέτης

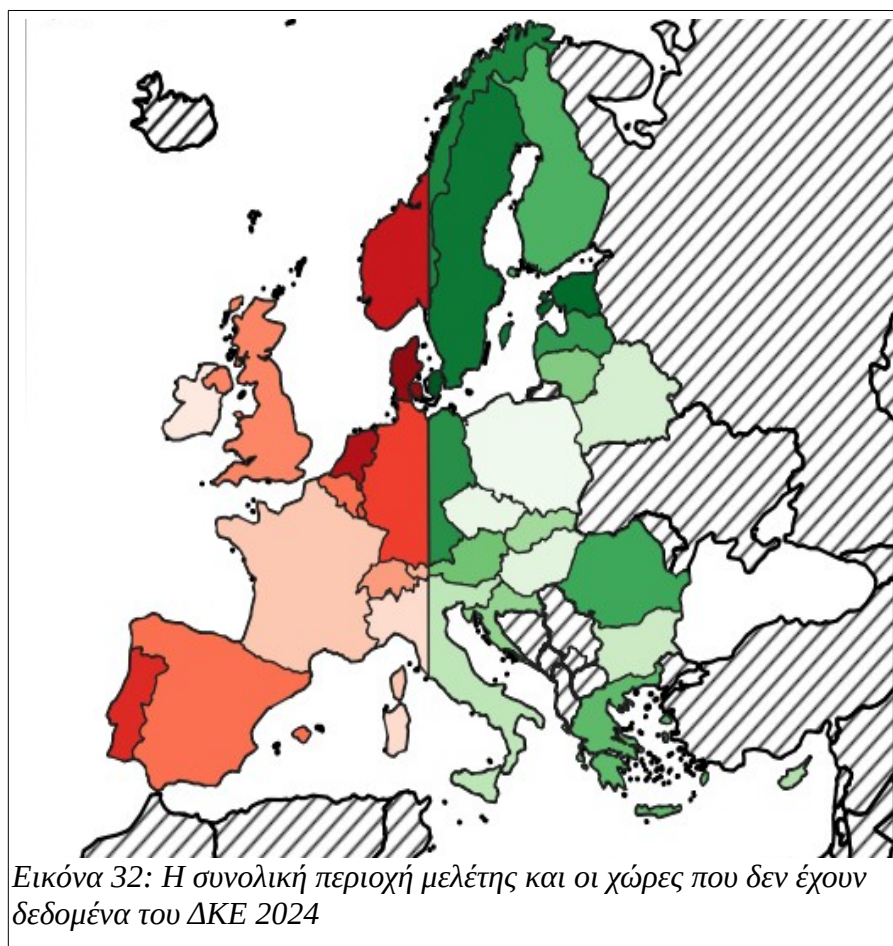
5.2.3. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΧΩΡΩΝ ΧΩΡΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

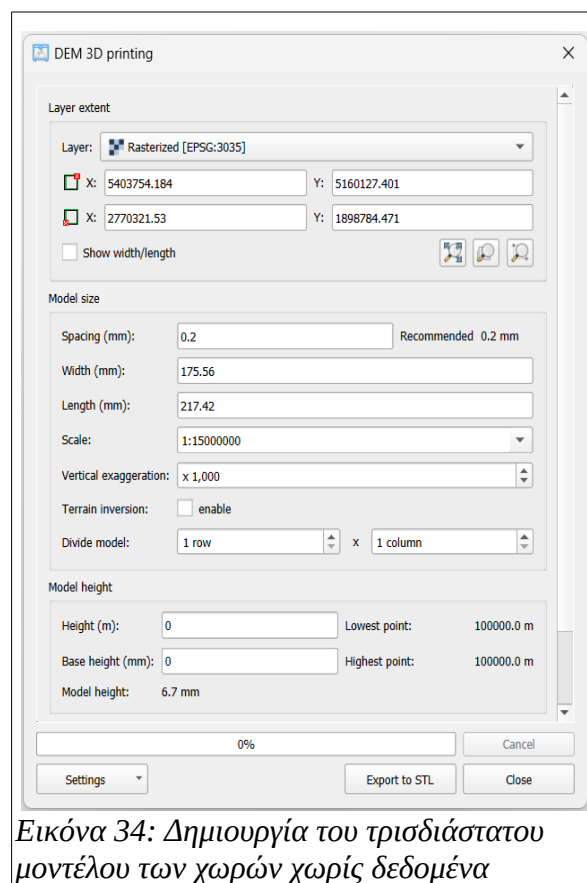
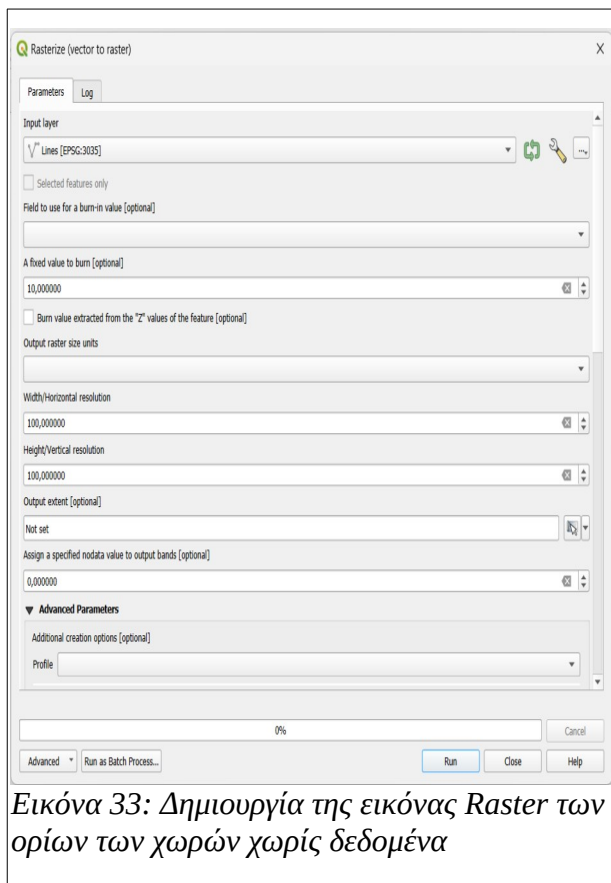
Μελετώντας την έρευνα και τη μεθοδολογία ή μόνο με μια ματιά στα αποτελέσματα του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης, κατά τα προηγούμενα έτη, αλλά και το 2024, γίνεται αντιληπτό πως παγκοσμίως, ορισμένες χώρες απουσιάζουν από την αξιολόγηση. Αρκετές χώρες σε κάθε ήπειρο δεν έχουν αξιολογηθεί από το Γερμανικό Ινστιτούτο και δεν χαρακτηρίζονται από κάποια τιμή δείκτη. Για την Ευρώπη αυτές οι χώρες είναι η Ισλανδία, η Αλβανία, το Κόσοβο, η Βόρεια Μακεδονία, η Σερβία, η Βοσνία Ερζεγοβίνη, η Μολδαβία, η Ουκρανία και το τμήμα της Ρωσίας μεταξύ Λιθουανίας και Πολωνίας. Συγχρόνως, χώρες χωρίς δεδομένα για την εν λόγω μελέτη αποτελούν και η Ρωσία και η Τουρκία.

Από τη στιγμή που οι εν λόγω περιοχές δεν λαμβάνουν μέρος στη μελέτη του ΔΚΕ 2024, δεν μπορούσαν να απεικονιστούν με οποιαδήποτε μέθοδο θα οδηγούσε σε αύξηση του ύψους τους στον τελικό τρισδιάστατο χωροπληθή χάρτη. Κάτι τέτοιο θα σήμαινε την ύπαρξη κάποιας τιμής και θα ήταν εσφαλμένη χαρτογραφική πληροφορία και εσφαλμένο αποτέλεσμα του φαινομένου απεικόνισης. Επομένως, επιλέχθηκε να απεικονιστούν με τα όριά τους υπερυψωμένα, στην ελάχιστη τιμή που θα γινόταν επαρκώς αντιληπτή από το χρήστη. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται τόσο η σωστή γεωγραφική απεικόνιση των συγκεκριμένων χωρών, όσο και η απεικόνιση της μη ύπαρξης δεδομένων στις περιοχές αυτές, χωρίς περιθώριο παρερμηνείας. Η συνολική περιοχή μελέτης με τις χώρες που διαθέτουν δεδομένα του δείκτη και αυτές που δεν διαθέτουν φαίνονται στην Εικόνα 32.

Ξεκινώντας τη διαδικασία, οι προαναφερθείσες χώρες επιλέχθηκαν από το πολυγωνικό θεματικό επίπεδο των ευρωπαϊκών χωρών και εξήχθησαν σε ένα νέο επίπεδο μέσω της εντολής **Export → Save Selected Features as**, που εξάγει τις επιλεγμένες οντότητες ενός θεματικού επιπέδου. Κατόπιν, το θεματικό επίπεδο πολυγωνικού τύπου κρίθηκε αναγκαίο να μετατραπεί σε γραμμικού τύπου, με τη βοήθεια του εργαλείου **Vector → Geometry Tools → Polygons to Lines**. Η μέθοδος αυτή προτιμήθηκε με σκοπό κατά τη δημιουργία της εικόνας raster, η οποία στη συνέχεια θα μετατρεπόταν σε τρισδιάστατο μοντέλο, να περιέχει αποκλειστικά την πληροφορία των γεωγραφικών ορίων των χωρών.

Κατά τη δημιουργία της εικόνας raster, επιλέχθηκε το θεματικό επίπεδο των ορίων, ενώ παρέμεινε κενό το πεδίο που δίνει τιμή κατά στον άξονα Z. Η προκαθορισμένη τιμή (fixed value) ορίστηκε, κατόπιν δοκιμών, η τιμή 10. Επιπλέον, σε μονάδα μέτρησης του εύρους της εικόνας το pixel, η ανάλυσή της ορίστηκε 100x100 pixels. Κατά τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου μορφής stl, ορίστηκε η περιοχή κάλυψης των χωρών χωρίς δεδομένα. Οι επιλογές ακολούθησαν τη λογική όσων ορίστηκαν κατά τη δημιουργία των δύο μοντέλων σε προηγούμενη ενότητα, με βασικότερη επιλογή αυτή της κλίμακας, δηλαδή 1:15000000. Πρέπει να τονιστεί πως εδώ δεν χρειάστηκε κάποια αλλαγή στην τιμή του δείκτη υπερβολής (vertical exaggeration). Το τελικό ύψος του μοντέλου που προέκυψε είναι τα 6.7mm. Στις Εικόνες 33 και 34, φαίνονται οι τιμές που ορίστηκαν στα δύο εργαλεία, δημιουργίας, αρχείων raster και stl αντίστοιχα.





5.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ BLENDER 4.0

5.3.1. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ BLENDER 4.0 – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΩΣΗΣ

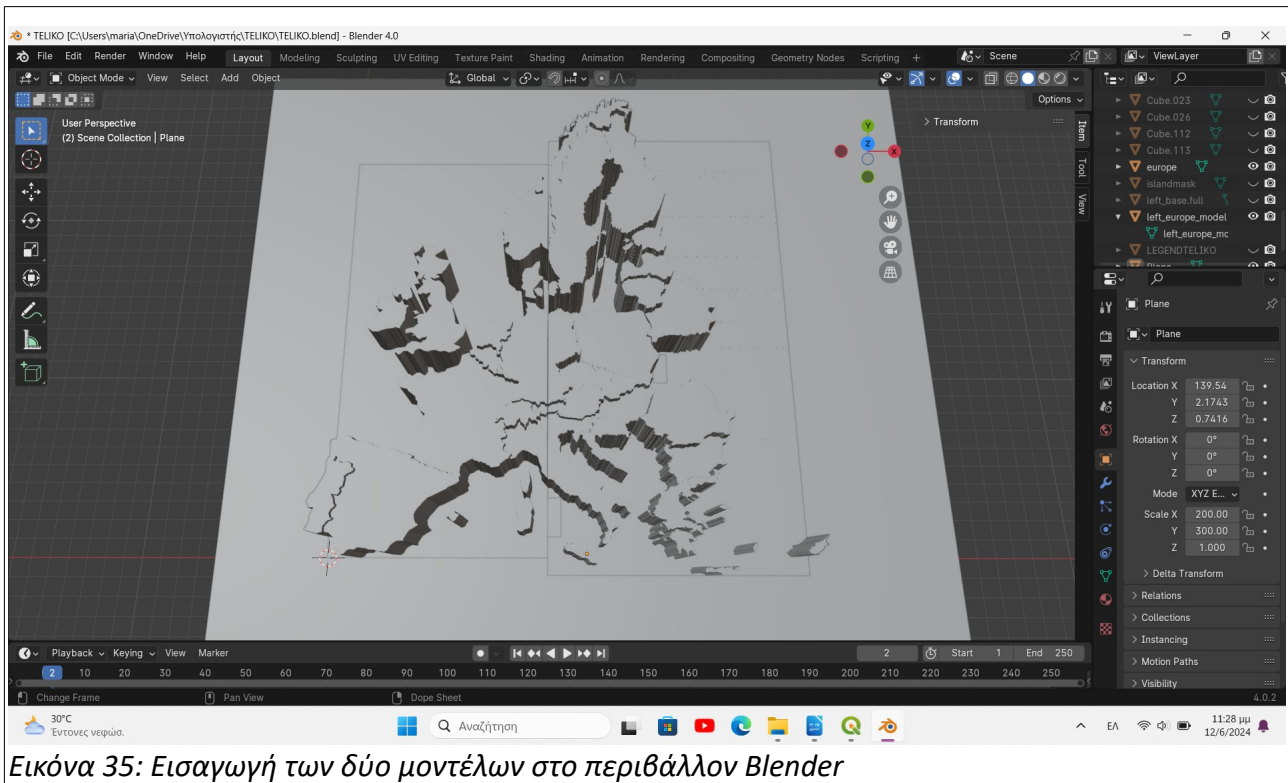
Η διαδικασία διαμόρφωσης των τρισδιάστατων μοντέλων που δημιουργήθηκαν για την παραγωγή του τελικού τρισδιάστατου χάρτη συνεχίστηκε στο λογισμικό Blender. Το συγκεκριμένο αποτελεί ένα δωρεάν πρόγραμμα σχεδιασμού 3D μοντέλων. Απευθύνεται κατά κύριο λόγο σε σχεδιαστές γραφικών, μηχανικούς, αρχιτέκτονες, animators, αλλά και game developers. Στην παρούσα εφαρμογή, σκοπός της εργασίας επί του λογισμικού ήταν η βελτίωση των μοντέλων που δημιουργήθηκαν με γεωγραφικά δεδομένα στο QGIS, η επιλογή του κατάλληλου τρόπου τομής, ούτως ώστε τα τελικά εκτυπωμένα μοντέλα να ενώνονται-“κουμπώνουν” μεταξύ τους για να προκύψει το τελικό και ακολούθως η δημιουργία του υπομνήματος και του τρόπου ένωσής του με το τελικό μοντέλο.

Σε πρώτη φάση, αφού έγινε εποπτεία του μοντέλου στο Blender 4.0, έγινε προσπάθεια για την καλύτερη δυνατή γνωριμία με το εν λόγω περιβάλλον. Σε γενικές γραμμές, το γραφικό περιβάλλον του Blender περιλαμβάνει τη Σκηνή (Viewpoint), που αποτελεί το μέρος, στο οποίο πραγματοποιείται η σχεδίαση και η θέαση τρισδιάστατων αντικειμένων, το κυρίως Μενού με επιλογές εισαγωγής αρχείων όπως είναι τα αρχεία STL που αφορούν τη συγκεκριμένη εργασία, αλλά και εξαγωγής αυτών, αποθήκευσης, και παροχής βοήθειας μέσω οδηγιών σχετικών με συγκεκριμένες εντολές. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το **Παράθυρο Ιδιοτήτων (Properties Panel)**, το οποίο αποτελεί το βασικό μενού ρυθμίσεων των αντικειμένων και είναι ένα object specific μενού, με την έννοια ότι απευθύνεται στις ρυθμίσεις του αντικειμένου που είναι κάθε φορά επιλεγμένο.

