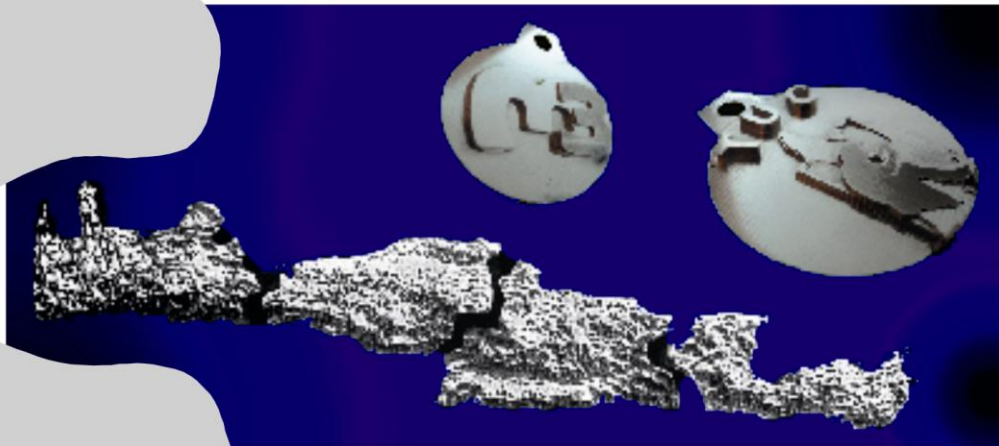




**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ  
ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΟΥ  
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CAD/CAM**



**ΚΥΡΟΥΣΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:  
ΜΙΧΑΛΗΣ ΖΕΡΒΑΚΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΑΡ. ΔΙΠΛ. 30**

**ΧΑΝΙΑ 2013**

*Αφιερώνεται στην οικογένεια μου, στην Άννα-Μαρία, σε όλους τους φίλους  
και συντρόφους...*

**Ευχαριστώ ιδιαίτερα για τη βοήθεια, την καθοδήγηση και τη συμπαράσταση τους καθηγητές κ. Αριστομένη Αντωνιάδη και κ. Μιχάλη Ζερβάκη.**

**Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω για τη βοήθεια τους όλους τους συναδέλφους του εργαστηρίου m3 και ιδιαίτερα τον Αντώνη και το Δημήτρη.**

**Τέλους ευχαριστώ για τη βοήθεια τη Βερόη, το Μήτσο, το Σπύρο και τον Μπάμπη.**

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	6
2. Λογισμικό για μικροκατεργασία και δημιουργία ανάγλυφων .....	7
2.1 Μικροκατεργασία.....	7
2.2 Γενικά για CAD/CAM .....	9
2.3 Τεχνολογία .....	11
2.4 Εφαρμογές και χρήσεις.....	11
2.5 Δημιουργία ανάγλυφου χάρτη.....	13
2.6 ARTCAM PRO .....	14
2.6.1 Τι είναι καινούργιο στο 2012 .....	14
2.6.2 Συμβατότητα .....	15
2.7 Τι είναι ένα relief (ανάγλυφο) .....	15
2.8 bitmap ή vector.....	16
3. Οδηγός λογισμικού artCam Pro 2012.....	18
3.1 Interface .....	18
3.2 Επιλογές μοντέλου .....	22
3.3 Χειρισμός μοντέλου .....	22
3.4 Επεξεργασία Bitmap.....	24
3.5 Επεξεργασία Vector .....	24
3.6 Εργαλεία γεμίσματος (fill tools).....	26
3.7 Θέση ,συνδυασμός, φινίρισμα διανυσμάτων.....	26
3.8 Εργαλεία για επεξεργασία ανάγλυφου (relief tools).....	28
3.9 Εργαλεία πίσω ανάγλυφου .....	36
3.10 Εργαλεία σχεδιασμού .....	36
3.11 Δυνατότητες εισαγωγής.....	38
3.11.1 Εισαγωγή εικόνας .....	38
3.11.2 Εισαγωγή 3d μοντέλου.....	38
3.12 Διαδικασία σχεδιασμού 3D (reliefs) .....	39
3.12.1 Τρόποι συνδυασμού των layers ενός ανάγλυφου .....	40
3.12.2 Δημιουργία bitmap layer από relief layer .....	42
3.12.3 Δημιουργία relief layer από bitmap layer .....	43
3.13 Δημιουργία toolpaths .....	44
3.14 Επιλογή εργαλείων κοπής (drills and mills).....	46
3.15 Στρατηγικές κοπής.....	48
3.15.1 Άλλες επιλογές κοπής .....	50
3.15.2 Φορά κοπής.....	52

3.15.3 Ορισμός του υλικού κατεργασίας .....	52
3.16 Προσομοίωση (Simulation) toolpaths .....	54
4. ΔΟΚΙΜΙΟ – ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΚΡΗΤΗΣ.....	55
4.1 Εισαγωγή .....	55
4.2 Χάρτης DEM.....	55
4.3 Επεξεργασία αρχείου DEM.....	56
4.3.1 Μετατροπή DEM με matlab.....	57
4.3.2 Μετατροπή DEM με C.....	58
4.3.3 Μετατροπή DEM έτοιμο λογισμικό .....	59
4.3.4 Σύγκριση μεθόδων ανοίγματος DEM.....	60
4.4 Επεξεργασία χάρτη νομών .....	61
4.4.1 Διαχωρισμός νομών Κρήτης .....	61
4.4.2 Επεξεργασία εικόνας σε matlab με μορφολογικούς τελεστές.....	63
4.4.3 Επεξεργασία εικόνας σε matlab με φίλτρα .....	67
4.5 Δημιουργία ανάγλυφου χάρτη στο artCAM Pro.....	68
4.5.1 Διαστάσεις μοντέλων .....	70
4.5.2 Επεξεργασία τρισδιάστατου μοντέλου.....	72
4.5.3 Δημιουργία toolpaths .....	73
4.5.4 Προσομοίωση κοπής .....	75
4.6 Σχεδιασμός και υπολογισμός απαραίτητων toolpaths.....	77
4.7 Κοπή στη CNC .....	88
4.7.1 Υλικό κατεργασίας .....	88
4.7.2 Εξοπλισμός.....	89
4.7.3 Φωτογραφίες δοκιμών κατά την κατεργασία.....	90
4.8 Συμπεράσματα – μελλοντική εργασία .....	93
5. ΜΕΤΑΛΛΙΟ .....	94
5.1 Διαστάσεις μοντέλου .....	94
5.2 Σχεδιασμός πλευράς A.....	94
5.3 Σχεδιασμός πλευράς B.....	97
5.4 Δημιουργία toolpaths και προσομοίωση .....	100
5.5 Δημιουργία καλουπιού.....	103
6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	104
6.1 Συντομεύσεις πληκτρολογίου .....	104
6.2 Ορολογία.....	105
6.3 G - code και M - Code .....	106
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	109

## 1. Εισαγωγή

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναλυθεί σε βάθος η λειτουργία CAD CAM προγραμμάτων και συγκεκριμένα του λογισμικού ArtCam Pro 2012, να εφαρμοστεί σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή σε ένα σύνθετο παράδειγμα με δημιουργία ανάγλυφου χάρτη και να συγγραφεί ένας λεπτομερής οδηγός για το λογισμικό. Ακόμη παρουσιάζεται η δυνατότητα του προγράμματος να διευκολύνει το χρήστη σε σχεδιασμό ενός μεταλλίου με τη δημιουργία καλουπιού.

Η νέα έκδοση του λογισμικού περιγράφεται λεπτομερώς και παρουσιάζονται οι δυνατότητες που παρέχει στους χρήστες για το σχεδιασμό και τη δημιουργία κατεργασμένων δοκιμίων σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας. Μέσα στον οδηγό συμπεριλαμβάνονται παραδείγματα σχεδιασμού διάφορων δοκιμίων ώστε να επιδειχθούν τα βασικά εργαλεία του λογισμικού artCam 2012.

Στη συνέχεια συλλέγονται γεωγραφικοί χάρτες της Κρήτης με υψομετρικά δεδομένα και αφού επεξεργαστούν κατάλληλα, εισάγονται στο λογισμικό με σκοπό τη δημιουργία ενός ανάγλυφου χάρτη της Κρήτης, χωρισμένου σε τέσσερα δοκίμια κατά αναλογία με τα γεωγραφικά σύνορα των τεσσάρων νομών. Οι χάρτες αυτοί ανακτώνται από το διαδίκτυο και μεταφράζονται σε εύχρηστη μορφή μέσω κώδικα σε c και matlab ενώ η επεξεργασία των χαρτών γίνεται με τη χρήση συναρτήσεων επεξεργασίας εικόνας. Ακολουθεί ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση της κοπής μέχρι να παραχθεί ο επιθυμητός ανάγλυφος γεωγραφικός χάρτης του νησιού.

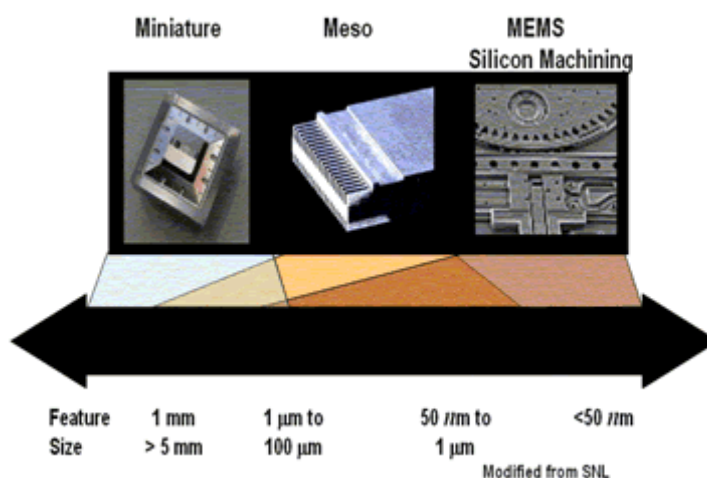
Τέλος σχεδιάζεται με χρήση των ενσωματωμένων εργαλείων σχεδιασμού του λογισμικού ένα μετάλλιο για το Πολυτεχνείο Κρήτης και διερευνάται η δυνατότητα σχεδιασμού και δημιουργίας καλουπιού για μαζική παραγωγή του μεταλλίου.