Ο έλεγχος της σκηνής πραγματοποιείται μέσω εντολών και χειρισμών που περιλαμβάνουν την περιστροφή (orbit), τη μετακίνηση (pan) και την εστίαση (zoom) με τη χρήση της ροδέλας του ποντικιού. Μέσω του εικονιδίου των τριών αξόνων X, Y και Z, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να δει το αντικείμενο μελέτης του κάθετα ως προς τον εκάστοτε άξονα, είτε από την άνω όψη (κατά τα θετικά) είτε από την κάτω (κατά τα αρνητικά). Τέλος, στη δεξιά πλευρά του περιβάλλοντος Blender, κατά τα γνώριμα πρότυπα των λογισμικών GIS, υπάρχει η λίστα των μοντέλων που βρίσκονται τη δεδομένη στιγμή στο πεδίο. Μέσω αυτού του πλαισίου, τα μοντέλα μπορούν να επιλεγθούν, να μετονομαστούν, να διαγραφούν και να επεξεργαστούν ως προς τη μορφή τους, την κλίμακα και τις διαστάσεις τους. Το τελευταίο επιτυγχάνεται με τον καθορισμό τιμών μέσω της επιλογής **Transform (Μετατροπή)**. Ταυτόχρονα, έχοντας επιλέξει ένα αντικείμενο, με την επιλογή των εργαλείων **Modifiers (Τροποποιητές)**, που αποτελούν μη- καταστροφικές λειτουργίες (non-destructive), δίνεται η δυνατότητα προσαρμογών στη γεωμετρία των αντικειμένων στο περιβάλλον Blender. Τέτοιου είδους προσαρμογές αφορούν στην αντίθεση και τη φωτεινότητα, την **εκτέλεση πράξεων Άλγεβρας Boolean**, όπως είναι η Ένωση (Union) και η Τομή (Intersect), την υποδεκάτιση των γεωμετρικών οντοτήτων του μοντέλου (Decimate) την εφαρμογή μασκών (Mask).

Αφού αναλύθηκαν τόσο το περιβάλλον του λογισμικού Blender γενικότερα, όσο και οι βασικές λειτουργίες, οι οποίες δοκιμάστηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, περιγράφεται παρακάτω η διαδικασία βελτίωσης των δύο μοντέλων, η δημιουργία του τρόπου ένωσής τους, όπως και η δημιουργία υπομνήματος. Με την επιλογή **File → Import → Stl**, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των δύο μοντέλων των τμημάτων του χάρτη απεικόνισης του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης των

ευρωπαϊκών χωρών. Επιλέγοντας ένα από τα δύο και αλλάζοντας τις συντεταγμένες του, τα δύο μοντέλα έρχονται σε θέση να εφάπτονται. Στην Εικόνα 35, φαίνονται τα μοντέλα στο περιβάλλον Blender.

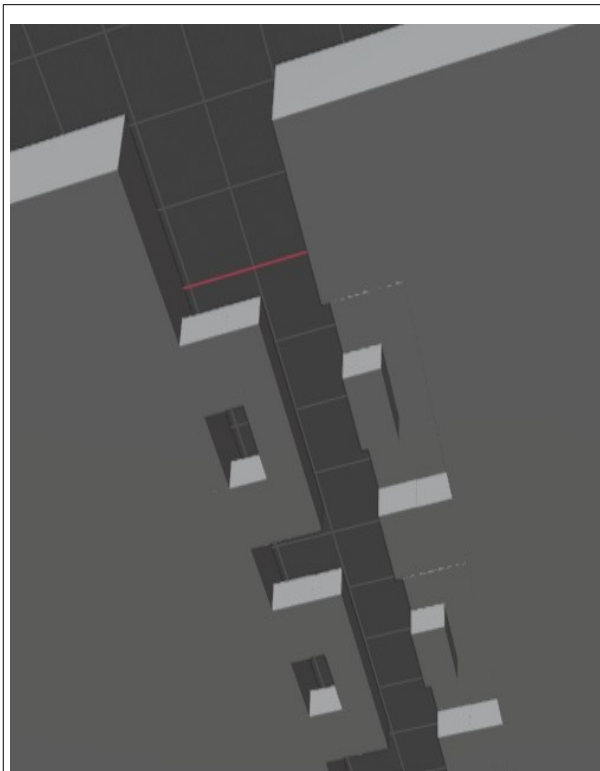


Εικόνα 35: Εισαγωγή των δύο μοντέλων στο περιβάλλον Blender

Στη συνέχεια, έπρεπε να επιλεγεί ο τρόπος ένωσης των δύο μοντέλων. Ο τρόπος αυτός θα χρησιμοποιούνταν και για την ένωση του δεξιού τμήματος με το υπόμνημα. Αποφασίστηκε να δημιουργηθεί ένα μοτίβο (pattern) ενός συγκεκριμένου σχήματος, το οποίο να λειτουργεί ως ruzzle για την ένωση των μοντέλων. Κατά συνέπεια, με βάση ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, δημιουργήθηκε το εν λόγω pattern. Από τη μία πλευρά (αριστερό τμήμα), το μοτίβο ενώθηκε μέσω της εντολή **Modifiers** → **Boolean** → **Union** και από την άλλη πλευρά (δεξιό τμήμα), το μοτίβο δημιούργησε τομές τετράγωνου σχήματος μέσω της εντολής **Modifiers** → **Boolean** → **Difference**. Το ίδιο μοτίβο χρησιμοποιήθηκε και από τη δεξιά πλευρά του δεξιού τμήματος για την ένωση με το υπόμνημα. Στην Εικόνα 36, φαίνεται το αριστερό τμήμα με την συγκεκριμένη πρώτη ένωση που δημιουργήθηκε.



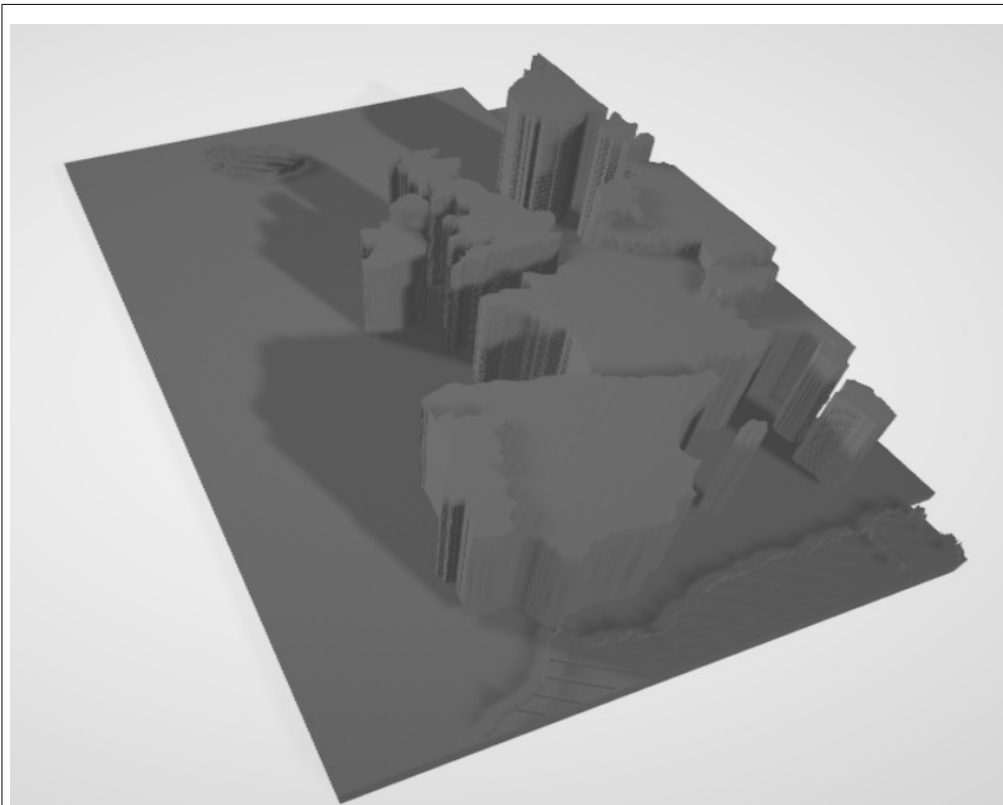
Εικόνα 36: Δοκιμαστικό τρισδιάστατο μοντέλο δυτικού τμήματος περιοχής μελέτης



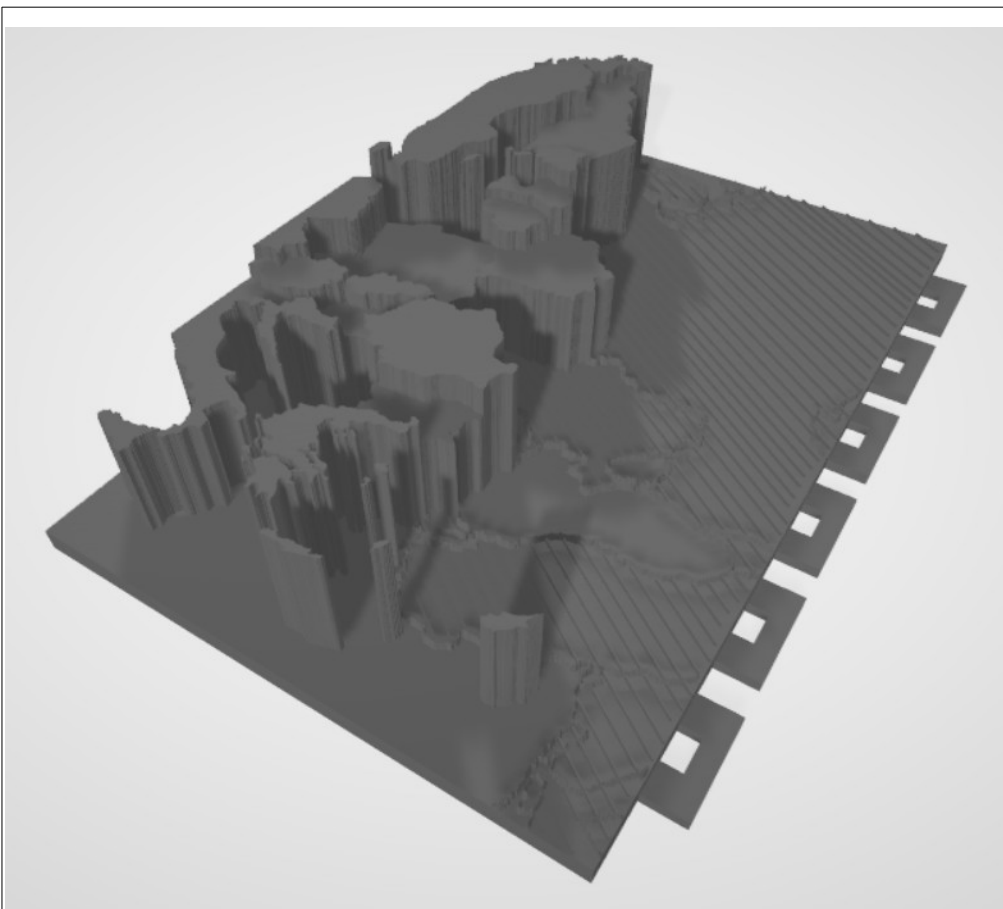
Εικόνα 37: Τελική ένωση (κουμπί) των τρισδιάστατων μοντέλων

Ωστόσο, μετά από την παραπάνω δοκιμή, και κατόπιν ώριμης σκέψης επί του θέματος της ένωσης των μοντέλων, έγινε σαφές πως η συγκεκριμένη ένωση δεν προσφέρει τη μέγιστη δυνατή αγκίστρωση των επιμέρους τμημάτων του τελικού τρισδιάστατου χάρτη. Αποτελεί έναν τρόπο ένωσης που δεν προσφέρει σταθερότητα τουλάχιστον στους δύο άξονες του επιπέδου του χάρτη. Κατά συνέπεια, προτιμήθηκε να δημιουργηθεί ένα μοτίβο που θα περιλαμβάνει ένα στοιχείο που θα έπαιζε το ρόλο κουμπιού, με το οποίο τα κομμάτια του μοντέλου θα ενώνονταν κατά το βέλτιστο μεταξύ τους. Έτσι, στο μεν δεξιό τμήμα δημιουργήθηκε ένα μοτίβο αποτελούμενο από διαδοχικά ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, τα οποία στο κέντρο τους έχουν μία οπή. Στο δε αριστερό τμήμα, το ίδιου μεγέθους ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο διαθέτει στο κέντρο του ένα μικρότερου μεγέθους παραλληλεπίπεδο, το οποίο δύναται να εισχωρήσει στην αντίστοιχη οπή του δεξιού μοντέλου και να παρέχει την επιθυμητή συγκόλληση, ή αλλιώς, το “κούμπωμα” των δύο μοντέλων. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την ένωση του δεξιού τμήματος με το υπόμνημα. Στην Εικόνα 37, φαίνεται η τελική ένωση των τρισδιάστατων μοντέλων.

Κατόπιν, έγινε εισαγωγή του μοντέλου που περιλάμβανε τις περιοχές που δεν συμμετείχαν στην αξιολόγηση και συνεπώς δεν είχαν τιμή στον Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης, οι οποίες αποκαλούνται περιοχές Χωρίς Δεδομένα (No Data). Συγχρόνως, εισήχθησαν και οι χώρες πέριξ της περιοχής μελέτης και αποτελούν τα όρια του χάρτη όπως είναι οι χώρες της Αφρικής που βρέχονται από τη Μεσόγειο Θάλασσα. Εφόσον και αυτό είχε γίνει εξαγωγή από το περιβάλλον GIS στην ίδια κλίμακα με τα μοντέλα της περιοχής μελέτης, δηλαδή την 1:15000000, δεν υπήρξε πρόβλημα τοποθέτησής του πάνω στα δύο μοντέλα. Κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί μια αλλαγή στην κλίμακα κατά Z, ούτως ώστε να γίνονται εύκολα διακριτά τα όρια αυτών των χωρών, που δεν έχουν πρισματική μορφή και αναπαρίστανται με τα όρια τους και μια διαγράμμιση με γραμμές υπό γωνία 315°. Τέλος, δημιουργήθηκε η βάση πάχους 8mm ξεχωριστά για τα δύο μοντέλα, δίνοντας προσοχή και με τις κατάλληλες παραμετροποιήσεις, ούτως ώστε να είναι σωστών διαστάσεων και να υπακούει στο μοτίβο-ένωση των μοντέλων, που είχε δημιουργηθεί. Το τελικό μοντέλο που αποτελεί το αριστερό τμήμα (δυτική Ευρώπη) έχει διαστάσεις 280x172.2x58.4mm. Το τελικό μοντέλο που αποτελεί το δεξιό τμήμα (ανατολική Ευρώπη) έχει διαστάσεις 280x186.2x58.4mm. Με δεδομένο πως ο εκτυπωτής Ultimaker Cura S5 του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας εκτυπώνει σε διαστάσεις 330x240x300mm, τα δύο μοντέλα είναι σωστά. Παρακάτω, στις Εικόνες 38 και 39, παρουσιάζονται τα δύο τελικά μοντέλα, όπως προέκυψαν από την επεξεργασία τους μέσω του Blender.



Εικόνα 38: Τελικό τρισδιάστατο μοντέλο αριστερού τμήματος χάρτη



Εικόνα 39: Τελικό τρισδιάστατο μοντέλο δεξιού τμήματος χάρτη

5.3.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΧΑΡΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΜΝΗΜΑΤΟΣ

Βασικά στοιχεία, χωρίς τα οποία ένας χάρτης δεν υφίσταται, αποτελούν ο τίτλος, το υπόμνημα και η κλίμακα απεικόνισης. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν την ταυτότητα του χάρτη και παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για αυτόν. Ο τρισδιάστατος χάρτης δεν αποτελεί εξαίρεση στην εφαρμογή των βασικών κανόνων δημιουργίας ενός χάρτη και των χαρακτηριστικών του. Εν προκειμένω, ο τρισδιάστατος χωροπληθής χάρτης που επρόκειτο να δημιουργηθεί πρέπει να έχει αυτά τα χαρακτηριστικά και το υπόμνημα του να αναγράφει το σύνολο των οντοτήτων που τον αποτελούν με επάρκεια και σαφήνεια.