## 2. Λογισμικό για μικροκατεργασία και δημιουργία ανάγλυφων

### 2.1 Μικροκατεργασία

Με τον όρο μικροκατεργασίες εννοούμε τις τεχνικές διαμόρφωσης εξαρτημάτων μικροκλίμακας και μεσοκλίμακας με διαστατική και γεωμετρική ακρίβεια της τάξεως του μικρομέτρου ( $\mu\text{m}$ ) ή και δεκάτων του μικρομέτρου. Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται ραγδαία το βιομηχανικό ενδιαφέρον για την παραγωγή προϊόντων σε μικροκλίμακα. Τα προϊόντα αυτά βρίσκουν πληθώρα εφαρμογών στην αεροδιαστημική, αυτοκινητοβιομηχανία, εμβιομηχανική, ηλεκτρονική και οπτική. Παράλληλα με τις παραδοσιακές τεχνικές μικροκατεργασιών με αφαίρεση υλικού (μικροφραιζάρισμα, μικρολείανση, μικροδιάρθρωση κλπ.) εισήχθησαν νέες, μη συμβατικές τεχνικές μικροκατεργασιών για την επίτευξη υψηλότερης ακρίβειας παρέχοντας επίσης τη δυνατότητα κατεργασίας μη-μεταλλικών υλικών. Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν τις κατεργασίες με χρήση ακτίνων Laser, ηλεκτροδιάβρωσης (EDM), φωτολιθογραφία, μικροκατεργασία μέσω υπερήχων (USM), κλπ.

Οι τεχνολογίες των μικροκατεργασιών συνδέονται στενά με την πρόσφατη εξέλιξη των μικρο-ηλεκτρο-μηχανικών συστημάτων (MEMS- Micro Electro Mechanical Systems). Ωστόσο μεγάλο ενδιαφέρον δίνεται στη διαμόρφωση μηχανικών μικροεξαρτημάτων με πολύπλοκα σχήματα και τρισδιάστατες ανάγλυφες επιφάνειες υψηλής ακρίβειας. Σήμερα τόσο οι μεσοκατεργασίες (1-10 mm) όσο και οι μικροκατεργασίες (1-1000  $\mu\text{m}$ ) εμφανίζονται ως μια σημαντική τεχνολογία, ειδικά στις περιοχές όπου η κατασκευή εξαρτημάτων μικροκλίμακας αποφέρει οικονομικά και τεχνικά πλεονεκτήματα. Και οι δύο κατηγορίες των παραπάνω κατεργασιών βρίσκουν εφαρμογή για την παραγωγή προϊόντων από μεταλλικά και μη μεταλλικά υλικά.



Σχήμα 2.1 : Διαστατικές κλίμακες κατεργασιών

Με την έλευση των εργαλειομηχανών ψηφιακού ελέγχου μέσου υπολογιστή (CNC) η ακρίβεια, ομοιομορφία και η επαναληψιμότητα των κατεργασιών μηχανικών εξαρτημάτων έχουν βελτιωθεί και η παραγωγή σύνθετων γεωμετρικά προϊόντων έχει κερδίσει μεγάλη ευελιξία. Από την άλλη πλευρά, η σμίκρυνση των μηχανών και συσκευών οδηγεί στη ζήτηση εξαρτημάτων με διαστάσεις της τάξης των μερικών μικρομέτρων ή μερικών εκατοντάδων μικρομέτρων. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη περαιτέρω βελτίωσης των τεχνικών παραγωγής προϊόντων σε μικροκλίμακα, ακόμη δε και προϊόντων σε νανοκλίμακα όπως NEMS (Nano Electro Mechanical Systems).

Είναι επίσης γεγονός σήμερα ότι η ζήτηση των βιομηχανιών για μικροκατεργασίες διαφόρων τύπων υλικών (μεταλλικά, κεραμικά και πλαστικά) αυξάνεται μέρα με τη μέρα. Εξαρτήματα μινιατούρες έχουν εφαρμογές σε διάφορους βιομηχανικούς κλάδους. Μερικά

από τα παραδείγματα των προϊόντων που απαιτούν κατεργασίες μικροκλίμακας είναι πολύ μικρές τρύπες σε οπτικές ίνες, μικροακροφύσια για υψηλές θερμοκρασίες σε αεροσκάφη, κλπ. Οι συμβατικές μέθοδοι κατεργασιών (τόρνευση, φραιζάρισμα, διάτρηση, κλπ) με τις τροποποιημένες εκδόσεις τους έχουν χρησιμοποιηθεί για μικροκατεργασίες διαφόρων τύπων υλικών. Όμως οι συνθήκες κατεργασίας για τη διαμόρφωση ενός μικροεξαρτήματος με αφαίρεση υλικού περιορίζονται καθότι λαμβάνουν χώρα φαινόμενα σε ατομική κλίμακα. Το βάθος της κοπής είναι της τάξης των νανομέτρων (10-9m).

Στην περίπτωση των προηγμένων μηχανουργικών κατεργασιών με την αφαίρεση υλικού σε μικροκλίμακα, είτε με μηχανικά μέσα (USM, AJM, MAF), είτε μέσω θερμικής διάβρωσης (EBM, LBM) ή ανοδικής διάλυσης (ECM), είτε μέσω χημικής αντίδρασης ή συνδυασμό δύο ή περισσότερων από τις παραπάνω κατεργασίες (υβριδικές μέθοδοι), οι μικροκατεργασίες μπορούν να ενταχθούν στην ομάδα των κατεργασιών πολύ υψηλής ακρίβειας (ultraprecision machining). Περαιτέρω οι μικροκατεργασίες μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες, τις επιφανειακές μικροκατεργασίες (surface μ-machining), όταν η αφαίρεση του υλικού γίνεται για την επιφανειακή βελτίωση του εξαρτήματος σε κλίμακα κάτω του μικρομέτρου και μικροκατεργασίες διαμόρφωσης στερεάς γεωμετρίας κάποιου εξαρτήματος (bulk μ- machining), όπου συγκριτικά αφαιρείται μεγάλη ποσότητα υλικού.

Παρακάτω απαριθμούνται όλες οι μέθοδοι και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση προϊόντων σε μικροκλίμακα

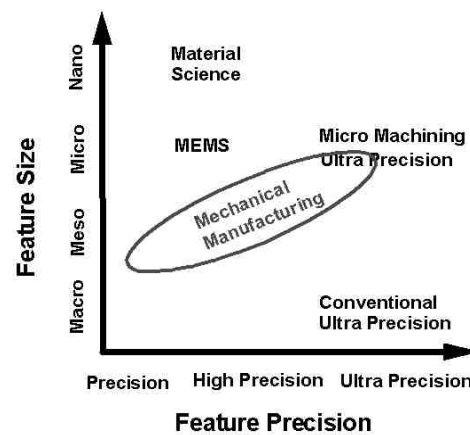
- Συμβατικές Μικροκατεργασίες
  - a) Micromilling
  - b) Microturning
  - c) Microgrinding
- Προηγμένες Μίκρο – Νάνο-Κατεργασίες
  - a) Abrasive Micromachining
  - b) Diamond Microgrinding / Microturning
  - c) Ultrasonic Micromachining
  - d) Electro discharge Micromachining
  - e) Laser beam Micromachining
  - f) Electrochemical and Chemical Micromachining
  - g) Ion Beam Machining
  - h) Photochemical Etching
- Μίκρο – Νάνο κατεργασίες αποπεράτωσης
  - a) Abrasive Flow Finishing
  - b) Magnetic Abrasive Finishing
  - c) Magnetorheological Abrasive Flow Finishing
  - d) Magnetic Float Polishing
  - e) Magnetorheological finishing
- Μικροδιαμορφωτικές κατεργασίες
  - a) Micro/Nano-Embossing(Hot and UV embossing)
  - b) Micro-Injection Moulding
  - c) Micro-Bulk Forming
  - d) Micro-Sheet Forming
  - e) Micro-Hydroforming
  - f) Micro-Laser Forming
- Μικροκατεργασίες σύνδεσης
  - a) Laser Beam Microwelding / Microjoining
  - b) Electron Beam Microwelding / Microjoining
  - c) Microsoldering
- Μικρο-χύτευση

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διάφορων τεχνικών που χρησιμοποιούνται στις μικροκατεργασίες. Επίσης καταδεικνύεται το ελάχιστο διαστατικό μέγεθος για το οποίο είναι κατάλληλη η καθεμία τεχνική

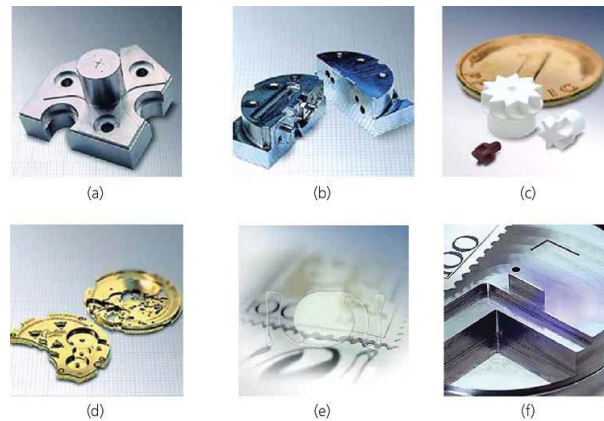
Process	Principle	Minimum Feature Size		Advantages	Disadvantages
μ-Molding & Casting	Solidification	500 μm	0.019"	Mass-production	Spring-back
μ-Punching	Plastic deformation	50 μm	0.0019"	Mass-production	Need uniform clearance
μ-Milling & Grinding	Force	25 μm	0.00098"	Good geometric accuracy Good surface finish	Tool deflection/ damage due to the cutting forces
Stereo-Lithography	Lamination	12 μm	0.00047"	Complex 3D shape	Limited work materials
Excimer Laser	Ablation	10 μm	0.00039"	No heat damage on surfaces	Limited work material
μ-EDM & Laser	Melting ~ Vaporization	5 μm	0.00019"	Negligible force	Possible Surface damage and low MRR
FIB	Sputtering	0.2 μm	0.0000080"	Stress-free	Low MRR

Table 1  
Micro Machining Process Evaluation

Πίνακας 2.2 : Σύγκριση τεχνολογιών μικροκατεργασιών



Σχήμα 2.3 : Μικροκατεργασίες και επιτυγχάνόμενη ακρίβεια



Σχήμα 2.4 : Προϊόντα μικροκατεργασιών με αφαίρεση υλικού

## 2.2 Γενικά για CAD/CAM

Το CAD (computer-aided design) αναφέρεται γενικότερα στην χρήση υπολογιστικών συστημάτων για την σχεδίαση, αλλαγή, παραμετροποίηση, ανάλυση ή βελτιστοποίηση διαφόρων αντικειμένων εφαρμοσμένης μηχανικής, αρχιτεκτονικής και βιομηχανικής. Το λογισμικό CAD χρησιμοποιείται για να αυξήσει την παραγωγικότητα του σχεδιαστή, τη βελτίωση της ποιότητας του σχεδιασμού, τη βελτίωση της επικοινωνίας μέσω της τεκμηρίωσης, και να δημιουργήσει μια βάση δεδομένων για την κατασκευή. Επίσης

δημιουργεί ένα αρχείο CAD εξόδου το οποίο έχει συχνά τη μορφή ηλεκτρονικών αρχείων για εκτύπωση, μεταλλοτεχνίες, ή άλλες εργασίες κατασκευής.

Το CAD χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς. Η χρήση του σε ηλεκτρονική σχεδίαση, είναι γνωστή ως ηλεκτρονικός αυτοματισμός του σχεδιασμού, ή EDA. Στο μηχανικό σχεδιασμό, είναι επίσης γνωστό ως σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή σύνταξη (CAD) η οποία περιγράφει τη διαδικασία δημιουργίας ενός τεχνικού σχεδίου με τη χρήση λογισμικού ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Το λογισμικό CAD για τη μηχανική σχεδίαση χρησιμοποιεί είτε ένα vector (διάνυσμα) με βάση τα γραφικά που απεικονίζουν τα αντικείμενα στον «παραδοσιακό» σχεδιασμό, είτε μπορεί επίσης να παράγει γραφικά raster που δείχνουν την συνολική εμφάνιση στα σχεδιασμένα αντικείμενα. Ωστόσο, περιλαμβάνει πολύ περισσότερα από απλά σχήματα. Όπως στο εγχειρίδιο σύνταξης των τεχνικών και μηχανολογικών σχεδίων, αντίστοιχα και η έξοδος του CAD πρέπει να μεταφέρει πληροφορίες, όπως τα υλικά, τις διαδικασίες, τις διαστάσεις και τα όρια, ανάλογα με την εφαρμογή ειδικών συμβάσεων. Το CAD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό καμπύλων σε δύο διαστάσεις (2D) του χώρου, ή καμπύλων, επιφανειών, και στερεών σε τρισδιάστατο (3D) χώρο. Το CAD είναι μια σημαντική βιομηχανική τέχνη που χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ναυπηγικής και της αεροδιαστημικής βιομηχανίας, σε βιομηχανικό και αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, προσθετική, και πολλά άλλα. Το CAD χρησιμοποιείται επίσης ευρέως για την παραγωγή animation ηλεκτρονικών υπολογιστών, για τα ειδικά εφέ σε ταινίες, διαφημιστικά και τεχνικά εγχειρίδια, γνωστό ως DCC- Digital Content Creation. Επίσης αναφέρεται στο λογισμικό και στο υλικό που χρησιμοποιείται για να σχεδιαστούν τα πρότυπα αυτών των αντικειμένων-προϊόντων.

### *Βασική CAD / CAM διαδικασία*

Υπάρχουν τόσα πολλά πακέτα λογισμικού CAD / CAM / CAE που το καθένα έχει τη δική του εξειδίκευση. Αλλά η κοινή διαδικασία που ακολουθείται στο CAD / CAM παρουσιάζεται βήμα προς βήμα παρακάτω :

1. Πρώτα απ' όλα δημιουργείται ένα 3D μοντέλο , ανάλογα με τις μηχανικές και μηχανολογικές απαιτήσεις, τις ανάγκες του χρήστη και τις αναγκαιότητες του προϊόντος, στο τμήμα μοντελοποίησης του λογισμικού.
2. Στη συνέχεια, το μοντέλο αναλύεται με την τοποθέτηση φορτίων και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων στο τμήμα ανάλυσης λογισμικού.
3. Εάν τα μοντέλα δεν επιτύχουν να περάσουν την ανάλυση, στη συνέχεια, το μοντέλο τροποποιείται και πάλι στο τμήμα του λογισμικού μοντελοποίησης .
4. Μετά την ανάλυση το τελικό μοντέλο είναι έτοιμο μέσα στο λογισμικό και ονομάζεται αριστούργημα (masterpiece). Εάν η μήτρα του μοντέλου απαιτείται , τότε μπορεί να δημιουργηθεί στο τμήμα καλουπιού του λογισμικού , όπου όλα τα εργαλεία της μήτρας σχεδιασμού είναι διαθέσιμα.
5. Το μοντέλο στη συνέχεια αποστέλλεται στο Computer Aided Manufacturing ( CAM ) τμήμα του λογισμικού, όπου καθορίζονται διάφοροι παράμετροι μηχανικής κατεργασίας όπως η τροφοδοσία , η ταχύτητα , το ακτινικό βάθος κοπής, το αξονικό βάθος κοπής, πληροφορίες κοπής , το μοτίβο της κοπής ,η χρήση ψυκτικού ή όχι κ.α.
6. Όλες οι παραπάνω παράμετροι για τη συγκεκριμένη λειτουργία συμπληρώνονται στο τμήμα του λογισμικού CAM . Αυτές όλες οι οδηγίες χρησιμοποιούνται από τον υπολογιστή για να παραχθεί ένα βήμα προς βήμα πρόγραμμα για να λειτουργήσει το μηχάνημα.

7. Το λογισμικό θα παράγει εικονικά το μοντέλο . Μπορεί να απεικονίσει και να δώσει τη δυνατότητα στο σχεδιαστή για έλεγχο και επίλυση τυχόν προβλημάτων στο τμήμα CAM.
8. Μετά την εξακρίβωση της λειτουργίας παραγωγής στον υπολογιστή δημιουργείται μια λίστα με τις οδηγίες και τις τιμές των παραμέτρων. Αυτή η λίστα ονομάζεται CNC πρόγραμμα και αποτελεί στην ουσία τον απόλυτο οδηγό για την κοπή.
9. Αυτό το πρόγραμμα CNC αποστέλλεται στον υπολογιστή της μηχανής CNC . Ο υπολογιστής αυτός στέλνει αυτές τις οδηγίες στην πραγματική μηχανή . Οι ίδιες εργασίες πραγματοποιούνται σε πραγματικό κομμάτι εργασίας και παράγεται στο τέλος το πραγματικό αντίγραφο του μοντέλου.
10. Αυτό το πραγματικό εξάρτημα είναι ακριβές αντίγραφο του μοντέλου που δημιουργήθηκε στο λογισμικό CAD / CAM στον υπολογιστή .

## 2.3 Τεχνολογία

Αρχικά το λογισμικό για το Computer - Aided Design αναπτύχθηκε με γλώσσες προγραμματισμού όπως η Fortran, ALGOL αλλά με την πρόοδο των object-oriented (αντικειμενοστραφών) μεθόδων προγραμματισμού, αυτό έχει αλλάξει ριζικά. Ένα τυπικό σύγχρονο παραμετρικό χαρακτηριστικό που βασίζεται σε μοντελοποίηση και ελεύθερης μορφής επιφανειακά συστήματα είναι χτισμένο γύρω από μια σειρά βασικών ενοτήτων C με τη δική τους APIs. Ένα σύστημα CAD μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει δημιουργηθεί από την αλληλεπίδραση μιας γραφική διεπαφής χρήστη (GUI) με τη γεωμετρία NURBS ή / και (B-rep data) δεδομένων, μέσω ενός πυρήνα γεωμετρικής μοντελοποίησης. Μια μηχανή περιορισμού γεωμετρία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση των συνεργατικών σχέσεων μεταξύ της γεωμετρίας, όπως η γεωμετρία wireframe σε ένα σκίτσο ή συστατικά σε ένα συγκρότημα.

Απροσδόκητες δυνατότητες αυτών των συνεργατικών σχέσεων έχουν οδηγήσει σε μια νέα μορφή των πρωτοτύπων που ονομάζεται ψηφιακή προτυποποίηση. Σε αντίθεση με τα φυσικά πρωτότυπα, που συνεπάγονται την κατασκευή του χρόνου στο σχεδιασμό. Σύμφωνα με αυτό, τα CAD μοντέλα μπορούν να παραχθούν από έναν υπολογιστή αφού έχει σαρωθεί το φυσικό πρότυπο χρησιμοποιώντας μια βιομηχανική μηχανή σάρωσης CT. Ανάλογα με τη φύση της επιχείρησης, ψηφιακά ή φυσικά πρωτότυπα μπορούν αρχικά να επιλέγονται ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες.

Σήμερα, CAD συστήματα υπάρχουν για όλες τις μεγάλες πλατφόρμες (Windows, Linux, Unix και Mac OS X). Μερικά πακέτα υποστηρίζουν ακόμα και πολλαπλές πλατφόρμες. Γνωστά λογισμικά για CAD/CAM είναι τα Pro-Engineer, Uni-Graphics, Catia, ArtCam, κ.α.