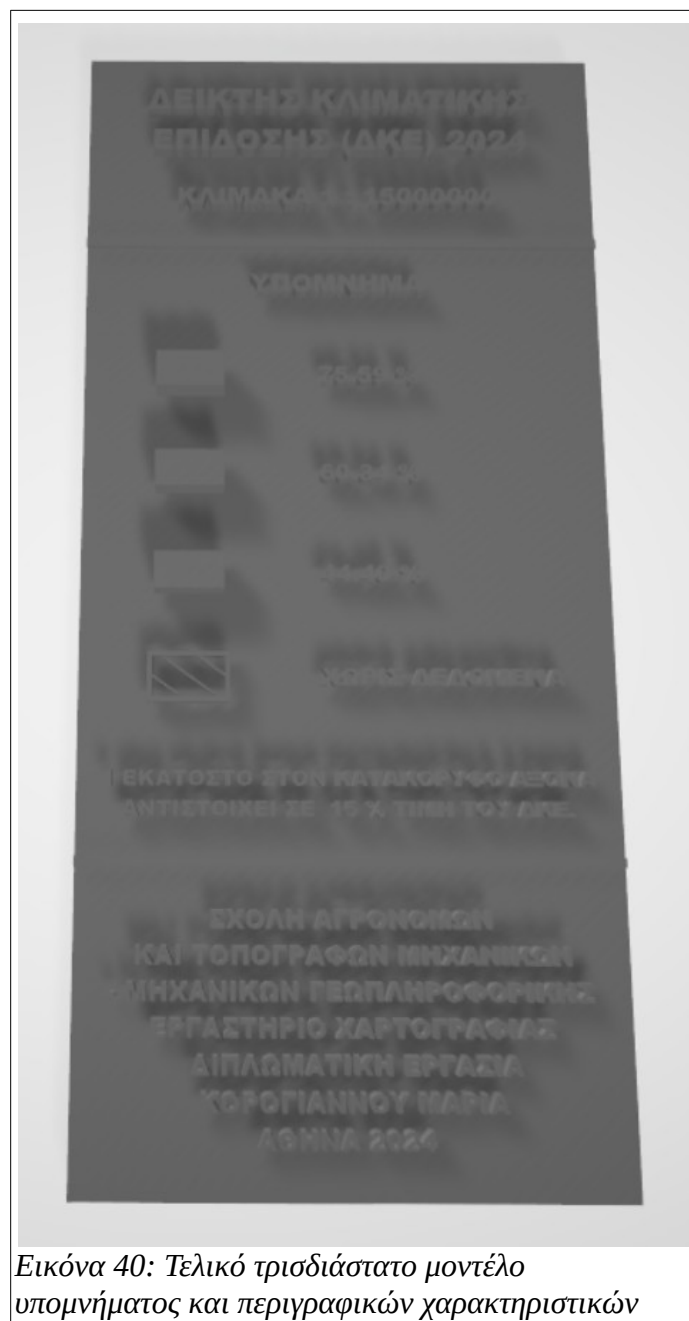
Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε το σχεδιαστικό περιβάλλον του Blender δεν χρησιμοποιείται για χαρτογραφικούς σκοπούς, όσο δύναται να είναι γνωστό, και κατά συνέπεια, δεν περιλαμβάνει τους απαραίτητους χαρτογραφικούς συμβολισμούς, όπως υφίστανται με πλήρη επάρκεια σε περιβάλλοντα GIS. Εξαιτίας των παραπάνω, κρίθηκε αναγκαία η εξ αρχής δημιουργία τίτλου, υπομνήματος και κλίμακας. Η εν λόγω διαδικασία, πέρα από τον απαραίτητο χαρακτήρα της, συγχρόνως, επιλύει το πρόβλημα της έλλειψης χρώματος στη συγκεκριμένη απεικόνιση.

Αρχικά, δημιουργήθηκε η βάση πάνω στην οποία θα τοποθετούνταν όλα τα περιγραφικά χαρακτηριστικά του χάρτη, διαστάσεων 130x280mm. Πέρα από το υπόμνημα, ο χάρτης κρίθηκε απαραίτητο να διαθέτει τίτλο και κλίμακα, όπως και το όνομα του συντάκτη και τα στοιχεία της ΣΑΤΜ-ΜΓ και του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας. Αξίζει να σημειωθεί πως η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου αποτελούμενο από κείμενο αποτελεί ένα ξεχωριστό κομμάτι της ενασχόλησης με το λογισμικό Blender. Σε πρώτη φάση, δημιουργείται μια οντότητα κειμένου μέσω του μενού των αντικειμένων και της εντολής **Add → Text**. Κατόπιν, μέσω του μενού Data του αντικειμένου, επιλέχθηκε το ύψος του αντικειμένου μέσω της επιλογής **Geometry → Extrude**. Συγχρόνως, εκεί πραγματοποιείται και η επιλογή της γραμματοσειράς του κειμένου (font). Εφόσον έγινε αμέσως αντιληπτό πως στην προεπιλεγμένη γραμματοσειρά, δεν γινόταν δυνατό να γραφτούν ελληνικά, ορίστηκε η γραμματοσειρά Arial Black. Αφού περιγράφηκαν τα χαρακτηριστικά και ο τρόπος γραφής του υπομνήματος, παρακάτω αναλύεται το τελικό τμήμα του χάρτη που περιέχει το υπόμνημα δημιουργήθηκε στο περιβάλλον του Blender 4.0.

Στο επάνω μέρος, αναγράφηκαν τα βασικά στοιχεία του χάρτη, δηλαδή ο τίτλος “Δείκτης Κλιματικής Επίδοσης 2024” και η κλίμακα 1:15.000.000. Κεντρικό τμήμα αποτέλεσε αυτό στο οποίο θα τοποθετούνταν το υπόμνημα. Επιλέχθηκε το υπόμνημα να περιλαμβάνει, τρεις συγκεκριμένες τιμές του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης, οι οποίες αναπαρίστανται στο χάρτη, καθώς και ο συμβολισμός των περιοχών Χωρίς Δεδομένα (No Data). Ειδικότερα, επιλέχθηκαν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, όπως και μια ενδιάμεση τιμή, ειδικότερα η τιμή του δείκτη για την Ελλάδα, οι οποίες απεικονίστηκαν με τη χρήση του συμβόλου ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου, διαστάσεων 17x9x7 mm και το σύμβολο No Data, το οποίο συνιστά το περίγραμμα του αντίστοιχου ορθογώνιου παραλληλογράμμου με τη χρησιμοποιούμενη διαγράμμιση εντός του.

Όπως στον χάρτη, έτσι και στο υπόμνημα οι τιμές αναπαραστάθηκαν με τη μορφή πρισμάτων ύψους ανάλογου της συγκεκριμένης τιμής. Τα πρίσματα του υπομνήματος δημιουργήθηκαν στο περιβάλλον Blender από το μενού προσθήκης οντοτήτων, **Add → Mesh → Cube**. Συγχρόνως, εντός του υπομνήματος στο κάτω μέρος, κρίθηκε χρήσιμο να περιλαμβάνεται η πληροφορία που αφορά στα ύψη των πρισμάτων-χωρών και την αντίστοιχη τιμή του ΔΚΕ 2024, ώστε ο χρήστης να μπορεί με έναν χάρακα να μετρήσει μια χώρα στον κατακόρυφο άξονα και κάνοντας τον υπολογισμό να εξάγει την πληροφορία για την τιμή του δείκτη που αντιστοιχεί στη χώρα. Έτσι, το υπόμνημα αναφέρει συγκεκριμένα πως “1 εκατοστό στον κατακόρυφο άξονα αντιστοιχεί σε 15% τιμή του ΔΚΕ”. Τέλος, το κατώτερο μέρος περιλάμβανε τα στοιχεία που αφορούσαν τον συντάκτη, τη ΣΑΤΜ-ΜΓ και το Εργαστήριο Χαρτογραφίας, το έτος και τον τόπο κατασκευής. Στην Εικόνα 40, παρουσιάζεται το τελικό μοντέλο του πλαισίου των περιγραφικών χαρακτηριστικών όπως προέκυψε μέσω του λογισμικού Blender 4.0.

Έχοντας ολοκληρώσει την κατασκευή του πλαισίου των περιγραφικών χαρακτηριστικών του χάρτη, με τον τίτλο και το υπόμνημα, τα τρία πλέον, τμήματα της εκτύπωσης είναι έτοιμα για την εισαγωγή στο λογισμικό Ultimaker Cura 5.7.2 προτού προχωρήσουν στην τελική εκτύπωση.



Εικόνα 40: Τελικό τρισδιάστατο μοντέλο υπομνήματος και περιγραφικών χαρακτηριστικών

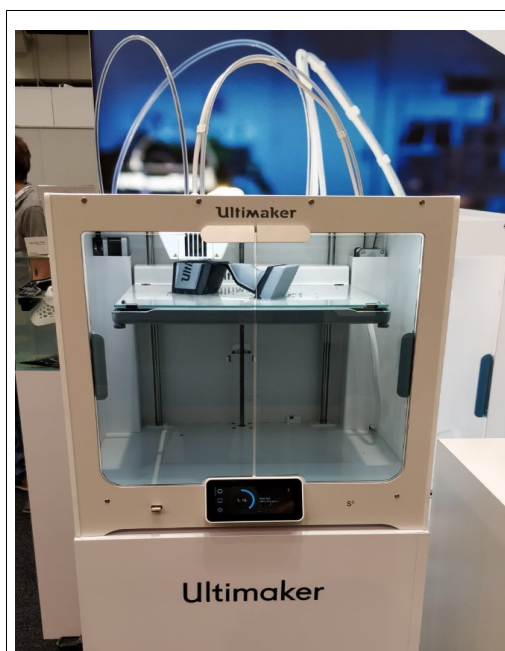
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

6.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ ULTIMAKER S5

Τη διαδικασία επεξεργασίας και ολοκλήρωσης του τρισδιάστατου μοντέλου στο λογισμικό Blender ακολούθησε η εισαγωγή του 3D μοντέλου απεικόνισης του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης στο περιβάλλον του λογισμικού Ultimaker Cura 5.7.2. Το συγκεκριμένο λογισμικό αποτελεί το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας του μοντέλου, μιας και αφού πραγματοποιηθεί, η διαδικασία προχωρά στην παραγωγή από τον εκτυπωτή Ultimaker S5 του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας.

Ο εκτυπωτής Ultimaker S5 διαθέτει διπλή εξώθηση και διαστάσεις 330 x 240 x 300 mm (13 x 9,5 x 11,8 ίντσες). Όπως όλες οι προηγούμενες εκδόσεις, δύναται να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για μια πληθώρα επαγγελματιών, καθώς το εύρος των πιθανών εφαρμογών αυξάνεται ραγδαία. Επιπλέον, ως ένας από τους πλέον σύγχρονους τρισδιάστατους εκτυπωτές, διαθέτει διαδραστική οθόνη αφής τεχνολογίας LED με προεπισκόπηση της εκτύπωσης, αισθητήρας ροής νήματος για δυνατότητα διακοπής της διαδικασίας, εμπρόσθιες θύρες από γυαλί στην είσοδο του κλειστού θαλάμου κατασκευής και εξαρτήματα ενισχυμένης σκληρότητας (ultimaker.com, 2024).



Εικόνα 41: Εκτυπωτής Ultimaker S5 στην εμπορική έκθεση Hannover Messe (Svitlana Lozova, 2018)

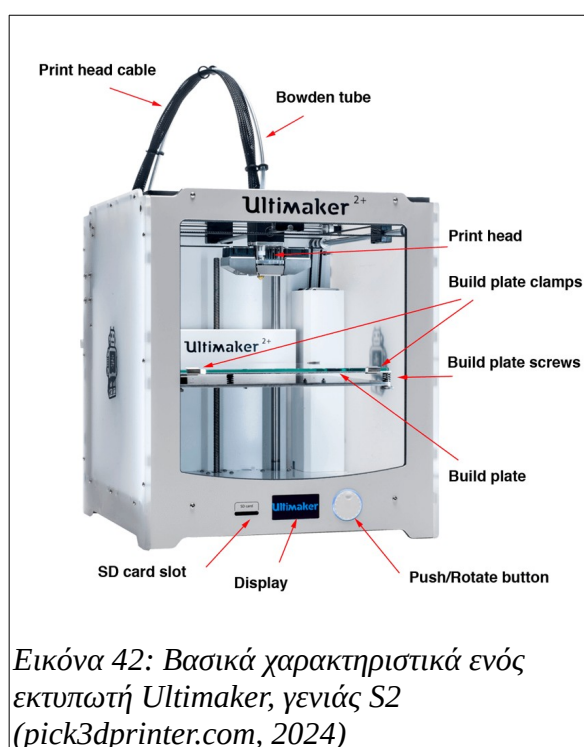
Προκειμένου να γίνουν πλήρως κατανοητά τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του εκτυπωτή Ultimaker S5, τόσο ως προς τα προηγούμενα μοντέλα της σειράς όσο και ως προς τον ανταγωνισμό, παρατίθενται εν συντομία ένα μέρος του φάσματος των γνωρισμάτων του.

Κατά κύριο λόγο, τα χαρακτηριστικά του αφορούν στην εξαιρετικά ενισχυμένη αξιοπιστία και αποδοτικότητα του συγκριμένου εκτυπωτή. Αν και κατά το παρελθόν, τα μοντέλα 3D εκτυπωτών απαιτούσαν χειροκίνητη επιπέδωση, ο συγκεκριμένος έχει λάβει σημαντικές βελτιώσεις στο ενεργό σύστημα επιπέδωσης της βάσης εκτύπωσης, έτσι ώστε να εξασφαλίζουν την πλήρως ολοκληρωμένη πρόσφυση του πρώτου στρώματος. Σε ότι αφορά το ζήτημα των παρεμβάσεων από το εξωγενές περιβάλλον και της σταθερότητας της θερμοκρασίας εντός του θαλάμου εκτύπωσης, ο εκτυπωτής είναι εξοπλισμένος με γυάλινες «θύρες», μειώνοντας έτσι τη ροή του αέρα (3dbeginners.com, 2024).

Με έναν τέτοιο 3D printer, ο τρόπος και ο χρόνος λειτουργίας και η ευελιξία κατά την εφαρμογή έχουν προοδεύσει ιδιαίτερα. Μέσα σε λιγιστό χρόνο, οι πυρήνες εκτύπωσης και το ακροφύσιο μπορούν να αντικατασταθούν από τον χρήστη, ακολουθώντας τις προδιαγραφές και τις ιδιαιτερότητες της συγκεκριμένης εφαρμογής που πρόκειται να υλοποιηθεί. Συγχρόνως, η οθόνη αφής που έχει προστεθεί επιτυγχάνει τη βέλτιστη διαχείριση των εργασιών εκτύπωσης, αλλά ταυτόχρονα συμβάλλει στην καλύτερη συντήρηση του μηχανήματος.

Συνολικά, γίνεται σαφές πως ο εκτυπωτής έχει σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιείται εύκολα από τους χρήστες, τόσο με τη διεπαφή με την οθόνη αφής, όσο και με την αυτοματοποιημένη βαθμονόμησή του. Επιπλέον, χρόνος εξοικονομείται και κατά τη διαμόρφωση της εκάστοτε εφαρμογής, η έκδοση S5 αξιοποιεί τα ενσωματωμένα υλικά, τα οποία διαθέτει, ανιχνεύει αυτόματα τα κατάλληλα νήματα προς επεξεργασία με δυνατότητα NFC. Διατίθεται μια ποικιλία υλικών κατάλληλων για εκτυπώσεις FDM μεθόδου, όπως σκληρό PLA, PLA, νάιλον, ABS, CPE, CPE+, πολυανθρακικό, TPU 95A, πολυπροπυλένιο, και PVA, δηλαδή οποιοδήποτε υλικό 2,85 mm, το οποίο εξωθείται σε θερμοκρασίες μέχρι τους 280 C. Σε επίπεδο εκτύπωσης μεγάλων πρωτοτύπων, ο Ultimaker S5 διαθέτει έναν από τους μεγαλύτερους όγκους κατασκευής (330 x 240 x 300 mm) (techradar.com, 2024).

Βάσει των παραπάνω χαρακτηριστικών, τα τελικά εξαγόμενα μοντέλα και εξαρτήματα δύναται να επιτύχουν υψηλά και ιδιαίτερα επαγγελματικά επίπεδα, τόσο αισθητικά όσο και κατασκευαστικά. Τέλος, το μοντέλο S5 διαθέτει μόνιμη ενσωματωμένη συνδεσιμότητα Wi-Fi αλλά και Ethernet. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη ιδιαίτερα συχνή χρήση κινητών τηλεφώνων σήμερα, τα οποία έρχονται με λειτουργικό σύστημα Android και iOS, παρέχεται η μέγιστη δυνατή συνδεσιμότητα στον χρήστη του Ultimaker οποιαδήποτε στιγμή είναι αναγκαίο. Κατά συνέπεια, δίνεται η δυνατότητα για άμεση και εύκολη παρακολούθηση των εργασιών εκτύπωσης εν τη απουσία του χρήστη, χρησιμοποιώντας την ενσωματωμένη κάμερα του εκτυπωτή μέσω της smart συσκευής τηλεφώνου. Συγχρόνως, δεν απουσιάζει η πλέον διαδεδομένη μορφή σύνδεσης USB.

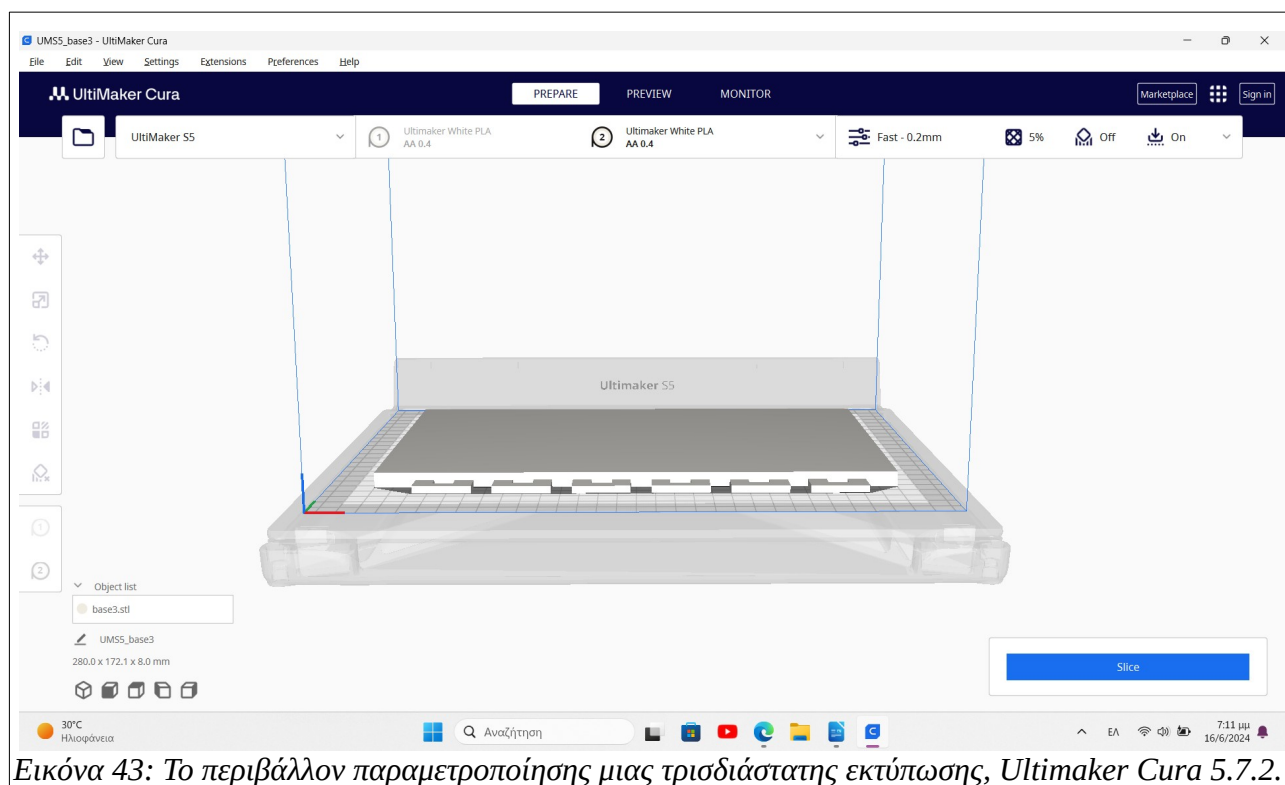


Εικόνα 42: Βασικά χαρακτηριστικά ενός εκτυπωτή Ultimaker, γενιάς S2 (pick3dprinter.com, 2024)

6.2. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ULTIMAKER CURA 5.7.2

Απαραίτητο εργαλείο της τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελεί το λογισμικό Ultimaker Cura 5.7.2. Πρόκειται για ένα ελεύθερο λογισμικό της εταιρίας Ultimaker με πληθώρα δυνατοτήτων και παραμετροποιήσεων που αφορούν την τρισδιάστατη εκτύπωση. Σκοπός της επεξεργασίας του εκάστοτε μοντέλου μέσω του εν λόγω λογισμικού αποτελεί η βέλτιστη δυνατή απόδοση του από τον εκτυπωτή Ultimaker S5. Βασικό χαρακτηριστικό του λογισμικού καθίσταται ο αποκαλούμενος τεμαχισμός “slicing”, ώστε το μοντέλο να μετατραπεί σε εκτυπώσιμα στρώματα, προκειμένου να

δοθούν οι κατάλληλες οδηγίες στον εκτυπωτή. Επιπλέον, προκειμένου να γίνει κατανοητό το περιβάλλον καθορισμού μιας τρισδιάστατης εκτύπωσης, αξίζει να γίνει αναφορά στις δυνατότητες ορισμού του εκτυπωτή στον οποίο πρόκειται να πραγματοποιηθεί η εκτύπωση, όπως και ορισμού του ενός εκ των δύο καρουλιών που διαθέτει ο εκτυπωτής και του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί. Στην προκειμένη περίπτωση, ο εκτυπωτής του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας είναι ο Ultimaker S5, ενώ το καρούλι ήταν το πρώτο με εγκατεστημένο υλικό το Ultimaker PLA, με πυρήνα εκτύπωσης (print core) AA 0.4 και χρώματος Pearl White. Ανοίγοντας ένα τρισδιάστατο μοντέλο στο περιβάλλον Cura, όπως στο Σχήμα 43, προσφέρονται οι δυνατότητες μετακίνησης (move), αλλαγής κλίμακας (scale), περιστροφής (rotation) ως προς τους τρεις άξονες και αντικατοπτρισμού (mirror), ώστε να βρεθεί στο κατάλληλο μέγεθος και θέση για την εκάστοτε εκτύπωση.



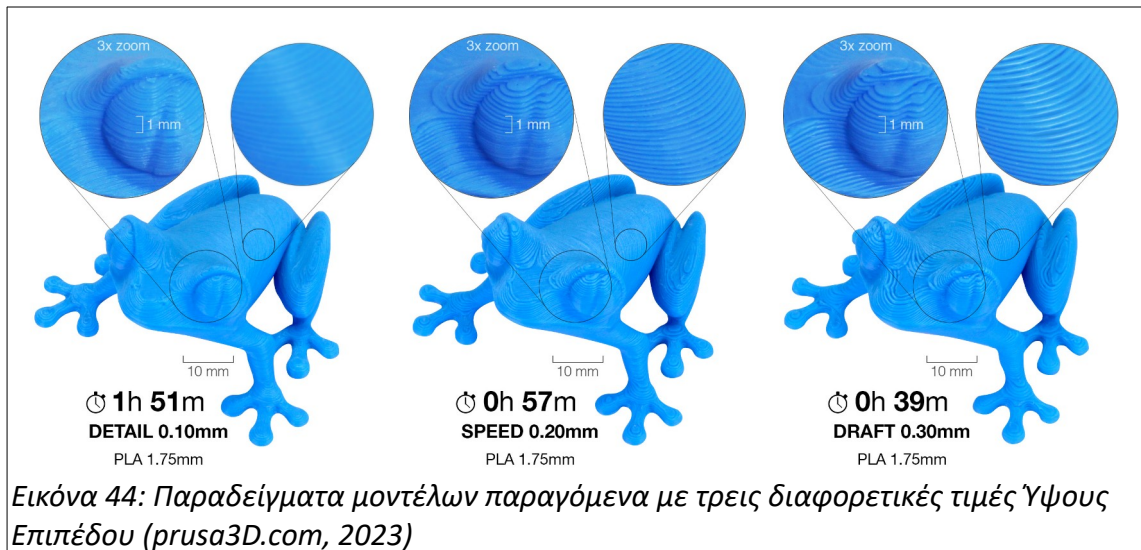
Εικόνα 43: Το περιβάλλον παραμετροποίησης μιας τρισδιάστατης εκτύπωσης, Ultimaker Cura 5.7.2.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, τα τρία αρχεία που αποτελούν τον τρισδιάστατο χάρτη απεικόνισης του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης για το 2024, δεν απαιτήθηκαν ιδιαίτερες παραμετροποιήσεις. Συνεπώς, γίνεται σαφές πως η ποικιλία ρυθμίσεων του λογισμικού δεν απαιτήθηκαν, παρά μόνο ορισμένες εξ αυτών, οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατασκευή του μοντέλου και παρουσιάζονται παρακάτω. Οι περισσότερες παραμετροποιήσεις μάλιστα έχουν αρκετές εναλλακτικές επιλογές, από τις οποίες κάποιες διαφοροποιήθηκαν, ωστόσο οι

περισσότερες έμειναν ως οι προκαθορισμένες του περιβάλλοντος Cura (Ultimaker.com, 2024). Οι κυριότερες κατηγορίες ρυθμίσεων είναι οι εξής:

1. Ρυθμίσεις Ποιότητας (Quality Settings):

Οι ρυθμίσεις που αφορούν την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος, καθορίζουν την ανάλυση των χαρακτηριστικών της εκτύπωσης και κατά συνέπεια, το επίπεδο λεπτομέρειας. Πρώτη επιλογή αποτελεί το Ύψος Επιπέδου (Layer Height), όπου καθορίζεται το πάχος των στρωμάτων της εκτύπωσης. Η συγκεκριμένη επιλογή τιμής επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τόσο την τελική ποιότητα όσο και το χρόνο εκτύπωσης. Αυτό συμβαίνει διότι, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του ύψους, τόσο μικραίνει η λεπτομέρεια και μειώνεται ο χρόνος εκτύπωσης, αλλά και το αντίστροφο. Το Cura περιλαμβάνει ορισμένα προκαθορισμένα προφίλ εκτύπωσης με βάση το ύψος επιπέδου, τα οποία οδηγούν σε διαφορετικό επίπεδο λεπτομέρειας και αποκαλούνται ανάλογα την εφαρμογή και τις ανάγκες Visual, Balanced, Engineering και Draft. Εν προκειμένω, η τιμή που επιλέχθηκε είναι τα 0.2mm, τιμή η οποία χαρακτηρίζεται από το πρόγραμμα ως Fast, δηλαδή γρήγορη και όχι τόσο λεπτομερής. Στο Σχήμα 44, παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές τιμές Ύψους Επιπέδου επί του ίδιου τρισδιάστατου μοντέλου (0.10mm-0.20mm-0.30mm). Γίνεται σαφές πως ο χρόνος εκτύπωσης αλλάζει αισθητά, όμως η λεπτομέρεια των τριών εκτυπώσεων δεν διαφοροποιείται τόσο, ώστε να γίνεται εύκολα αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι.

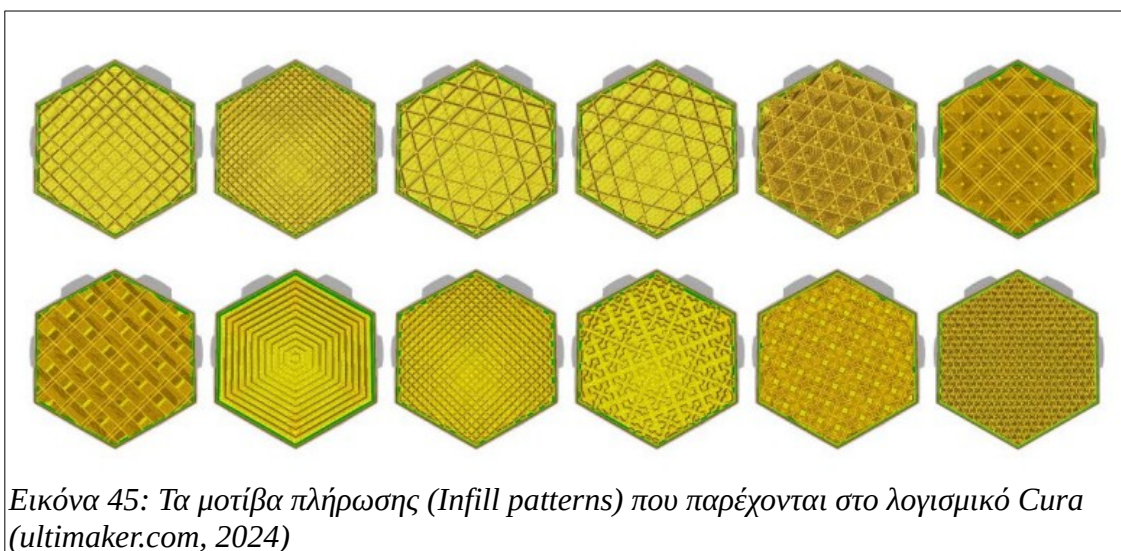


2. Ρυθμίσεις Γεμίματος (Infill Settings):

Στη συγκεκριμένη ενότητα ρυθμίσεων, προσδιορίζεται ο τρόπος με τον οποίο ο εκτυπωτής πρόκειται να οικοδομήσει την εσωτερική δομή του τρισδιάστατου μοντέλου. Με άλλα λόγια, η επιλογή καθορίζει την πυκνότητα πλήρωσης (Infill Density) του μοντέλου, δηλαδή προσφέρει τον έλεγχο του βαθμού διαπερατότητας του μοντέλου. Η εν λόγω τιμή υφίσταται ως ποσοστό του μέρους της εσωτερικής δομής τους εκτυπωμένου μοντέλου και όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό τόσο πιο πλήρες εσωτερικά είναι το μοντέλο.

Εν προκειμένω, η ποιότητα πλήρωσης κρίθηκε σκόπιμο να οριστεί μεταξύ 5-8 %, μιας και ο συγκεκριμένος χάρτης αποτελείται από πρίσματα και δεν απαιτεί μεγάλη πυκνότητα υλικού εσωτερικά. Συγχρόνως, δεν ήταν δυνατό να αυξηθεί περαιτέρω ο χρόνος εκτύπωσης, μιας και επρόκειτο να εκτυπωθούν τρία τρισδιάστατα μοντέλα (δύο τμήματα της περιοχής μελέτης και το τμήμα του υπομνήματος). Έτσι, το ποσοστό Πυκνότητας Πλήρωσης ισούται με 5%. Αυτομάτως, η τιμή της Απόστασης μεταξύ των επιπέδων (Infill Line Distance) τέθηκε ίση με 24mm από το πρόγραμμα.

Μια ακόμα δυνατότητα που παρέχεται από το μενού των ρυθμίσεων που αφορούν την πυκνότητα πύκνωσης είναι η επιλογή ορισμού του μοτίβου της εκτυπωμένης δομής εσωτερικής πλήρωσης. Αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμη ρύθμιση για την πλειοψηφία των εφαρμογών και καθορίζεται από το βαθμό ισχυροποίησης της πλήρωσης (strong-quick) και συγχρόνως από το αν απαιτείται πλήρωση ως προς τις δύο ή τις τρεις διαστάσεις. Ορισμένα από τα βασικά διαθέσιμα μοτίβα είναι το τετράγωνο πλέγμα (grid), οι γραμμές (lines), τα τρίγωνα (triangles) και το πλέγμα διαγώνιας κατεύθυνσης (zig-zag). Το μοτίβο που επιλέχθηκε είναι το Τριγωνικό (triangles). Στην Εικόνα 45, φαίνονται τα προαναφερθέντα μοτίβα, όπου το τρίτο κατά σειρά είναι το επιλεγμένο.