## 2.4 Εφαρμογές και χρήσεις

Λογισμικά CAD μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τις παρακάτω εφαρμογές σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας:

- για το σχεδιασμό και την κατασκευή πινακίδων 3 διαστάσεων



Σχήμα 2.5: παραδείγματα εταιρικών τρισδιάστατων πινακίδων

- για ξυλογλυπτική και χάραξη



Σχήμα 2.6 : παραδείγματα γλυπτών σε ξύλο

- για χαρακτηριστική και κατασκευή καλουπιών



Σχήμα 2.7 : παραδείγματα χαρακτηριστικής

- για σχεδιασμό και κατασκευή νομισμάτων και μεταλλίων



Σχήμα 2.8 : παραδείγματα νομισμάτων

- για ζαχαροπλαστική και φόρμες τροφίμων



Σχήμα 2.9 : παραδείγματα καλουπιών ζαχαροπλαστικής

- για θεματικά περιβάλλοντα και αρχιτεκτονικά σχέδια σε διάφορα υλικά



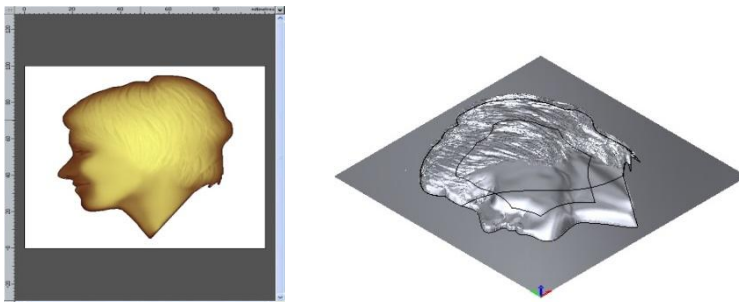
Σχήμα 2.10 : παραδείγματα αρχιτεκτονικών σχεδίων

- για καλούπια μετάλλων σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας



Σχήμα 2.11 : παραδείγματα καλουπιών

- για τη μετατροπή μίας εικόνας προσώπου σε τρισδιάστατη απεικόνιση μέσω του εργαλείου face wizzard



Σχήμα 2.12 : παράδειγμα δημιουργία 3σδιάστατου προφίλ

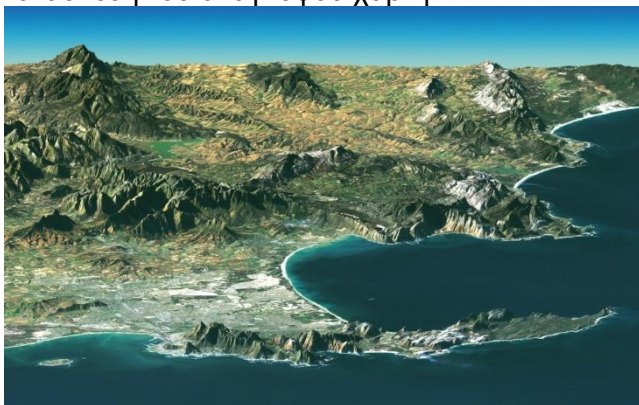
## 2.5 Δημιουργία ανάγλυφου χάρτη

Ως μία ακόμα δυνατότητα του CAD ερευνάται στη συγκεκριμένη διπλωματική ο σχεδιασμός και η κατασκευή, με κατεργασία αλουμινένιων δοκιμίων, ανάγλυφων τρισδιάστατων γεωγραφικών χαρτών.

Οι ανάγλυφοι τρισδιάστατοι χάρτες χρησιμοποιούνται συνήθως για γεωγραφικούς, στρατιωτικούς, τοπογραφικούς και πολεοδομικούς σκοπούς. Τέτοιες αναπαραστάσεις (μακέτες) είναι συνήθως χειροποίητες με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν ανακρίβειες στην κλίμακα και στην απεικόνιση των υψομέτρων.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μία ακριβής και λεπτομερής αποτύπωση των γεωγραφικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών μίας συγκεκριμένης περιοχής. Για να συμβεί αυτό απαιτείται η ανάκτηση χαρτών με ενσωματωμένες γεωμορφολογικές

πληροφορίες (χάρτες DEM, κεφάλαιο 4) και η επεξεργασία τους με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν εισαχθούν σε λογισμικό CAD/CAM και να αποτελέσουν τη «μήτρα» για την κατασκευή του ανάγλυφου χάρτη.



Σχήμα 2.13 παράδειγμα τυχαίου τρισδιάστατου χάρτη

## 2.6 ARTCAM PRO

Το ARTCAM PRO είναι ένα μοναδικό λογισμικό που δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει εύκολα εντυπωσιακά και υψηλής ποιότητας 3d προϊόντα ξεκινώντας από ένα 2d σχέδιο σε μορφή bitmap ή vector. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να σχεδιάσει μέσα από μια ποικιλία εργαλείων μία εικόνα σε δισδιάστατη μορφή ή να εισάγει μία έτοιμη. Στη συνέχεια μπορεί με διάφορους τρόπους να δημιουργηθεί ένα relief.

### 2.6.1 Τι είναι καινούργιο στο 2012

Τα καινούργια στοιχεία του λογισμικού σε σχέση με τις προηγούμενες εκδόσεις είναι :

- Δυνατότητα διαγραφής αποβλήτων κατά τη προσομοίωση με καλύτερη οπτικοποίηση
- Ενημερωμένο δέντρο εργασίας (project tree). Έχει συμπεριληφθεί ένα νέο αντικείμενο που παρέχει καλύτερο έλεγχο στα εισαγόμενα reliefs. Ακόμη έχουν αλλάξει οι εικόνες που σχετίζονται με την ιεραρχία ώστε να δοθεί έμφαση στη θέση τους.
- Ενημερωμένο εργαλείο μετασχηματισμού (transform tool). Το εργαλείο έχει αναπτυχθεί ώστε να επιτρέπει το χειρισμό vectors και relief στη 3d απεικόνιση με μεγαλύτερη ακρίβεια και ευελιξία.
- Αποθήκευση toolpaths . η διαδικασία αποθήκευσης έχει εξορθολογιστεί και σου δίνει μεγαλύτερο έλεγχο όταν επιλέγεις όνομα και προορισμό αποθήκευσης.
- Εκτεταμένη επεξεργασία κόμβων. Μπορεί ο χρήστης να επεξεργαστεί vectors σε απεικόνιση 3d.
- Βελτιωμένη εισαγωγή relief. Μεγαλύτερη ευελιξία και έλεγχος στην επεξεργασία ή επικόλληση ενός relief
- Ενημερωμένη επικόλληση σε εργαλείο καμπύλης
- Ενημερωμένο εργαλείο περιστροφής και αντιγραφής block
- Βελτιωμένο εργαλείο δημιουργίας πολύγραμμης (polyline tool)
- Βελτιωμένο εργαλείο τελειώματος διανύσματος (trim vector tool)
- Εκτεταμένες δυνατότητες καθρεπτισμού (mirroring)
- Βελτιωμένο εργαλείο μετατροπής bitmap σε vector
- Ενισχυμένη προσομοίωση toolpath με επιλογή μέρους toolpath
- Βελτιωμένος χειρισμός εμφάνισης και zoom
- Ενισχυμένη βιβλιοθήκη με relief και clipart
- Ενημερωμένο εργαλείο κοπής ενός layer από ένα vector
- Ενισχυμένο εργαλείο γλυπτικής (sculpture tool)
- Νέα τοποθέτηση στο εργαλείο επιφάνειας (surface tool)

- Νέα υφή στο εργαλείο ροής με δυνατότητες οργανικής υφής(flow tool)
- Εκτεταμένο εργαλείο ανάμιξης περιγράμματος(contour blending tool)
- Νέο πλέγμα δημιουργίας toolpath(grid creator)
- Ενισχυμένο toolpath για μηχανική κατεργασία με laser
- Βελτιωμένο toolpath μηχανικού relief με δυνατότητα κοπής σε φέτες στον άξονα z
- Νέα POV-Ray υποστήριξη για rendering
- Ενισχυμένη παλέτα χρωμάτων
- Ενημερωμένα εργαλεία εμφάνισης(view toolbars)
- Εκτεταμένη υποστήριξη γραμματοσειρών
- Εκτεταμένες επιλογές για την εμφάνιση διανύσματος, τη δημιουργία σχημάτων
- Εκτεταμένη εισαγωγή αρχείων
- Διάφορες αλλαγές στο περιβάλλον χρήστη και στις διεπαφές

## 2.6.2 Συμβατότητα

Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής και εξαγωγής (αποθήκευσης) σε μία μεγάλη ποικιλία formats όπως (bmp, gif, jpg, jpeg, pdf ). Ακόμη είναι συμβατό με τους τύπους αρχείων του AutoCAD (dxf, dwg). Συμβατότητα με άλλα CAD συστήματα επιτυγχάνεται με την εξαγωγή του Stereo Lithography format (STL) το οποίο είναι αναγνωρίσιμο σε όλες τις τυπικές εργαλειομηχανές κοπής CNC ή σε Rapid Prototyping μηχανές για παραγωγή.

Αναλυτικά οι τύποι αρχείων που υποστηρίζει το πρόγραμμα είναι οι παρακάτω :

<p><b>Vector files</b> EPS,DXF,AI, DWG, PDF, WMF, DGK, PIC</p>	<p><b>Surface Model files</b> 3DM, DGK, SLDPRT, IGS, IGE, IGES</p>
<p><b>Raster files</b> BMP, DIB, RLE, JPG, JPEG, JPE, JFIF, GIF, EMF, WMF, TIF, TIFF, PNG, ICO</p>	<p><b>Delcam files</b> PIC, DGK</p>
<p><b>3D files</b> 3DS, DXF, STL, U3D, OBJ, DMT</p>	<p><b>ArtCAM files</b> ART, 3DP, 3DA, RLF</p>

Πίνακας 2.14 : τύποι αρχείων συμβατοί με artCam

## 2.7 Τι είναι ένα relief (ανάγλυφο)

Ένα ανάγλυφο αποτελείται από ένα ή περισσότερα τρισδιάστατα σχήματα που έχουν δημιουργηθεί στο ArtCAM Pro. Ένα τρισδιάστατο σχήμα γίνεται σύνολο ή μέρος ενός ανάγλυφου όταν η μέθοδος συνδυασμού για το σχήμα που έχει επιλεγεί έχει υπολογιστεί.

Τελικά, ένα ανάγλυφο αποτελείται από ένα πλέγμα σημείων με παρόμοιο τρόπο όπως σε μία bitmap εικόνα. Ωστόσο, αντί του χρώματος, κάθε σημείο έχει αντιστοιχηθεί σε ένα συγκεκριμένο ύψος.

Όταν ένα νέο μοντέλο δημιουργείται στο ArtCAM Pro, είναι απαραίτητος ο ορισμός του μέγεθός του σε χιλιοστά ή ίντσες και να καθοριστεί η ανάλυση του μοντέλου. Ο αριθμός των σημείων στο μοντέλο καθορίζει την ανάλυση του ανάγλυφου και κάθε σχετικής εικόνας bitmap.

Ένας συμβιβασμός πρέπει να γίνει μεταξύ της ποιότητας ενός μοντέλου, που συμπεριλαμβάνει οποιοδήποτε ανάγλυφο μέσα σε αυτό, και της ταχύτητας του επεξεργαστή του υπολογιστή. Για τις περισσότερες εργασίες, ένα μοντέλο από 1.000.000 σημεία είναι λογικό. Δεδομένου ότι ένα ανάγλυφο αποτελείται από μια σειρά σημείων, ακόμα και η ποιότητα και η ομαλότητα των τρισδιάστατων σχημάτων που δημιουργούνται

από ένα διάνυσμα (vector) αντικειμένων, εξαρτώνται από την ανάλυση του μοντέλου, αν και αυτό συμβαίνει σε μικρότερο βαθμό από ό, τι με τα σχήματα που δημιουργήθηκαν από εικόνες bitmap.

Ένα ανάγλυφο μπορεί να αποθηκευτεί ή να φορτωθεί σε μορφή .rlf. Αν δεν υπάρχει bitmap εικόνα ίδιας ανάλυσης όπως στο ανάγλυφο, το ArtCAM Pro δημιουργεί μια απεικόνιση bitmap σε κλίμακα του γκρι όταν το μοντέλο 3D φορτώνεται.

Το 3d relief δημιουργείται ορίζοντας περιοχές του σχήματος και προσθέτοντας υψές ή έτοιμα σχήματα relief από τις βιβλιοθήκες. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να προστεθούν κάνοντας χειροκίνητη γλυπτική (hand sculpting) ή εξομάλυνση (smoothing) σε όποιο σημείο είναι επιθυμητό. Επιπλέον προσφέρει στο χρήστη τη δυνατότητα για προχωρημένου επιπέδου προσομοίωση κοπής.

## 2.8 bitmap ή vector

Στο artCAM pro υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας ενός αντικείμενου τύπου vector από εικόνα bitmap και αντίστροφα.

Πρόκειται για δύο διαφορετικές μεθόδους απεικόνισης και αναπαραγωγής συγκεκριμένου τύπου εικόνας.

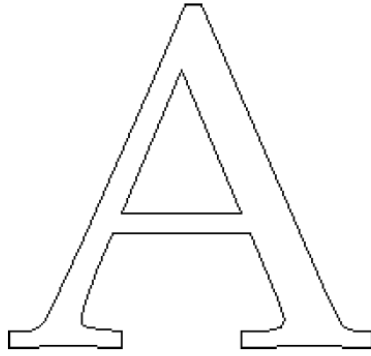
### **Vector (διάνυσμα):**

Τα δεδομένα τύπου vector ορίζονται με μαθηματικό τρόπο. Τα αντικείμενα είναι γεωμετρικά και αποτελούνται από έναν αριθμό σημείων που ενώνονται μεταξύ τους με ευθείες ή καμπύλες. Τα διανύσματα είναι ιδιαίτερα ευέλικτα και μπορούν να χειριστούν με ευκολία και ακρίβεια. Η ποσότητα δεδομένων που απαιτείται για να εμφανιστούν όλα τα χαρακτηριστικά ενός διανύσματος είναι πολύ μικρή οπότε και τα γραφικά που αποτελούνται από διανύσματα έχουν μικρό μέγεθος. Τα διανυσματικά δεδομένα είναι ιδανικά για την παραγωγή ομαλών χαρακτηριστικών. Ένα αντικείμενο vector έχει μεγαλύτερη ευκρίνεια από ένα bitmap αλλά πλεονεκτεί επίσης καθώς η γεωμετρία του διευκολύνει την καθοδήγηση ενός ειδικού εργαλείου κατεργασίας άμεσα ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερο φινιρίσμα.

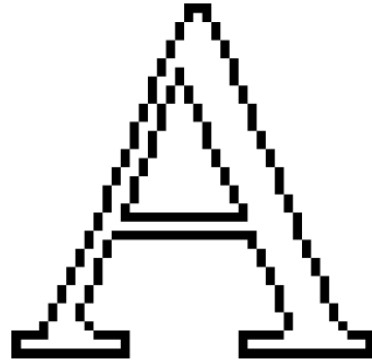
### **Bitmap:**

Τα δεδομένα bitmap αποτελούνται από ένα σύνολο τιμών που καθορίζουν το χρώμα μεμονωμένων pixel που συνθέτουν μια εικόνα. Τα δεδομένα bitmap χαρακτηρίζονται από μία τιμή ανάλυσης και τιμή βάθους bit. Η ανάλυση σχετίζεται με τις λεπτομέρειες σε μία εικόνα και εκφράζεται σε κουκίδες ανά ίντσα (dpi) ή pixel ανά ίντσα (ppi). Όσο μεγαλύτερη η ανάλυση (δηλ. όσο περισσότερες κουκίδες χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την εικόνα) τόσο μεγαλύτερη η δυνατότητα για λεπτομέρεια. Το βάθος bit έχει να κάνει με τον αριθμό των χρωμάτων που μπορεί να εμφανίσει η εικόνα. Μία μαύρη και άσπρη εικόνα είναι 1 bit, που σημαίνει ότι μπορεί να πάρει την τιμή 1 ή 0, άσπρο ή μαύρο αντίστοιχα. Όσο αυξάνεται το βάθος bit τόσο περισσότερα χρώματα είναι διαθέσιμα. Σε αντίθεση με τα δεδομένα vector τα δεδομένα bitmap είναι μεγάλα σε μέγεθος. Για παράδειγμα, ένα απλό αντικείμενο όπως το γράμμα παρακάτω είναι 32838 bytes. Όταν όμως ραστεροποιείται (μετατρέπεται σε bitmap) αυξάνει το μέγεθος του σε 40078 bytes. Μία τέτοια αύξηση σε μεγάλες συνθέσεις έχει σημαντικό αντίκτυπο στο χρόνο επεξεργασίας.

*Vector Data*



*Bitmap Data*

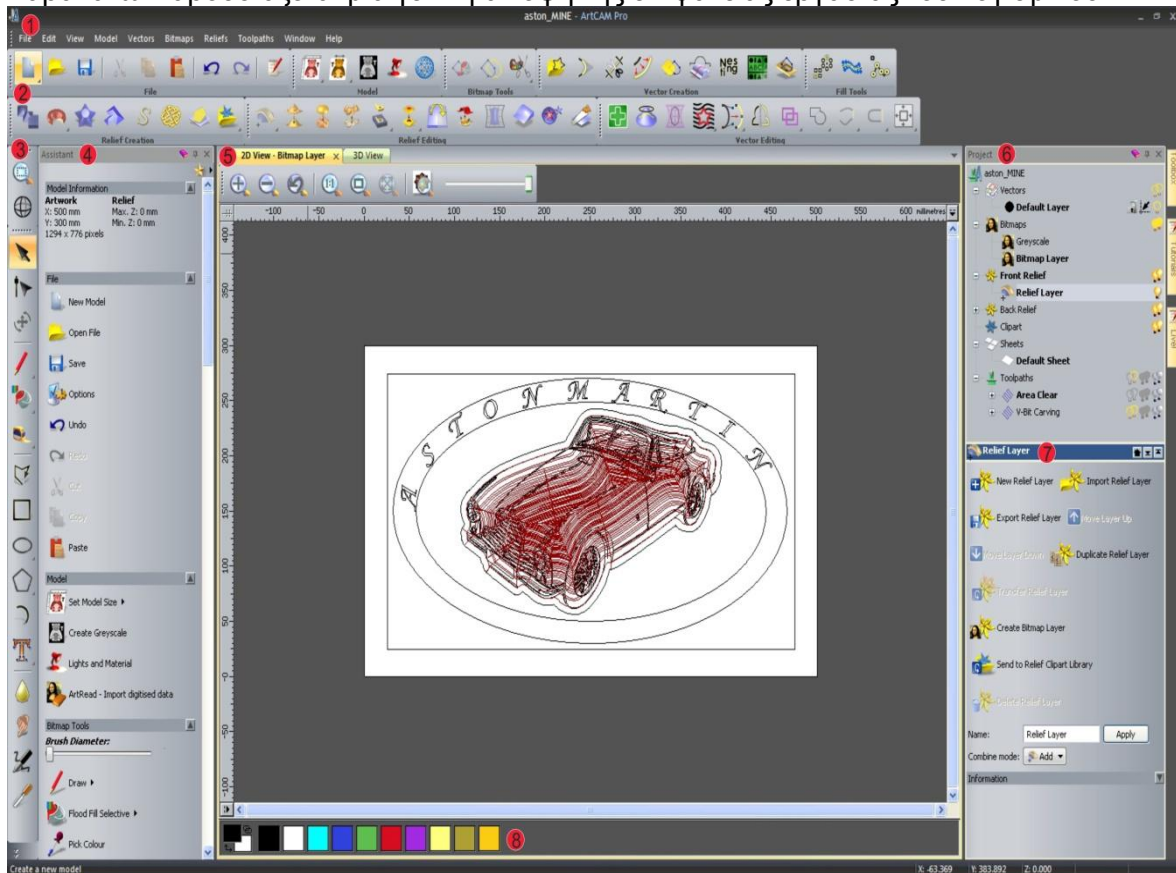


Σχήμα 2.15 : σύγκριση vector bitmap

### 3. Οδηγός λογισμικού artCAM Pro 2012

#### 3.1 Interface

Παρακάτω παρουσιάζεται μία γενική άποψη της επιφάνειας εργασίας του λογισμικού



Σχήμα 3.1 : αρίθμηση και παρουσίαση περιοχών interface

Ακολουθούν αναλυτικές οδηγίες σχετικά με τα κουμπιά εργαλείων και τις αντίστοιχες δυνατότητες τους.