Εικόνα 45: Τα μοτίβα πλήρωσης (Infill patterns) που παρέχονται στο λογισμικό Cura (ultimaker.com, 2024)

3. Ρυθμίσεις Υλικού (Material Settings):

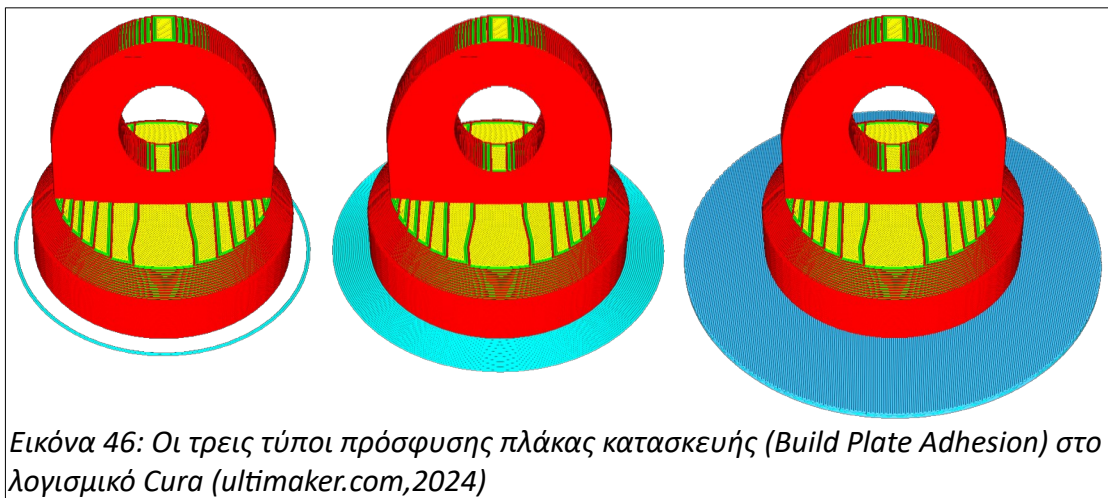
Σε ότι αφορά την ενότητα ρυθμίσεων του υλικού της εκτύπωσης, η επιλογή σχετίζεται με τις θερμοκρασίες κατά τις διάφορες φάσεις της διαδικασίας. Αρχικά, η θερμοκρασία εκτύπωσης (printing temperature) είναι η θερμοκρασία, υπό την οποία θα ρυθμιστεί το ακροφύσιο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης. Η συγκεκριμένη επιλογή είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω της επίδρασης που έχει στη ροή του υλικού για το μοντέλο και είναι προδιαγεγραμμένη στους 205°C. Η βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας εκτύπωσης μπορεί να λύσει πολλά προβλήματα εκτύπωσης και να παράγει εκτυπώσεις καλύτερης ποιότητας. Από την άλλη, μια κακή επιλογή της θερμοκρασίας εκτύπωσης μπορεί να προκαλέσει πολλές ατέλειες και αποτυχίες εκτύπωσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις κατά τις οποίες έχουν οριστεί υψηλές ταχύτητες, μεγαλύτερα ύψη στρώματος ή ευρύτερες γραμμές, συνιστάται η χρήση υψηλότερης θερμοκρασίας εκτύπωσης για να συμβαδίζετε με το επίπεδο ροής υλικού που απαιτείται. Συγχρόνως, η επιλογή δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλή, διότι δύναται να οδηγήσει σε προβλήματα, όπως η υπερβολική εκτίναξη υλικού ή η απόφραξη του ακροφυσίου. Σε ότι αφορά τη θερμοκρασία της πλάκας εκτύπωσης (Build Printing Temperature), αυτή η ρύθμιση έχει προκαθορισμένη από το πρόγραμμα τιμή ίση με 60°C. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εκτύπωσης, δεν κρίθηκε απαραίτητη η αλλαγή κάποιας υπό-επιλογής ρυθμίσεων θερμοκρασιών και παρέμειναν όπως προτείνει το λογισμικό.

4. Ρυθμίσεις Πρόσφυσης Πλάκας Κατασκευής (Build Plate Adhesion Settings):

Τελευταία και ιδιαίτερα χρήσιμη ρύθμιση που πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον Cura είναι η επιλογή Πρόσφυσης Πλάκας Δόμησης (Build Plate Adhesion). Η συγκεκριμένη ρύθμιση συμβάλλει στον καθορισμό του βαθμού συγκόλλησης του πρώτου στρώματος εκτύπωσης επί της πλάκας δόμησης. Παρέχονται εναλλακτικές επιλογές σχετικές με την αύξηση της πρόσφυσης υλικού και της σταθερότητας του μοντέλου πάνω στην πλάκα κατασκευής. Οι εν λόγω εναλλακτικές είναι οι Skirt (Περίβλημα), Brim (Χείλος) και Raft (Σχεδία). Τέτοιου είδους ρυθμίσεις διασφαλίζουν πως το ακροφύσιο προετοιμάζεται σωστά πριν από κάθε εκτύπωση και συνεπώς δίνεται η δυνατότητα να προστεθούν βοηθητικά στοιχεία. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει ότι η εκτύπωση κολλάει επαρκώς στην πλάκα δόμησης, αυξάνοντας έτσι, το ποσοστό επιτυχίας του τελικού αποτελέσματος.

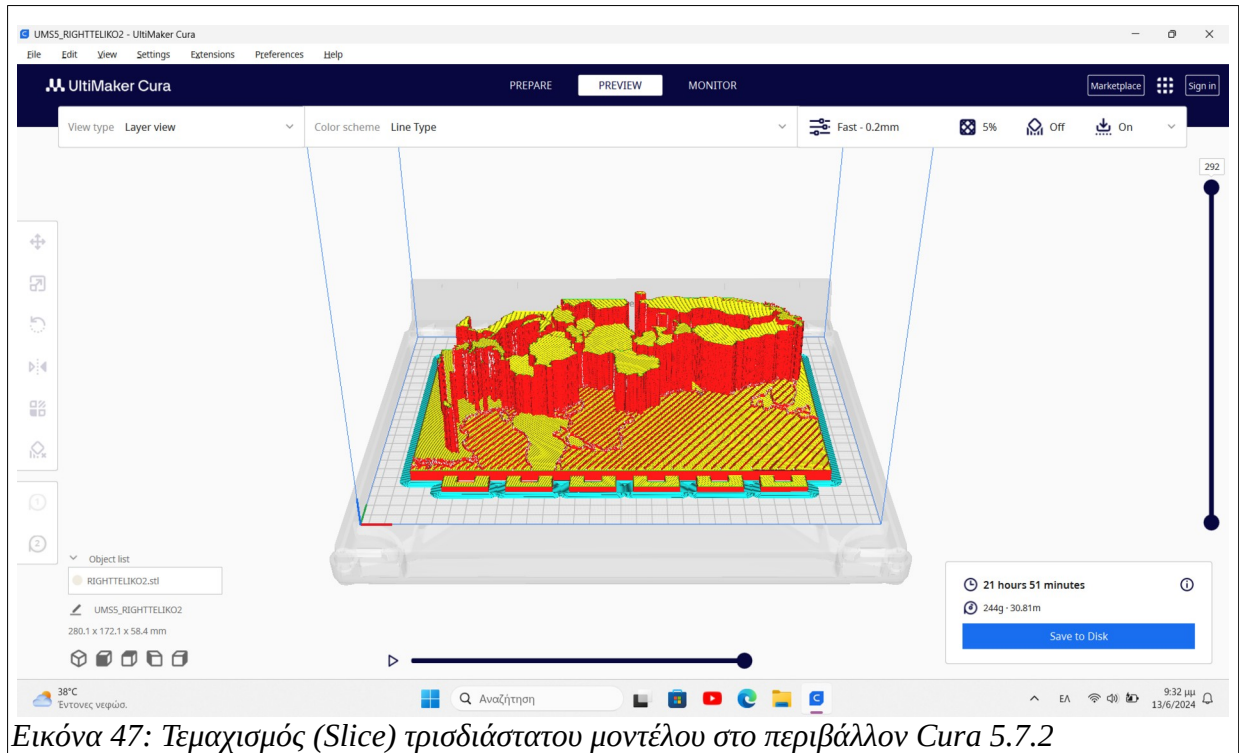
Ενεργοποιώντας το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, ο εκτυπωτής παράγει μια μικρή σταγόνα υλικού στην πλάκα δόμησης πριν από την έναρξη της εκτύπωσης, ούτως ώστε να προετοιμάσει το ακροφύσιο. Ειδικότερα, η προεπιλεγμένη πλαισίωση (Skirt) αποτελείται από μια γραμμή που εκτυπώνεται γύρω από το αντικείμενο στην πρώτη στρώση, που όμως δεν συνδέεται με το

αντικείμενο. Η συγκεκριμένη επιλογή προσφέρει βοήθεια στην προετοιμασία του ακροφυσίου εξώθησης και μπορεί να αποτελέσει έναν πρόσθετο έλεγχο για την καλύτερη ισοπέδωση της κλίνης πριν από την έναρξη της εκτύπωσης. Από την άλλη, η επιλογή Χείλος (Brim) δημιουργεί ένα επίπεδο στρώμα γύρω από τη βάση του μοντέλου ώστε να αποτρέψει τη στρέβλωσή του. Το παραγόμενο στρώμα είναι συνδεδεμένο με το μοντέλο και μεγαλώνει την περιοχή της κατώτερης επιφάνειας. Κατά συνέπεια, επιτυγχάνεται η αύξηση της πρόσφυσης στην πλάκα κατασκευής και, σε περίπτωση στρέβλωσης, οι γωνίες του μοντέλου είναι λιγότερο πιθανό να αλλοιωθούν. Συγχρόνως, μπορεί να παραμετροποιηθεί η Απόσταση του χείλους (Brim Distance), ώστε να διευκολυνθεί η αποκόλλησή του από το μοντέλο μετά την εκτύπωση. Τέλος, η επιλογή της Σχεδίας (Raft) προσθέτει ένα παχύ πλέγμα με οροφή μεταξύ ολόκληρης της επιφάνειας του μοντέλου και της πλάκας κατασκευής. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο όταν η κάτω επιφάνεια ενός μοντέλου δεν είναι εντελώς επίπεδη ή έχει μικρή πρόσφυση στην πλάκα κατασκευής. Μια τέτοια πρόσφυση εξασφαλίζει ότι το μοντέλο θα κολλήσει καλύτερα στην πλάκα κατασκευής. Στην Εικόνα 46, φαίνονται οι τρεις αυτές επιλογές του περιβάλλοντος Cura.



Έπειτα από τις παραπάνω ρυθμίσεις, τα τρία μοντέλα, τα οποία αποτέλεσαν το συνολικό τρισδιάστατο χάρτη απεικόνισης του Δείκτη Κλιματικής Απόδοσης 2024, “τεμαχίστηκαν” (Slice) στο περιβάλλον Ultimaker Cura 5.7.2. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, το λογισμικό Cura διαχωρίζει το τρισδιάστατο μοντέλο σε λεπτά οριζόντια στρώματα, δηλαδή διατομές του μοντέλου. Έτσι, δημιουργήθηκαν τρία αρχεία μορφής UFP (Ultimaker Format Package), τα οποία αναγνωρίζονται από τον εκτυπωτή Ultimaker S5 του Εργαστηρίου ως οδηγίες εκτύπωσης. Στην Εικόνα 47, παρουσιάζεται ενδεικτικά ο τεμαχισμός του δεξιού τμήματος του χάρτη. Χαρακτηριστικό είναι

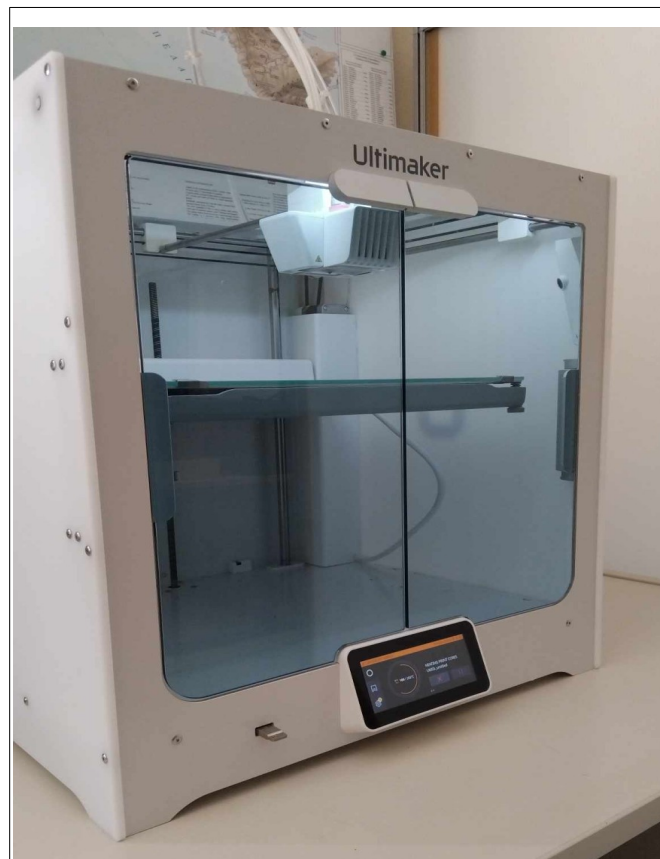
πως μετά τον τεμαχισμό, το πρόγραμμα ενημερώνει αναφορικά με το χρόνο εκτύπωσης και το υλικό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, τόσο σε μάζα (γραμμάρια - gr) όσο και σε μήκος (μέτρα - m).



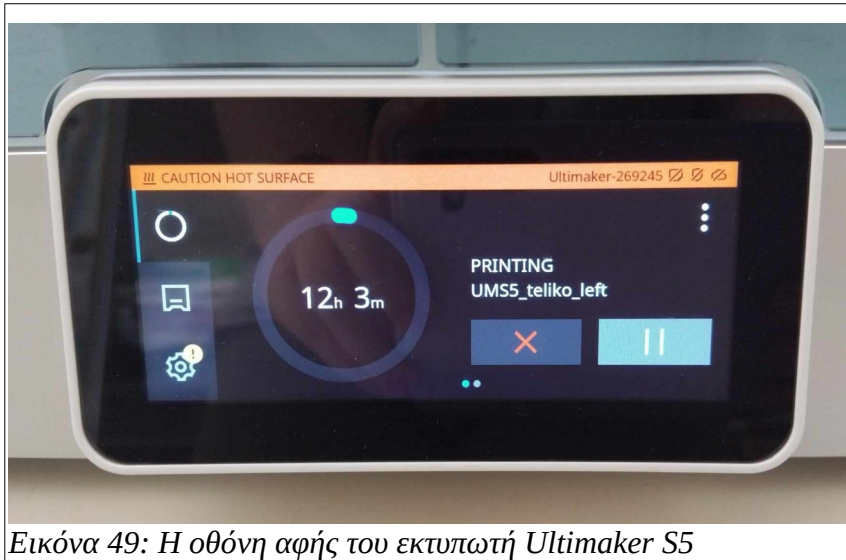
Εικόνα 47: Τεμαχισμός (Slice) τρισδιάστατου μοντέλου στο περιβάλλον Cura 5.7.2

6.3. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΕΚΤΥΠΩΣΕΙΣ

Αφού ολοκληρώθηκε η εκμάθηση του λογισμικού Cura για την καλύτερη δυνατή προετοιμασία των τρισδιάστατων μοντέλων, η διαδικασία συνεχίστηκε στον εκτυπωτή Ultimaker S5 του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜ-ΜΓ. Από τη στιγμή που ο εκτυπωτής διέθετε εγκατεστημένο υλικό και είχαν γίνει οι απαραίτητες ρυθμίσεις ήταν έτοιμος για εκτυπώσεις. Ο χρήστης έρχεται σε επαφή με το μηχάνημα μέσω δύο σημείων. Το πρώτο είναι η θύρα USB στην οποία εισάγεται το μέσο που περιέχει το αρχείο ufr της εκτύπωσης. Το δεύτερο και βασικότερο είναι η οθόνη αφής από την οποία πραγματοποιήθηκε το άνοιγμα του μέσου usb μέσω της επιλογής Select from USB και η επιλογή του αρχείου ufr που πρόκειται να εκτυπωθεί. Κατόπιν, ξεκινά η διαδικασία αύξησης της θερμοκρασίας σε κάθε σημείο του εκτυπωτή βάσει των οδηγιών που έχουν δοθεί στο αρχείο, όπως και η διαδικασία ισοστάθμισης-οριζοντίωσης (Leveling) της πλάκας εκτύπωσης, ώστε να είναι σωστή η περίχυση του υλικού σε επίπεδα επί της πλάκας. Στις εικόνες 48 και 49 αντίστοιχα, φαίνονται ο εκτυπωτής του εργαστηρίου, όπως και η οθόνη αφής του.