Με την παρακάτω αρίθμηση διαχωρίζονται οι περιοχές του λογισμικού και περιγράφονται οι λειτουργίες που επιτελούν.

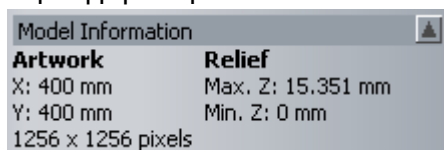
**1. Το βασικό menu :** περιέχει διάφορα υπο-μενού με μεγάλη ποικιλία εντολών

**2. Γραμμές εργαλείων (toolbars):** πρόκειται στην ουσία για συντομεύσεις των λειτουργιών του λογισμικού. Κάθε χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσαρμόσει τις γραμμές ανάλογα με τις ανάγκες του (μετακίνηση θέσης, επιλογή εμφάνισης ) ή ακόμα και να δημιουργήσει το δικό του toolbar με εντολές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά.

**3. Τα εργαλεία σχεδιασμού :** περιέχει όλες τις εντολές για διδιάστατο σχεδιασμό. Εργαλεία κοινά και μη με άλλα λογισμικά σχεδιασμού όπως η δημιουργία κύκλου, πολυγώνων, παραλληλόγραμμων, τόξων, γραμμής, βούρτσας, γεμίσματος με χρώμα, μέτρησης απόστασης, μετασχηματισμού, λείανσης, χάραξης, κ.α.

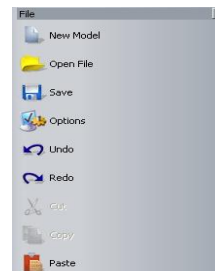
**4. Το παράθυρο βοηθού (assistant window) :**

Περιέχει κουμπιά για σχεδόν όλα τα χαρακτηριστικά του ArtCAM Pro, καθώς και μια περίληψη του μοντέλου και του ανάγλυφου(relief) με διαστάσεις.



Τα κουμπιά αυτά χωρίζονται σε δέκα τομείς:

- Αρχείο - Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αυτά τα κουμπιά για διαχείριση των αρχείων του μοντέλου, άνοιγμα νέου μοντέλου, καθώς επίσης και για αλλαγή της εμφάνισης.



- Μοντέλο - Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αυτά τα πλήκτρα για τη διαχείριση της εμφάνισης του μοντέλου, και την προσαρμογή του τρόπου με τον οποίο εμφανίζεται το μοντέλο στην τρισδιάστατη απεικόνιση.



- επεξεργασία Bitmap :

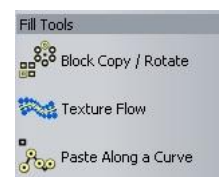
Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αυτά τα κουμπιά για σχεδιασμό και βάψιμο bitmap σχημάτων, καθώς και για διαχείριση της παλέτας χρωμάτων, του μεγέθους και του σχήματος της βούρτσας που χρησιμοποιείτε. Ακόμη περιέχει μία αρκετά χρήσιμη εντολή για μετατροπή του bitmap σε vector και το εργαλείο επιλογής μαγικό ραβδί.



- επεξεργασία Vector - Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αυτά τα κουμπιά για τη δημιουργία διανυσματικών αντικειμένων σε μορφή σχήματος ή κειμένου, καθώς και για μέτρηση και να χειρισμό των αντικειμένων τύπου vector που συνθέτουν το έργο τέχνης στο μοντέλο σας. Συγκεκριμένα περιέχουν λειτουργίες για διόρθωση(doctor), αυλάκωση (spline), συνταίριασμα τόξου, τελειοποίηση, τύλιγμα, ορισμό περιθωρίων, κατοπτρισμό διανυσμάτων. Τέλος υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής διανύσματος από τη βιβλιοθήκη.



- εργαλεία γεμίσματος (fill tools)- Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αυτά τα κουμπιά για αντιγραφή και επικόλληση ενός διανύσματος, για τη δημιουργία γραμμών υφής ανάλογα με το σχέδιο, και το χειρισμό καμπυλών στο διάνυσμα.



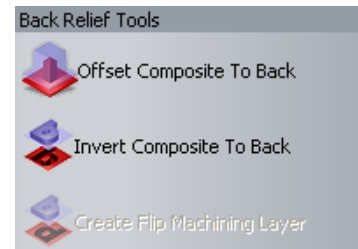
- Θέση ,συνδυασμός, φινίρισμα διανυσμάτων – με αυτά τα κουμπιά επιτυγχάνεται η στοίχιση, η ομαδοποίηση, η εμφώλευση ,η σύνδεση, η συγκόλληση και η κοπή σε φέτες διανυσμάτων. Επίσης υπάρχει επιλογή για «τύλιξη» κειμένου γύρω από μία καμπύλη.



- εργαλεία για επεξεργασία ανάγλυφου (relief tools) - Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αυτά τα κουμπιά για την κλιμάκωση, τη 3d μίξη, τη μίξη σύμφωνα με το περίγραμμα, την περιστροφή, τη δημιουργία εξοχής ή εσοχής, την αναστροφή και την επαναφορά ή προσθήκη υψής σε ένα ανάγλυφο. Μπορείτε επίσης να δημιουργήσετε μια γωνία, να δημιουργήσετε ένα τρίγωνο πλέγμα, να λειάνετε, να εξομαλύνετε, να κόψετε με διάφορους τρόπους, να ορίσετε πως διασταυρώνονται και ποια είναι τα όρια ενός ανάγλυφου. Δίνεται ακόμη η δυνατότητα εισαγωγής ανάγλυφων από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού.



- Εργαλεία πίσω ανάγλυφου – δυνατότητα αντιστροφής και εισαγωγής offset σε ένα ανάγλυφο.



## 5. Παράθυρα σχεδίασης :

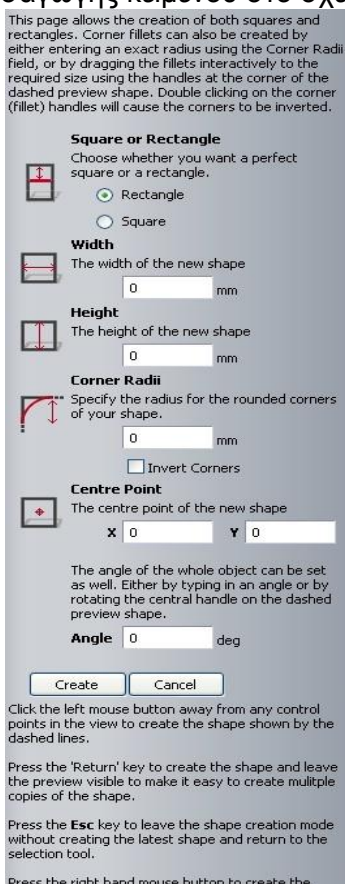
Αυτή είναι η κεντρική περιοχή της οθόνης. Το ArtCAM Pro χρησιμοποιεί δύο τύπους εμφάνισης. Το παράθυρο 2D εμφάνισης δείχνει το vector και bitmap μοντέλο και προεπισκόπηση από τα υπολογιζόμενα 2D toolpaths, ενώ το 3D παράθυρο εμφανίζει ένα τρισδιάστατο ανάγλυφο και κάθε υπολογισμένο ή προσομοιωμένο toolpath.

## 6. Project :

Αυτή η καρτέλα εμφανίζει τη σελίδα του project γενικότερα και ένα δένδρο του μοντέλου. Δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δει πληροφορίες σχετικά με το μοντέλο, να δημιουργήσει, να διαγράψει ή να επεξεργαστεί το σχέδιο και να υπολογίσει ανάγλυφα. Μπορεί επίσης να επεξεργαστεί, να υπολογίσει, να διαγράψετε και να προσομοιώσει toolpaths, ή να δημιουργήσει ένα πρότυπο από αυτά.

## 7. Εμφάνιση επιλογών εργαλείου

Στο δεξί μέρος της οθόνης εμφανίζεται ένα παράθυρο που περιέχει ρυθμίσεις και σχετικές πληροφορίες για το εκάστοτε επιλεγμένο εργαλείο. Παρακάτω εμφανίζονται ενδεικτικά τα παράθυρα ρυθμίσεων δύο χρήσιμων εργαλείων όπως του σχεδιασμού παραλληλογράμμων και της εισαγωγής κειμένου στο σχέδιο.



Σχήμα 3.2 : παραδείγματα με επιλογές εργαλείων

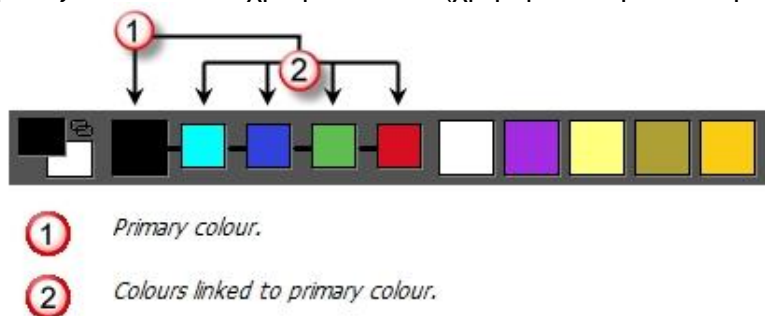
Ακόμη στο δεξί κάτω μέρος υπάρχει ένα παράθυρο που εμφανίζει λεπτομέρειες από το μοντέλο(μέγεθος, ριχελς,θέση κέρσορα, κ.α.) και εναλλάσσεται σε πληροφορίες για κάθε μέρος του project(vector/bitmap layers,relief, toolpaths) και συντόμευση επιλογών και λειτουργιών για κάθε επιλεγμένο μέρος του μοντέλου.

Δεξιά εμφανίζεται ένα παράδειγμα όπου έχει επιλεχθεί το relief layer και από κάτω εμφανίζονται όλες οι δυνατές επιλογές όπως δημιουργία, εισαγωγή, εξαγωγή, δημιουργία διπλότυπου, μετακίνηση στην ιεραρχία, δημιουργία bitmap layer, κ.α



## 8. Παλέτα χρωμάτων

Στο κάτω μέρος της οθόνης βρίσκεται η περιοχή της παλέτας των χρωμάτων όπου εμφανίζονται τα χρώματα που υπάρχουν στο σχέδιο καθώς και οι σχέσεις –συνδέσεις μεταξύ των χρωμάτων (χρήσιμο για τη δημιουργία ανάγλυφων).



Σχήμα 3.3 : παλέτα χρωμάτων

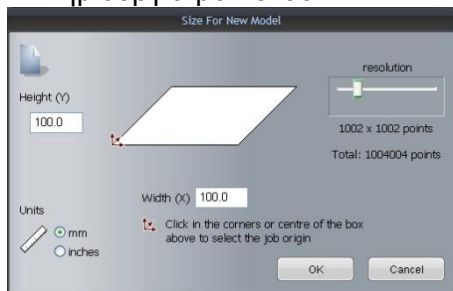
Το λογισμικό δίνει επιπλέον στο χρήστη τη δυνατότητα να εισάγει και να χρησιμοποιήσει μια δικιά του προσαρμοσμένη παλέτα χρωμάτων.

Για την προσαρμογή των παραθύρων και των toolbars που επιθυμεί ο χρήστης αρκεί ένα δεξί κλικ πάνω σε κάποιο toolbar και μπορεί εύκολα να επιλεγεί ποιες μπάρες εργαλείων θα είναι ορατές και στη συνέχεια να τις μετακινήσει σε όποιο θέση επιθυμεί.

## 3.2 Επιλογές μοντέλου

Όταν ανοίγει το λογισμικό ο χρήστης καλείται να επιλέξει :

### 1. Δημιουργία μοντέλου :



Ανοίγει ένα παράθυρο όπου καθορίζονται οι διαστάσεις του μοντέλου, οι μονάδες μέτρησης και η ανάλυση

### 2. Άνοιγμα μοντέλου :

Επιλέγεται ένα ήδη υπάρχον μοντέλο με τύπο αρχείου **\*.art**, **\*.bmp**, **\*.tif**, **\*.pcx**, **\*.gif**, **\*.jpg**, **\*.rlf**, **\*.dxf**, **\*.dwg**

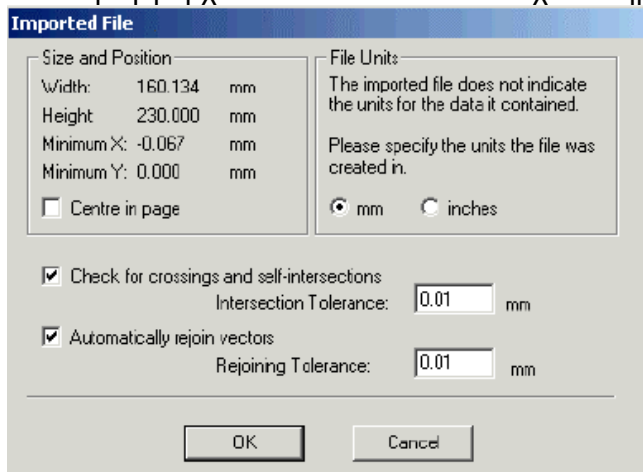
## 3.3 Χειρισμός μοντέλου

Μετά τη δημιουργία ή το άνοιγμα υπάρχοντος μοντέλου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να χειριστεί το μοντέλο με τα παρακάτω κουμπιά για να εκτελέσει τις ακόλουθες λειτουργίες από αριστερά προς τα δεξιά:



- Δημιουργία νέου μοντέλου.
- Άνοιγμα αποθηκευμένου μοντέλου.
- Αποθήκευση τρέχοντος μοντέλου.

- Εμφάνιση ή απόκρυψη σημειώσεων μοντέλου.
- Εισαγωγή αρχείων τύπου vector που έχουν δημιουργηθεί σε άλλες εφαρμογές.

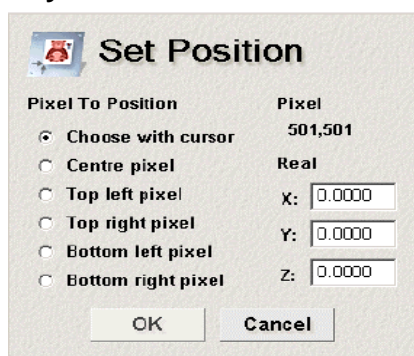


Σχήμα 3.4 : εισαγωγή αρχείου

- Διόρθωση πιθανού λάθους με την επιλογή διόρθωσης παραμόρφωσης και κλίσης με μοίρες (deskewing image).
- Άνοιγμα βοήθειας του λογισμικού.
- Αλλαγή και προσαρμογή ρυθμίσεων και προτιμήσεων του λογισμικού.

Ενώ με τη μπάρα εργαλείων του μοντέλου υπάρχει η δυνατότητα να :


- Επεξεργασθούν και να αλλαχθούν οι διαστάσεις του μοντέλου όπως δείχτηκε πιο πριν ή ακόμα και να εισαχθούν ασύμμετρες διαστάσεις με την επιλογή **Model → Set Size Asymmetric**



- Ορισθεί η θέση του μοντέλου μέσω του παρακάτω μενού που περιλαμβάνει πολλές επιλογές όπως ο χειροκίνητος ορισμός με τον κέρσορα, ο ορισμός στο κεντρικό ή στο πάνω αριστερό ή στο πάνω δεξί ή στο κάτω αριστερό ή στο κάτω δεξί pixel ή ακόμα ο ορισμός συγκεκριμένου σημείου με την εισαγωγή ακριβών συντεταγμένων.

- Διαγραφούν όλα τα στοιχεία bitmap του μοντέλου.
- Δημιουργηθεί μία απεικόνιση του μοντέλου σε κλίμακα του γκρι. Αρκετά χρήσιμη επιλογή για να εμφανίζεται το σχήμα πιο ευδιάκριτα ειδικά σε περιπτώσεις εισαγωγής

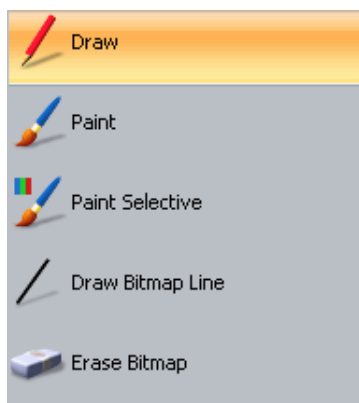
κειμένου ή ακόμα προσθήκης υφής .

- Προστεθούν όρια στο μοντέλο. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ένα πρωτεύων χρώμα από την παλέτα και να ορίσει όρια γύρω από το συγκεκριμένο χρώμα.
- Μειωθούν τα χρώματα που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο
- Ρυθμιστούν οι φωτισμοί και οι επιλογές του υλικού για ένα ανάγλυφο. Το λογισμικό προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής μέχρι και 4 χρωμάτων/ υπερφωτισμών για το διαχωρισμό των διαφόρων περιοχών του ανάγλυφου. Ακόμη μπορεί να επιλεγεί χρώμα που προσομοιάζει με το πραγματικό υλικό που θα κοπεί. Επίσης με το κουμπί φωτισμών και υλικών  που επιτρέπει τη φόρτωση κάποιου ήδη φτιαγμένου φωτισμού τύπου \*.lgt ή \*.shd ή ενός έτοιμου προτύπου από τις βιβλιοθήκες. Ακόμη δίνει τη δυνατότητα επιλογής φωτισμού όπως μακρινός, σημείου, λάμπας και επιλογής οποιοδήποτε χρώματος από την παλέτα.
- Καθρεπτιστεί το μοντέλο. Να μετακινηθεί δηλαδή ως προς ένα άξονα κατοπτρικά
- Περιστραφεί το μοντέλο.

### 3.4 Επεξεργασία Bitmap

Σε αυτό το υπο-μενού υπάρχουν τα παρακάτω εργαλεία για την επεξεργασία σε επίπεδο bitmap :

Για όλα τα παρακάτω εργαλεία ο χρήστης καλείται να ρυθμίσει τη διάμετρο της βούρτσας

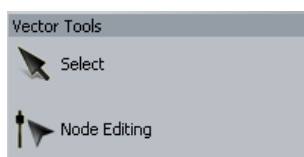


- Σχεδίαση : δίνει τη δυνατότητα χειροκίνητης σχεδίασης
- Ζωγραφική: δυνατότητα χειροκίνητου βαψίματος με επιλογή χρώματος από την παλέτα
- Επιλεγμένη ζωγραφική για κάλυψη επιφάνειας του δευτερεύοντος χρώματος με το πρωτεύον
- Σχεδίαση ευθείας γραμμής τύπου bitmap
- Διαγραφή με τη μορφή γόμας όλων των σχεδίων τύπου bitmap

Σχήμα 3.5 :εργαλεία σχεδίασης

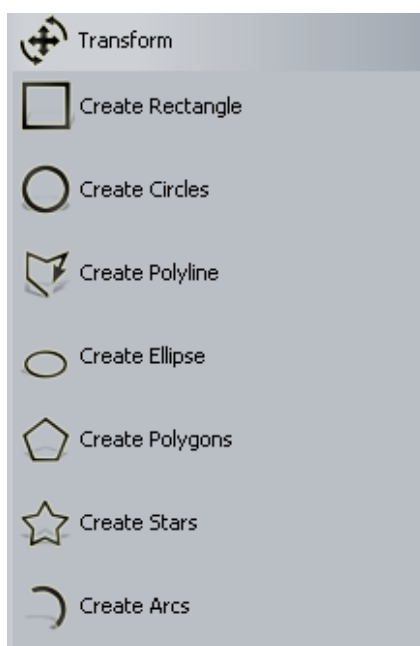
### 3.5 Επεξεργασία Vector

Σε αυτό το υπο-μενού υπάρχουν τα παρακάτω εργαλεία για την επεξεργασία σε επίπεδο vector :