Εικόνα 48: Ο εκτυπωτής Ultimaker S5 του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας



Εικόνα 49: Η οθόνη αφής του εκτυπωτή Ultimaker S5

Η πρώτη εκτύπωση που πραγματοποιήθηκε ήταν δοκιμαστικής φύσεως προκειμένου να πραγματοποιηθεί σε πρώτη φάση μια γνωριμία με το μηχάνημα, και συγχρόνως να εντοπιστούν τυχόν λάθη του μοντέλου. Αυτή η εκτύπωση αφορούσε το αριστερό τμήμα του χάρτη και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 50. Αξιολογώντας τη συγκεκριμένο παραγόμενο αποτέλεσμα, παρατηρήθηκε πως η λεπτομέρεια της αποδιδόμενης χαρτογραφούμενης περιοχής αποδόθηκε επαρκώς, τόσο από άποψη των συνόρων των χωρών όσο και των ευρωπαϊκών νησιών. Το σύνολο των χωρών αποτέλεσαν ορθά αποδιδόμενα εκτυπωμένα πρίσματα του τρισδιάστατου μοντέλου. Επιπλέον, μετά από την εν λόγω εκτύπωση, κρίθηκε χρήσιμος ο συμβολισμός των περιοχών χωρίς δεδομένα με τη χρήση διαγράμμισης. Όσον αφορά την επιλογή του τρόπου σύνδεσης των τμημάτων, η πρώτη μέθοδος κρίθηκε πως δεν πρόσφερε την απαιτούμενη στήριξη και σταθερότητα. Αποφασίστηκε ο τρόπος σύνδεσης να επιτυγχάνει κατ ελάχιστον τη σταθερή σύνδεση μεταξύ των τμημάτων στο επίπεδο, εφόσον δεν προβλέπονται μετακινήσεις των τμημάτων στον κατακόρυφο άξονα. Με άλλα λόγια, η σύνδεση θα πρέπει να προστατεύει το χάρτη από το να χωριστούν τα τμήματα από κάποιο ακούσιο σπρώξιμο.



Εικόνα 50: Η πρώτη δοκιμαστική εκτύπωση του αριστερού τμήματος του χάρτη

Ακόμα μια εκτύπωση πραγματοποιήθηκε που αφορούσε στον τρόπο σύνδεσης των τμημάτων. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, το τελικό μοτίβο συνδέσεων αποφασίστηκε να είναι στη λογική του κουμπιού, τόσο μεταξύ των τμημάτων του χάρτη, όσο και μεταξύ του χάρτη και του υπομνήματος. Στην Εικόνα 51, παρουσιάζεται ένα μικρό τμήμα της τελικής σύνδεσης (κουμπί). Οι τελικές δοκιμαστικές εκτυπώσεις σχετίζονταν με το υπόμνημα, και ειδικότερα με τον τρόπο γραφής. Ήταν απαραίτητο πριν την τελική εκτύπωση του μοντέλου του υπομνήματος να διαπιστωθεί ο τρόπος χάραξης των στοιχείων κειμένου, δηλαδή αν θα προεξείχαν ή θα ήταν χαραγμένα στη βάση. Συγχρόνως, κρίθηκε αναγκαίο μέσω αυτής της εκτύπωσης να γίνει αντιληπτό το μέγεθος των γραμμάτων που μπορούσε να αποδοθεί σωστά κατά την τρισδιάστατη

εκτύπωση. Στην Εικόνα 52, φαίνεται η δοκιμαστική εκτύπωση με κείμενο χαραγμένο στη βάση του υπομνήματος, ενώ στην Εικόνα 53, η δοκιμαστική εκτύπωση πραγματοποιήθηκε με τα γράμματα να προεξέχουν. Γίνεται σαφές πως το δεύτερο αποτέλεσμα είναι το βέλτιστο, με πιο ξεκάθαρο και ευανάγνωστο κείμενο και λιγότερα λάθη επιπλέον υλικού (υπολείμματα) πάνω στο μοντέλο.



Εικόνα 51: Δοκιμαστική εκτύπωση τελικής ένωσης (κουμπιού)



Εικόνα 52: Δοκιμαστική εκτύπωση τμήματος του υπομνήματος με τα γράμματα χαραγμένα



Εικόνα 53: Δοκιμαστική εκτύπωση τμήματος του υπομνήματος με τα γράμματα προεξεχόμενα

6.4. ΤΕΛΙΚΕΣ ΕΚΤΥΠΩΣΕΙΣ

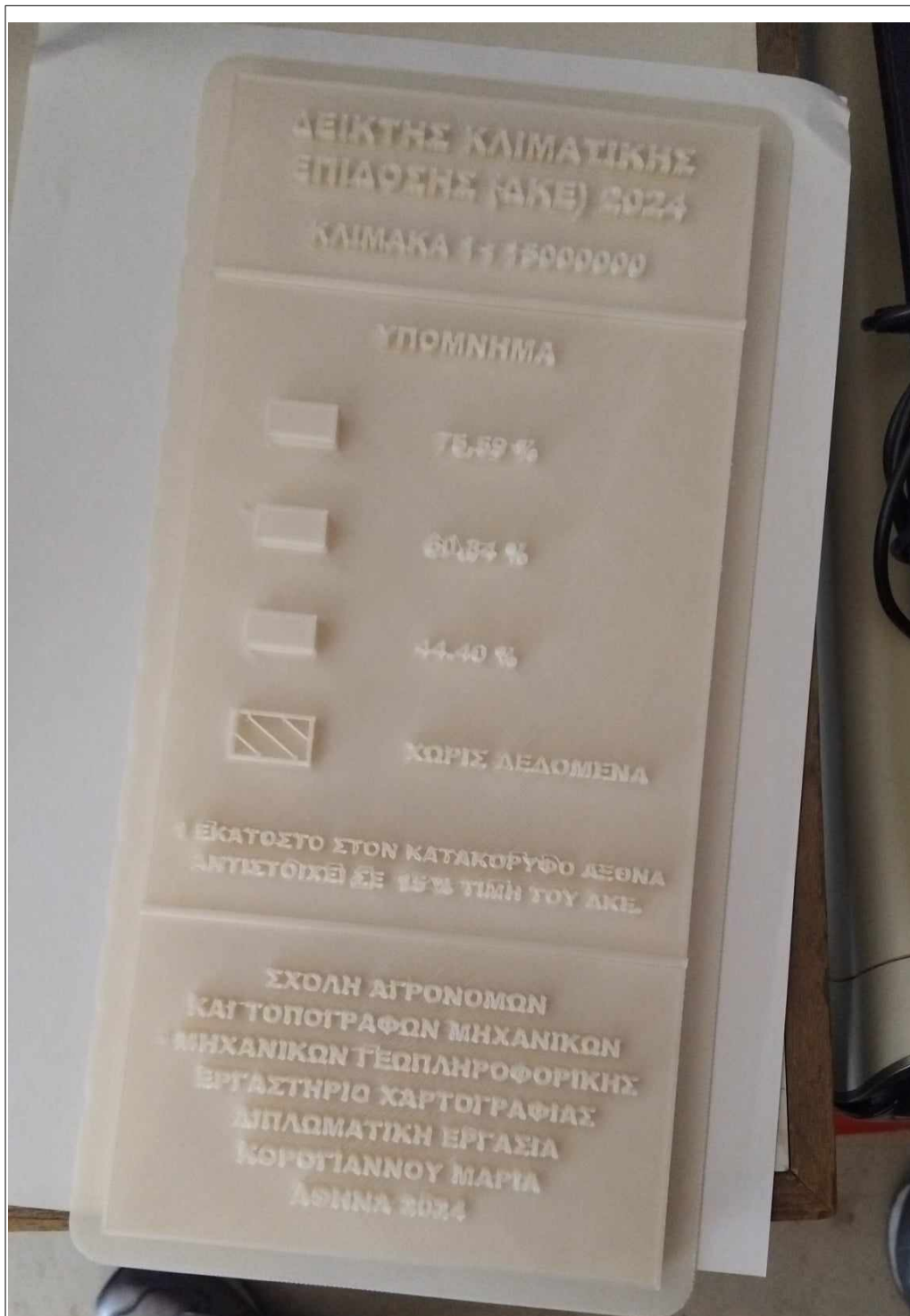
Μετά από τις παραπάνω δοκιμαστικές εκτυπώσεις, έγιναν οι αλλαγές που ήταν απαραίτητες για την οπτική και λειτουργική βελτίωση του εκτυπωμένου χάρτη. Αρχικά, όπως προαναφέρθηκε άλλαξε ο τρόπος σύνδεσης των μοντέλων, ώστε να επιτυγχάνεται το καλύτερο δυνατό κράτημα μεταξύ τους. Έπειτα, προστέθηκε η διαγράμμιση ως συμβολισμός στις περιοχές που δεν είχαν δεδομένα του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης για το 2024, ούτως ώστε να μην υπάρχει η σύγχυση πως πρόκειται για περιοχές που συμμετέχουν στην αξιολόγηση. Τέλος, αναφορικά με το υπόμνημα επιλέχθηκε η μέθοδος όπου τα γράμματα προεξέχουν της βάσης. Αξίζει να αναφερθεί πως οι τρεις τιμές του δείκτη που αποτελούν το υπόμνημα συμβολίζονται με ορθογώνια παραλληλεπίπεδα τα οποία αποφασίστηκε να εκτυπωθούν ξεχωριστά ως τρισδιάστατα μοντέλα με σκοπό να μπορούν να απομακρυνθούν από το υπόλοιπο σχήμα. Με αυτό τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να κρατήσει στα χέρια του το αντίστοιχο σχήμα και να το τοποθετήσει επί του χάρτη ώστε να αντιληφθεί καλύτερα σε ποια τιμή και χώρα αντιστοιχεί το συγκεκριμένο σύμβολο. Καταληκτικά, τα τρία τελικά τρισδιάστατα μοντέλα, τα οποία αποτελούν τον τρισδιάστατο χωροπληθή χάρτη του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης 2024 παρουσιάζονται στις εικόνες 54 ως 56, ενώ στην εικόνα 57 φαίνονται τοποθετημένα στη σωστή τους θέση ως ενιαίο τρισδιάστατο μοντέλο.



Εικόνα 54: Τελικό εκτυπωμένο αριστερό τμήμα του χάρτη ΔΚΕ 2024



Εικόνα 55: Τελικό εκτυπωμένο δεξί τμήμα του χάρτη ΔΚΕ 2024



Εικόνα 56: Τελικό εκτυπωμένο υπόμνημα του χάρτη ΔΚΕ 2024



Εικόνα 57: Τελικός τρισδιάστατος χωροπληθής χάρτης ΔΚΕ 2024

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ

Η Κλιματική Αλλαγή αποτελεί ένα ζήτημα που απασχολεί την ανθρωπότητα τις τελευταίες δεκαετίες, ήδη από τα μέσα του 20ου αιώνα. Χαρακτηρίζει τη μακροπρόθεσμη μεταβολή που παρατηρείται επί των μέσων καιρικών προτύπων, τα οποία χαρακτηρίζουν τα τοπικά, τα περιφερειακά και τα παγκόσμια κλίματα της Γης. Τέτοιου είδους μεταβολές έχουν ένα ευρύ φάσμα παρατηρούμενων επιδράσεων, συνώνυμων με τον όρο “Κλιματική Αλλαγή”. Οι αλλαγές που παρατηρούνται στο κλίμα οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες και ειδικότερα στις διαδικασίες καύσης ορυκτών καυσίμων, οι οποίες αυξάνουν τα επίπεδα αερίων του θερμοκηπίου, παγιδεύοντας έτσι, τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα της Γης. Συγχρόνως, οι κατακλυσμένες από ανθρώπινες δραστηριότητες φυσικές διεργασίες συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή.

Πολλές χώρες που παλεύουν ή απειλούνται άμεσα από την κλιματική αλλαγή, έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν μέτρα και μεθόδους προκειμένου να την καταπολεμήσουν. Πολλές διαφορετικές λύσεις έχουν προταθεί και εφαρμόζονται, ανάλογα με την κατάσταση της κάθε χώρας. Μια πληθώρα χωρών λαμβάνουν πρωτοβουλίες άσκησης μέτρων, προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν την επίδρασή τους στο περιβάλλον. Στην προσπάθεια να παρακολουθηθεί και να μελετηθεί το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον της Κλιματικής Αλλαγής, γίνεται χρήση παρατηρήσεων εδάφους, αέρος και διαστήματος μαζί με υπολογιστικά μοντέλα. Προς αυτή την κατεύθυνση, αρχεία κλιματικών δεδομένων παρέχουν στοιχεία σχετικά με βασικούς δείκτες κλιματικής αλλαγής, όπως η Παγκόσμια Αύξηση της Θερμοκρασίας της ξηράς και των ωκεανών (Global land and ocean Temperature Increase), η Άνοδος της στάθμης της θάλασσας (Rising sea levels), η Απώλεια πάγου στους Πόλους της Γης και στους ορεινούς παγετώνες (Ice Loss at Earth’s poles and in mountain glaciers) και οι Αλλαγές στη συχνότητα και τη σοβαρότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι τυφώνες, οι καύσωνες, οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες.

Το Γερμανικό Ινστιτούτο Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης Germanwatch e.V. το 2005, δημιούργησε τον Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης (Climate Change Performance Index) με σκοπό την Αξιολόγηση και Βαθμολόγηση των χωρών και των πολιτικών που ακολουθούν αναφορικά με την αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής. Ως συνιστώσες λαμβάνονται υπόψη οι Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, οι Χρήση άλλων πηγών ενέργειας και οι Πολιτικές για το Κλίμα. Ο συγκεκριμένος δείκτης δύναται να αποτελέσει ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στην προσπάθεια των χωρών να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις που επιφέρουν οι δραστηριότητες τους στο περιβάλλον και να χαράξουν νέα πορεία στη διαχείριση των φυσικών πόρων και του κλίματος. Ειδικότερα, οι ευρωπαϊκές χώρες, οι οποίες μελετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας λαμβάνουν μεικτές βαθμολογίες από τον Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης. Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα είναι καλύτερα στη Δυτική Ευρώπη από την Ανατολική. Με δεδομένο πως καμία χώρα δεν λαμβάνει την Άριστη βαθμολόγηση από το Γερμανικό Ινστιτούτο, χώρες όπως η Δανία, η χώρα με την καλύτερη βαθμολογία παγκοσμίως, η Σουηδία και η Πορτογαλία χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές του δείκτη, εν αντιθέσει με χώρες όπως η Πολωνία, η οποία διαθέτει τη χαμηλότερη τιμή του δείκτη από όλες τις μελετημένες χώρες επί της παρούσας εργασίας, η Τσεχία, η Ουγγαρία και η Ιταλία, που οι βαθμολογίες τους δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικές και χαρακτηρίζονται χαμηλές.

Η Συμφωνία του Παρισιού (Paris Agreement) αποτελεί τη βασικότερη συμφωνία στο πλαίσιο της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), η οποία αφορά στη μείωση των εκπομπών αερίων, την προσαρμογή και τις οικονομικές της λεπτομέρειες, και υπογράφηκε το 2016. Ως πρωταρχικός στόχος τέθηκε η μακροπρόθεσμη σταθεροποίηση της ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε επίπεδα κάτω των 2^ο C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, προωθώντας τη σταθεροποίηση της ανόδου κάτω του 1,5^οC. Η επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου, δύναται να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των κινδύνων και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Το κομμάτι του στόχου που αφορά στη μείωση των εκπομπών αερίων, οφείλει να επιτευχθεί το συντομότερο δυνατόν, και συγκεκριμένα κατά το δεύτερο ήμισυ του 21ου αιώνα. Σήμερα, η Συμφωνία εισέρχεται σε μια κρίσιμη φάση εφαρμογής σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο. Δείκτες Αξιολόγησης όπως ο ΔΚΕ (CCPI) προσφέρουν μακροχρόνια και αξιόπιστη ανάλυση, σχετικά με τους ηγέτες και τους ουραγούς στην προσπάθεια προστασίας του κλίματος. Κατά συνέπεια, το συγκεκριμένο εργαλείο αξιολόγησης καθίσταται χρήσιμο ως ισχυρό μέσο που παρέχει τη δυνατότητα να λογοδοτούν οι κυβερνήσεις για την

ευθύνη τους να δράσουν για την κλιματική κρίση, να ενημερώσουν τη διαδικασία αύξησης των φιλοδοξιών για το κλίμα και να τονώσουν έναν αγώνα δρόμου προς την κορυφή στη δράση για το κλίμα.

Ο Δείκτης Κλιματικής Επίδοσης, όπως και άλλοι δείκτες αυτού του τύπου, μπορεί να θεωρηθεί και να μελετηθεί ως φαινόμενο με κατανομή στο χώρο, από τη στιγμή που χαρακτηρίζει τις χώρες ως βαθμολογία για την αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής. Στην προσπάθεια να διαδοθεί ως εργαλείο αξιολόγησης, αναφορικά με τη χρήση του, αλλά και τη βέλτιστη δυνατή κατανόησή του, κρίνεται σκόπιμο να αναπαρασταθεί στο χώρο με τη μορφή χάρτη.

Σε πρώτη φάση, κατά την απεικόνιση σε χάρτη των δύο διαστάσεων, η βέλτιστη μέθοδος απεικόνισης του δείκτη είναι η χωροπληθής. Ένας χωροπληθής χάρτης αποτελεί έναν τύπο θεματικού χάρτη, ο οποίος χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο την ένταση ή τον κορεσμό του χρώματος ως μεταβλητή οπτικοποίησης του τρόπου με τον οποίο ένα φαινόμενο κατανέμεται σε μια γεωγραφική περιοχή. Είναι ίσως η πιο συνηθισμένο μέθοδος απεικόνισης στατιστικών δεδομένων που αντιστοιχούν σε γνωστές γεωγραφικές μονάδες όπως οι χώρες, οι πολιτείες και οι δήμοι. Στον χάρτη των δύο διαστάσεων, που έχει δημιουργήσει το Ινστιτούτο, οι τιμές του Δείκτη Κλιματικής Επίδοσης για κάθε χώρα απεικονίζονται με τη χρήση ομαδοποίησης των τιμών σε Υψηλές, Μέτριες, Χαμηλές και Πολύ Χαμηλές. Έτσι, παράγεται ένας χάρτης με τέσσερις διαφορετικές αποχρώσεις ανάλογα την τιμή του δείκτη, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο.

Εν προκειμένω, ο δείκτης επιλέχθηκε να αναπαρασταθεί στις τρεις διαστάσεις ως τρισδιάστατος χωροπληθής χάρτης και το αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικό. Χάρη στο εργαλείο DEM to 3D του λογισμικού QGIS, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα να παραμετροποιηθούν τόσο το ύψος δημιουργίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου όσο και ο δείκτης υπερβολής (exaggeration), προέκυψαν πρίσματα αναπαριστώντας τις χώρες υψωμένες κατά την τιμή του ΔΚΕ. Η συγκεκριμένη απεικόνιση δίνει μια πολύ καλή αίσθηση της τρίτης διάστασης του χάρτη, ώστε να καθίσταται αντιληπτό τόσο το μέγεθος κάθε πρίσματος στον κατακόρυφο άξονα όσο και οι σχετικές διαφορές μεταξύ των τιμών των χωρών στην αξιολόγηση. Παρά το γεγονός πως η παρούσα απεικόνιση υπολείπεται χρώματος, ενώ ακόμα και αν υπήρχε η δυνατότητα τα χρώματα θα ήταν μόνο δύο, ωστόσο η τρίτη διάσταση παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης του συνόλου των διαφορετικών τιμών του φαινομένου, χωρίς την ανάγκη ομαδοποίησης των δεδομένων.

Συγχρόνως, με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης μπορεί ανά πάσα στιγμή με τη βοήθεια ενός χάρακα να μετρήσει τα ύψη των πρισμάτων και με τη βοήθεια του υπομνήματος να υπολογίσει τις διάφορες τιμές του ΔΚΕ. Εν κατακλείδι, μέσω της συγκεκριμένης εφαρμογής γίνεται φανερό πως ένας χωροπληθής χάρτης μπορεί να αποδοθεί στις τρεις διαστάσεις με μεγάλη επάρκεια και να επεκτείνει κάποιες δυνατότητες του χάρτη δύο διαστάσεων.

7.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Ένα από τα βασικότερα εργαλεία της παρούσας εφαρμογής, προς την κατεύθυνση απεικόνισης χωρικού φαινομένου στις τρεις διαστάσεις, δεν θα μπορούσε να είναι άλλο από το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών και συγκεκριμένα το ελεύθερο λογισμικό QGIS. Το κύριο εργαλείο τέτοιου είδους εφαρμογών προσέφερε τη δυνατότητα συγκέντρωσης και απεικόνισης χωρικών δεδομένων των χωρών που επρόκειτο να αποτελέσουν την περιοχή μελέτης, όπως και δεδομένων του ΔΚΕ για το 2024. Συγχρόνως, τα εργαλεία που προσφέρονται αφορούν την εναλλαγή των συμβολισμών, την επιλογή, τη γεωμετρική διόρθωση οντοτήτων, αλλά και την εφαρμογή πράξεων Τομής, Διαφοράς και Ένωσης. Όλα τα παραπάνω φάνηκαν ιδιαίτερα χρήσιμα κατά τη διαδικασία δημιουργίας του χωροπληθή χάρτη απόδοσης του ΔΚΕ 2024. Επιπλέον, εργαλεία απλοποίησης (Simplify) επιτυγχάνουν την απλοποίηση των συνόρων των χωρών και την απαλοιφή ορισμένων οντοτήτων που θα ήταν αδύνατο στη συγκεκριμένη κλίμακα να αποδοθούν ως πρίσματα στο τρισδιάστατο μοντέλο, χωρίς να κινδυνεύσουν να διαλυθούν. Τέλος, το περιβάλλον του QGIS επιτρέπει το διαχωρισμό οντοτήτων ενός θεματικού επιπέδου, ώστε να δημιουργηθούν περισσότερα τμήματα του ίδιου χάρτη. Αυτό βοήθησε ιδιαίτερα στη διαδικασία δημιουργίας δύο τμημάτων χάρτη για καλύτερη δυνατή απόδοση του φαινομένου και προσπέραση του περιορισμού των διαστάσεων του παραγόμενου εκτυπωμένου μοντέλου. Κάτι τέτοιο, με τις υπάρχουσες διαθέσιμες γνώσεις δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί στο λογισμικό επεξεργασίας τρισδιάστατων μοντέλων Blender, χωρίς να υπάρξουν αλλοιώσεις και σφάλματα στη γεωμετρία του εκάστοτε μοντέλου.

Προχωρώντας στο κομμάτι που αφορούσε την επεξεργασία των τρισδιάστατων μοντέλων που προέκυψαν από το QGIS, αυτή συνεχίστηκε στο περιβάλλον Blender. Πρέπει να τονιστεί πως το

συγκεκριμένο εργαλείο, από όσο μπορεί να είναι γνωστό, δεν απευθύνεται σε τέτοιου είδους εφαρμογές που αφορούν την επιστήμη της Χαρτογραφίας. Ωστόσο, εφόσον το λογισμικό QGIS δύναται να μετατρέψει χαρτογραφικά δεδομένα σε τρισδιάστατο μοντέλο, το Blender μπορεί να προσφέρει λειτουργίες όπως η μετατροπή κλίμακας αντικειμένων, η απλοποίηση της γεωμετρίας ενός μοντέλου, και πολλά περισσότερα, τα οποία όμως δεν φάνηκαν χρήσιμα στην παρούσα εφαρμογή. Συγχρόνως, διατίθενται πράξεις Boolean και συγκεκριμένα, η Ένωση (Union), η Τομή (Intersect) και η Διαφορά (Difference) για πράξεις μεταξύ μοντέλων. Σε ότι αφορά τα χαρτογραφικά σύμβολα, υπάρχει μεγάλο κομμάτι προς μελέτη για εφαρμογές και εργασίες τρισδιάστατων απεικονίσεων. Με μια σωστή και ουσιαστική επαφή με το εργαλείο, καθίσταται δυνατό να δημιουργηθούν σύμβολα και μοτίβα, με πληθώρα σχημάτων και μεγεθών, ούτως ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο εύκολο το εγχείρημα του Χαρτογράφου που πρόκειται να δημιουργήσει έναν τρισδιάστατο χάρτη. Τέτοιου είδους προσπάθειες δημιουργίας έτοιμων μοντέλων και διάθεσής τους ελεύθερα στο διαδίκτυο, συμβαίνει ήδη στην κοινότητα των χρηστών του Blender. Τέλος, η δημιουργία της ένωσης των τριών μοντέλων στην παρούσα εργασία, αποτελεί ιδιαίτερα καινούργιο κομμάτι των εφαρμογών στο περιβάλλον Blender, αλλά και των χαρτογραφικών απεικονίσεων. Τέτοιου είδους μοτίβα της μορφής ruzzle ή κουμπιών, διατίθενται σε κάποια επάρκεια από την κοινότητα του Blender και μπορούν να επεκταθούν από τους δημιουργούς τρισδιάστατων χαρτών με σκοπό να προκύψουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερα μοντέλα και να αποτυπωθούν περιοχές μελέτης σε μικρότερες ή μεγαλύτερες κλίμακες.

Σε επόμενη φάση, το κεφάλαιο των συμπερασμάτων της παρούσας εργασίας οφείλει να αναφερθεί στην τρισδιάστατη εκτύπωση αυτή καθαυτή. Πρόκειται για μια σχετικά καινούργια μέθοδο εκτύπωσης και απεικόνισης αντικειμένων στις τρεις διαστάσεις. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, απαιτεί από τον χρήστη γνώσεις λογισμικού CAD ή κάποιο λογισμικό όπως είναι το Blender, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Κατά το 1984, δημιουργήθηκε ο πρώτος τρισδιάστατος εκτυπωτής, ενώ το 2008 παράχθηκε το πρώτο προσθετικό πόδι μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης. Η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει πολλές δυνατότητες στην επιστήμη της Χαρτογραφίας, καθώς παρέχει την απεικόνιση της τρίτης διάστασης, είτε πρόκειται για την πιο εύκολα αντιληπτή εφαρμογή που αφορά το υψόμετρο μια περιοχής με χάρτες αναγλύφου, είτε για εφαρμογές απεικόνισης θεματικών χαρτών οποιουδήποτε φαινομένου με χωρική συνιστώσα, όπως είναι ο Δείκτης Κλιματικής Επίδωσης 2024. Συγχρόνως, και τα σύμβολα του υπομνήματος δύναται να απεικονιστούν στις τρεις διαστάσεις και ταυτόχρονα, να αποτελέσουν ξεχωριστά τρισδιάστατα

μοντέλα, τα οποία να μπορούν να ενώνονται και να αποχωρίζονται από το μοντέλο του υπομνήματος. Έτσι, ο χρήστης του χάρτη μπορεί να αντιληφθεί καλύτερα την τρίτη διάσταση και τη σημασία του κάθε συμβόλου, τοποθετώντας το στο κατάλληλο σημείο της αντίστοιχης τιμής στον κατακόρυφο άξονα.

Η εφαρμογή που σχετίζεται με την τρισδιάστατη εκτύπωση απαιτεί ιδιαίτερη και ενδεδειγμένη επαφή και γνώση με το περιβάλλον Cura, ή οποιοδήποτε άλλο παρέχει τη δυνατότητα τεμαχισμού (slice) ενός τρισδιάστατου μοντέλου, προκειμένου να εισαχθεί στον εκτυπωτή μαζί με τις οδηγίες εκτύπωσης. Πρόκειται για ένα πολύ εύχρηστο εργαλείο, με πολλές δυνατότητες παραμετροποίησης της εκτύπωσης. Ωστόσο, για έναν αρχάριο χρήστη απαιτούνται δεδομένα ορισμένες δοκιμές, καθώς το περιβάλλον Cura και του εκτυπωτή δεν είναι εργαλεία γνώριμα στο μέσο δημιουργό χαρτών ή χειριστή συστημάτων γεωπληροφορικής. Θέματα όπως οι θερμοκρασίες εκτύπωσης, τόσο του ακροφυσίου όσο και της πλάκας δημιουργίας του μοντέλου, το πάχος των επιπέδων και η λεπτομέρεια του μοντέλου, αλλά και οι διορθώσεις τυχόν σφαλμάτων στη γεωμετρία του μοντέλου είναι ζητήματα που κάποιος θα αναγκαστεί να επιλύσει και θα απαιτηθεί να γνωρίζει έστω σε βασικό επίπεδο. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί πως η διαδικασία εκτύπωσης ενός τρισδιάστατου μοντέλου χάρτη καθίσταται εξαιρετικά χρονοβόρα και μπορεί να φτάσει τη μία ολόκληρη μέρα μέχρι να ολοκληρωθεί. Ταυτόχρονα, πιθανό είναι να προκύψουν ζητήματα και να απαιτηθεί να διακοπεί η διαδικασία, συνεπώς ο χειριστής θα πρέπει να επιτηρεί τακτικά τη διαδικασία εκτύπωσης και να μην είναι απών μέσα στο χρονικό διάστημα που λαμβάνει χώρα.

Η δημιουργία τρισδιάστατων χαρτών, τόσο τοπογραφικών όσο και θεματικών απεικονίσεων, είναι ιδιαίτερα καινούργιο πεδίο δραστηριοτήτων της Χαρτογραφίας. Αυτή η πραγματικότητα δύναται να αλλάξει μέσα στα επόμενα χρόνια, εφόσον ξεκινήσει η εκμάθηση των νέων επιστημόνων του χώρου στα εργαλεία της τρισδιάστατης εκτύπωσης και πραγματοποιηθούν εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης χαρτών και μοντέλων σε τομείς όπως η Γεωγραφία, η Οδοποιία και η Υδρολογία. Αναφορικά με την επιστήμη της Χαρτογραφίας, το πεδίο της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ανοιχτό για εφαρμογές. Όπως έγινε εμφανές από τα παραπάνω, η διαδικασία δημιουργίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου είναι εύκολα αντιληπτή, καθώς μπορεί να

πραγματοποιηθεί σε περιβάλλον GIS. Ωστόσο, η διαδικασία παραμετροποίησης ενός τέτοιου μοντέλου και προσθήκης χαρτογραφικών συμβόλων είναι αχαρτογράφητη και προσφέρεται ο χώρος στους χαρτογράφους για δημιουργία τέτοιου συμβόλων σημαντικά χρήσιμα στην παραγωγή ενός σωστού και πλήρους τρισδιάστατου χάρτη. Μια τέτοιου είδους συνεισφορά δύναται να επιτύχει να καταστήσει τη μέθοδο επιπλέον φιλική και εύκολα προσβάσιμη στους περισσότερους χρήστες.

Με τη συνεχώς αυξανόμενη ενασχόληση με την τρισδιάστατη εκτύπωση και τη δημιουργία τρισδιάστατων χαρτών, οι συγκεκριμένοι χάρτες μπορούν να φανούν εξαιρετικά χρήσιμοι στην εκπαιδευτική διαδικασία. Η ύπαρξη της τρίτης διάστασης καθιστά έναν χάρτη ακόμα πιο εύχρηστο, αντιληπτό και κατανοητό προς το μέσο χρήστη. Είναι σαφές πως ένας τέτοιος χάρτης μπορεί να μεταδώσει το μήνυμα της γεωγραφικής πληροφορίας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τόσο σε ενήλικες όσο και σε παιδιά και γενικά απευθύνεται σε χρήστες με την ελάχιστη χαρτογραφική γνώση. Ο τρισδιάστατος εκτυπωμένος χάρτης αποτελεί μέχρι σήμερα την πλέον ρεαλιστική απεικόνιση του πραγματικού κόσμου. Συγχρόνως, αξίζει να αναφερθεί πως, παρότι ο πλανήτης σήμερα βιώνει στο μέγιστο βαθμό της ψηφιακή εποχή, όπου το έντυπο συνεχώς φθίνει σε κάθε έκφανση της σύγχρονης ζωής, τέτοιου είδους εφαρμογές κατά τις οποίες η επιστήμη παράγει μέσω εκτυπώσεων ρεαλιστικά μοντέλα της πραγματικότητας και των φαινομένων της, κρατούν ζωντανή την έννοια της εκτύπωσης, του έντυπου και του χειροπιαστού αποτελέσματος. Αποτελεί μεγάλο κέρδος για τον άνθρωπο η συνέχιση παραδόσεων και μεθόδων του παρελθόντος, με συνεχώς πιο σύγχρονους τρόπους εκτέλεσης και παραγωγής.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αλεξανδρή Ι., 2023, “Τρισδιάστατη Χαρτογραφική Απόδοση του Βαθμού Σεισμικής Διακινδύνευσης στον Ελλαδικό Χώρο”, Available from: <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.26926>
- Ζαχαρόγιωργα-Σούρδη Α., 2019, “Απτικοί και πολυαισθητηριακοί χάρτες για άτομα με προβλήματα όρασης”, Available from: <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.18407>
- Altaf K., Qayyum J., Majdi A., Rani A., Ahmad F., Puteri S., Megat-Yusoff M., Baharom M., Rashid A., Aziz A., Jahanzaib M., German R., 2018, “Performance Analysis of Enhanced 3D Printed Polymer Molds for Metal Injection Molding Process”, Available from: [DOI:10.3390/MET8060433](https://doi.org/10.3390/MET8060433)
- 3dsourced.com, 2024, “Selective Laser Sintering: Everything You Need To Know About SLS 3D Printing”, Available from: <https://www.3dsourced.com/guides/selective-laser-sintering-sls/>
- Bandrova, T., Zlatanova S., Konecny M. 2012, “Three-Dimensional Maps for Disaster Management”, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., I-4, pg. 245-250, Available from: [doi:10.5194/isprsannals-I-4-245-2012](https://doi.org/10.5194/isprsannals-I-4-245-2012)
- Boos G., “The usability of 3D techniques for multivariate thematic mapping”, 2013, Available from: <https://edepot.wur.nl/309839>
- Buchroithner M. F. and Knust C., 2013, “True 3D in Cartography – Current Hard and Softcopy Developments”, Geospatial Visualization, pg. 41-65, Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-642-12289-7_3
- Burck J., Uhlich T., Bals C., Höhne N., Nascimento L., Tamblyn A., Reuther J., 2021, "Climate Change Performance Index 2022", Available from: <https://ccpi.org/download/climate-change-performance-index-2022/>
- Burck J., Hagen U., Bals C., Helling V., Höhne N., Nascimento L., 2019, "Background and Methodology", Available from: <https://ccpi.org/download/climate-change-performance-index-2022/>
- CCPI.org, 2024, Available from: <https://ccpi.org/>
- Concept3d.com, 2018, Available from: <https://concept3d.com/blog/interactive-3d-maps/not-just-for-directions-how-a-3d-map-connects-people-ideas-and-tells-the-story-of-a-place/>

Crampton J. W., 2001, "Maps as social constructions: power, communication and visualization". Progress in Human Geography, vol. 25(2), pg. 235-252, Available from: <https://doi.org/10.1191/030913201678580494>

Döllner J., 2021, "Information visualization with dynamic, interactive 3D maps", KN – Journal of Cartography and Geographic Information, vol. 51, pg. 180-185, Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03544820>

Dunn R., Jeffrey S. B. and A. Klavas, 2002, "Survey of Research on Learning Styles.", California Journal of Science Education II(2), pg. 75-98, Available from: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:51395811>

G20.org, 2024, Available from: <https://www.g20.org/en/about-the-g20>

Gokhare V.G., Shinde D.K., and Raut D.N., 2017, "A Review paper on 3D-Printing Aspects and Various Processes Used in the 3D-Printing", vol. 6, issue 06, pg. 953-958 [online]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/350374850_A_Review_paper_on_3DPrinting_Aspects_and_Various_Processes_Used_in_the_3D-Printing

Häberling C., 2005, "Cartographic design principles for 3D maps–A contribution to cartographic theory", Paper presented at the Proceedings of ICA Congress Mapping Approaches into a Changing World, Available from: <https://doi.org/10.3138/carto.43.3.175>

Haberling C., Bar H., and Hurni L., 2008, "Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps: A Contribution to an Extended Cartographic Theory", vol. 43, issue 3, pp.175-188 [online]. Available from: <https://www.utpjournals.press/doi/abs/10.3138/carto.43.3.175>

Haghsefat K. and Tingting L., 2020, "FDM 3D Printing Technology and Its Fundamental Properties", Conference: ICERES 2020, Available from: https://www.researchgate.net/publication/344768624_FDM_3D_Printing_Technology_and_Its_Fundamental_Properties

Harding Ch., Hasiuk F., Wood A., 2021, "3D Printable Terrain Models", Touch Terrain, pg. 24-25, Available from: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:232434168>

Hellman R., 2022, "U.S. Lags in Latest Climate Protection Rankings", Available from: <https://www.usnews.com/news/best-countries/articles/2022-02-28/denmark-shines-u-s-lags-in-latest-climate-protection-rankings>

Hutcheon St., 2006, "The riddle of China's Areal 51", Available from: <https://www.smh.com.au/technology/the-riddle-of-chinas-area-51-20060814-gdo66w.html>

ICA, 1992, "A map definition by Cartographic Board", ICA Newsletter, 19 May 1992, in *Cartographica*, xxix (1992), pg. 54. Verified by R. W. Anson, chairman, ICA publications committee, 17 March 1994, as "currently accepted for international use", Available from: <https://doi.org/10.1080/23729333.2017.1288535>

Imhof Ed., 1982, "Cartographic Relief Presentation", Berlin: de Gruyter, pg. 416, Available from: https://archive.org/details/cartographicreli0000imho_i9k8

Jacobs P. F., 2012, "Stereolithography and Other RP&M Technologies: From Rapid Prototyping to Rapid Tooling", Society of Manufacturing Engineers, Available from: <https://archive.org/details/stereolithograph0000jaco>

Jorntell H., Bengtsson F., Geborek P., Spanne A., Terekhov A., Hayward V., 2014, "Segregation of Tactile Input Features in Neurons of the Cuneate Nucleus.", *Neuron*, 83(6): 1444, <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.07.038>

Kang Ch., Deng Y., Tian Y., Wu H., "Study on 3D Thematic Map of Earthquake Emergency Based on GIS", 2017, Available from: <DOI:10.12783/dtcse/aiea2017/14908>

Kessler, F. C., & Slocum, T. A., (2011), "Analysis of Thematic Maps Published in Two Geographical Journals in the Twentieth Century. *Annals of the Association of American Geographers*", 101(2), pg. 292-317. <http://www.jstor.org/stable/27980179>

Koch W., 2012, "State of the Art of Tactile Maps for Visually Impaired People", *True 3D in Cartography*, pg.137-150, Available from: DOI:10.1007/978-3-642-12272-9_9

Kraak, M. J., F. J. Ormeling, (2011), "Cartography visualization of spatial data", New York, Guildford Press, ISBN" 978-1-60918-193-2, Available from: <https://doi.org/10.4324/9781315847184>

Morita T., 2011, "Reflections on the Works of Jacques Bertin: From Sign Theory to Cartographic Discourse." *Cartographic Journal*, The 48(2): pg. 86-91, Available from: <https://doi.org/10.1179/000870411X13038059668604>

Petrovic, D., (2003), "Cartographic Design in 3D maps", pg. 1920-1926, Available from: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:171090419>

Rase W.-D., 2014, "Visualisation of Cartographic Surfaces Using 3D Printing and Subsurface Engraving", Available from: https://www.researchgate.net/publication/228565195_Visualization_of_Cartographic_Surfaces_Using_3D_Printing_and_Subsurface_Engraving

Red Orbit, Amanda Su, Subhi J. Al'Aref, (2014), "The History of 3D Printing (electronic book)", Nashville, TN: Science Matters Media. LLC, Available from: <https://www.redorbit.com/reference/the-history-of-3d-printing/>

Royte El., 2013, "What Lies Ahead for 3-D Printing?" Smithsonian, May 2013, Washington DC: Smithsonian Institute, Available from: <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/what-lies-ahead-for-3-d-printing-37498558/>

Schwarzbach F., Sarjakoski T., Oksanen J., Sarjakoski L., Weckman S., 2012, "Physical 3D models from LIDAR data as tactile maps for visually impaired persons", Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Physical-3D-models-from-LIDAR-data-as-tactile-maps-Schwarzbach-Sarjakoski/9e9ad9231c7868cbf13fa0c6e2ead2adaabd145c>

Shears et al., 2016, "3D Printing Raised Relief / Topographic Maps: A Cartographically Sound Method", Available from: [DOI:10.5281/zenodo.15912](https://doi.org/10.5281/zenodo.15912)

Slocum T., McMaster R., Kessler F., Howard H., 2009, "Thematic Cartography and Geovisualization", Available from: <https://doi.org/10.1201/9781003150527>

Kim S., Shin Y., Park J., Lee S., Kyungjin An., 2021, "Exploring the Potential of 3D Printing Technology in Landscape Design Process", pg. 9-11, Available from: [DOI:10.3390/land10030259](https://doi.org/10.3390/land10030259)

Tanaka K., 1950, "The Relief Contour Method of Representing Topography on Maps." Geographical Review 40(3): 444-456, Available from: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:163526509>

United Nations Climate Change, The Paris Agreement, (2024), Available from: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

Wang J., Wu F., 2021, "Advances in Cartography and Geographic Information Engineering", pg. 18, Available from: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-16-0614-4>

Wood, M. 1993, "Whither maps and map design", Bulletin of the Society of Cartographers, xxvii, pg. 8, Available from: https://www.academia.edu/92384685/Maps_and_Mapmaking

Xometry.com, 2024, "Direct Metal Laser Sintering (DMLS) 3D Printing Service", Available from; <https://www.xometry.com/capabilities/3d-printing-service/direct-metal-laser-sintering/>

Zsoldi Katalin, 2011, "3D methods in cartography", Department of Cartography, Eötvös Loránd University Budapest, Hungary, Available from: [doi:10.5242/iang.2011.0298](https://doi.org/10.5242/iang.2011.0298)

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: DavGEO (n.d.), (2024), Homepage of DavGEO. Available from: <http://www.davgeo.com>

Εικόνα 2: Weiss and Buchroithner, (2012), “True-3D in Cartography - Current Hard - and Softcopy Developments”, Available from: https://www.researchgate.net/figure/sualisation-and-interpretation-of-3D-scenes-based-on-planar-visualisations-of-3D-objects_fig1_292133939

Εικόνα 3: L. Irish, (2020), STL produced on Blender, Available from: https://www.reddit.com/r/blender/comments/iz7fxv/i_used_topographic_data_to_make_a_photoreal_istic/

Εικόνα 4: Zsoldi K., (2011), “3D methods in cartography”, Department of Cartography , Eötvös Loránd University Budapest, Hungary, pg. 3, Available from: <doi:10.5242/iamg.2011.0298>

Εικόνα 5: Zsoldi K., (2011), “3D methods in cartography”, Department of Cartography , Eötvös Loránd University Budapest, Hungary, pg. 5, Available from: <doi:10.5242/iamg.2011.0298>

Εικόνα 6: Zsoldi K., (2011), “3D methods in cartography”, Department of Cartography , Eötvös Loránd University Budapest, Hungary, pg. 7, Available from: <doi:10.5242/iamg.2011.0298>

Εικόνα 7: Geobit Relief, Model Maker Combining Geo and Production, (2024), Available from: <https://www.3d-relief.com/Europe/Raised-Relief-maps-Europe/Relief-Map-of-Europe.html>

Εικόνα 8: Geobit Relief, Model Maker Combining Geo and Production, (2024), Available from: <https://www.3d-relief.com/Europe/Raised-Relief-maps-Europe/Relief-Map-of-Europe.html>

Εικόνα 9: Weiss and Buchroithner, (2012), “True-3D in Cartography - Current Hard - and Softcopy Developments”, Available from: https://www.researchgate.net/figure/Rapid-Prototyping-at-the-Institute-of-Geometry-Dresden-University-of-Technology-Germany_fig9_292133939

Εικόνα 10: Weiss and Buchroithner, (2012), “True-3D in Cartography - Current Hard - and Softcopy Developments”, Available from: https://www.researchgate.net/figure/Laser-subsurface-engraving-of-the-highmountain-terrain-around-the-Grossglockner-3798-m_fig10_292133939

Εικόνα 11: Shears, Stocks & Bagg, (2016), “3D Printing Raised Relief/Topographic Maps: A Cartographically Sound Method”, pg. 31, Available from: https://www.researchgate.net/publication/297920659_3D_Printing_Raised_Relief_Topographic_Maps_A_Cartographically_Sound_Method

Εικόνα 12: D. Srinivasan, (2021), “3D Printing Manufacturing Techniques, Materials and its Applications - An Overview”, Available from: https://www.researchgate.net/figure/Graphic-illustration-of-the-FDM-method_fig6_356068183

Εικόνα 13: Tao Peng, (2017), “Energy Modelling for FDM 3D Printing from a Life Cycle Perspective”, Available from: https://www.researchgate.net/figure/Life-cycle-of-a-PLA-based-product-see-online-version-for-colours_fig1_314301204

Εικόνα 14: HUBS.com, (2024),

Εικόνα 15: HUBS.com, (2024),

Εικόνα 16: Ccpi.org, (2024), Germanwatch e.V., Available from: <https://ccpi.org/methodology/>

Εικόνα 17: Ccpi.org, (2024), Germanwatch e.V., Available from: <https://ccpi.org/methodology/>

Εικόνα 18: Ccpi.org, (2024), Germanwatch e.V., CCPI 2024 Results, pg. 6, Available from: <https://ccpi.org/wp-content/uploads/CCPI-2024-Results.pdf>

Εικόνα 19: Ccpi.org, (2024), Germanwatch e.V., CCPI 2024 Results, pg. 7, Available from: <https://ccpi.org/wp-content/uploads/CCPI-2024-Results.pdf>

Εικόνα 20: Ccpi.org, (2024), Germanwatch e.V., CCPI 2024 Results, created by author based on picture pg. 6, Available from: <https://ccpi.org/wp-content/uploads/CCPI-2024-Results.pdf>

Εικόνα 41: Svitlana Lozova, (2018), Hannover Messe, Available from: <https://manufacturingdigital.com/technology/ultimaker-launched-its-ultimaker-s5-3d-printer-hannover-messe>

Εικόνα 42: Pick3dprinter.com, (2024), Available from: <https://pick3dprinter.com/shop/ultimaker-2-plus/>

Εικόνα 44: Prusa3D.com, “Prusa Research” by Josef Prusa, (2023), Available from: https://help.prusa3d.com/article/layers-and-perimeters_1748

Εικόνα 45: Ultimaker.com, (2024), Available from: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>

Εικόνα 46: Ultimaker.com, (2024), Available from: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>