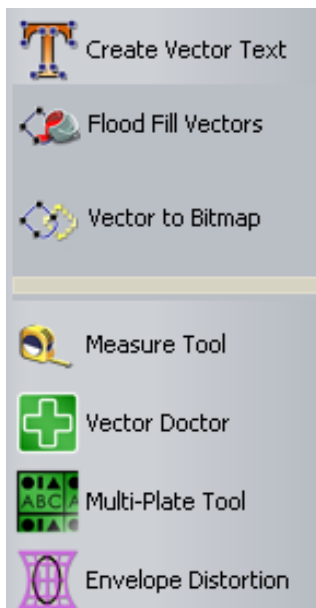
Αρχικά υπάρχει το εργαλείο επιλογής με δύο διαφορετικές δυνατότητες : την επιλογή ολόκληρου σχήματος και την επιλογή κόμβου

Στη συνέχεια υπάρχουν τα παρακάτω εργαλεία για σχεδιασμό :



- για μετατροπή του επιλεγμένου σχήματος ως προς τη θέση, το σχήμα, την κλίμακα, τη γωνία κλπ
- Δημιουργία παραλληλόγραμμου με ορισμό διαστάσεων ή χειροκίνητα
- Δημιουργία κύκλου με ορισμό ακτίνας ή χειροκίνητα
- Δημιουργία πολύγραμμου με ορισμό κόμβων και ένωση τους και επιλογές εξομάλυνσης και προσθήκης σε υπάρχον σχέδιο
- Δημιουργία έλλειψης και ορισμός γωνίας κλίσης
- Δημιουργία πολύγωνου με ορισμό αριθμού πλευρών και ακτίνα από το κέντρο
- Δημιουργία αστεριών με ορισμό αριθμού σημείων και απόσταση πρώτων και δεύτερων σημείων
- Δημιουργία τόξων με ορισμό μοιρών και σημείου εκκίνησης

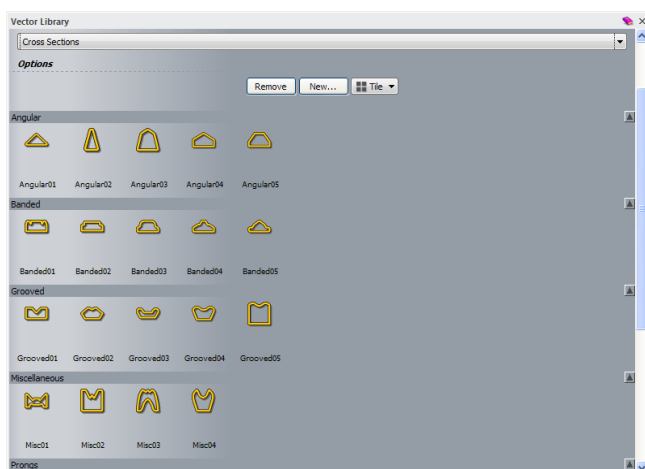
Ακολουθεί περιγραφή για τα υπόλοιπα εργαλεία:



- Δημιουργία χαρακτήρων κειμένου τύπου vector
- Γέμισμα χαρακτήρων με χρώματα ή μοτίβα
- Μετατροπή ενός vector σε bitmap για επεξεργασία
- Εργαλείο μετρήματος που επιτρέπει την ακριβή μέτρηση αποστάσεων, γωνιών, κλπ
- Εργαλείο διόρθωσης προβλημάτων σε διανύσματα όπως σε περιοχές που τέμνονται ή αλληλεπικαλύπτονται
- Εργαλείο για ορισμό ενός συγκεκριμένου προτύπου και δημιουργία- επεξεργασία πλακετών με σύμβολα
- Δημιουργία παραμόρφωσης στο επιλεγμένο διάνυσμα



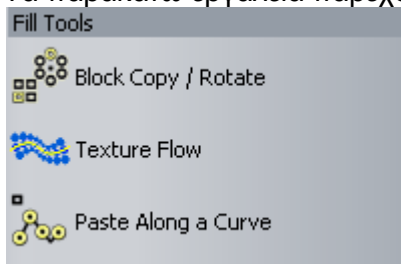
- εργαλείο για τη συγχώνευση κόμβων που οδηγεί σε καμπύλες επιφάνειες
- Αντικαθιστά τους κόμβους σε ένα διάνυσμα με ένα τόξο ίδιου σχήματος
- Χωρίζει έναν κόμβο σε δύο νέους που ισαπέχουν
- Διαγράφει περιττούς κόμβους που προκύπτουν από υπερκαλύψεις
- Εργαλείο για να τυλίξει ένα διάνυσμα (συνήθως κείμενο) γύρω από εάν ανάγλυφο
- Δημιουργεί ένα συμψηφισμένο διάνυσμα από δύο ή περισσότερα άλλα
- Αντιστρέφει την κατεύθυνση ενός διανύσματος δημιουργώντας ένα είδωλο
- Ανοίγει τη βιβλιοθήκη του λογισμικού που περιέχει διάφορες επιλογές διανυσμάτων όπως φαίνονται μερικές παρακάτω



Σχήμα 3.6 : έτοιμα διανύσματα στις βιβλιοθήκες του λογισμικού

### 3.6 Εργαλεία γεμίσματος (fill tools)

Τα παρακάτω εργαλεία παρέχουν προχωρημένες επιλογές γεμίσματος

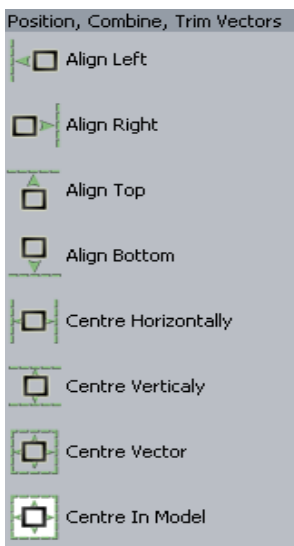


- αντιγράφει και επικολλά ή περιστρέφει το επιλεγμένο μπλοκ με επιλογές απόστασης και θέσης
- Δημιουργεί κάποια ροή υφής σε μία επιφάνεια αναπαράγοντας με διάφορες επιλογές ένα επιλεγμένο σχήμα
- Επικολλά ένα διάνυσμα κατά μήκος ενός άλλου επιλεγμένου διανύσματος ή ενός συνδυασμού διανυσμάτων ή σχήματος .

### 3.7 Θέση ,συνδυασμός, φινίρισμα διανυσμάτων

Παρακάτω περιγράφονται μια σειρά από εργαλεία στον assistant που χρησιμεύουν στη μετατροπή, μορφοποίηση και το συνδυασμό με διάφορους τρόπους πολλαπλών διανυσμάτων.

Αρχικά παρουσιάζονται αναπτυσσόμενα όλα τα εργαλεία για τη στοίχιση δύο ή παραπάνω διανυσμάτων :



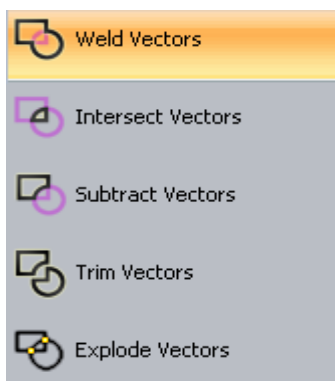
- στοίχιση αριστερά
- στοίχιση δεξιά
- στοίχιση στο επάνω μέρος
- στοίχιση στο κάτω μέρος
- στοίχιση γύρω από το κέντρο οριζόντια
- στοίχιση γύρω από το κέντρο κάθετα
- στοίχιση γύρω από το κέντρο γενικά
- τοποθέτηση στο κέντρο του μοντέλου

Στη συνέχεια φαίνονται τα παρακάτω εργαλεία



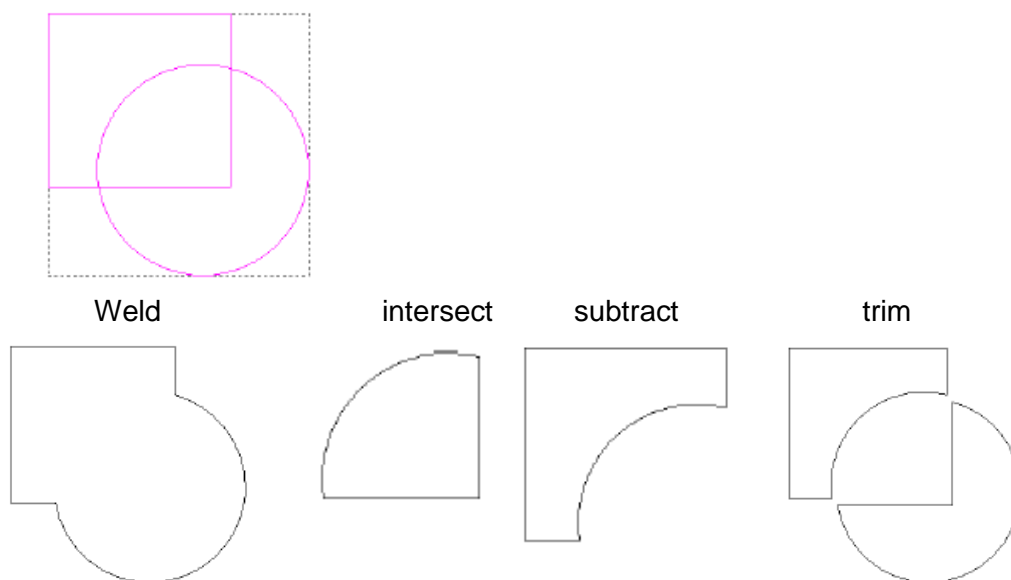
- για την αναδίπλωση κειμένου γύρω από ένα καμπύλο διάνυσμα
- για εμφώλευση (περιορισμό) κάποιων επιλεγμένων διανυσμάτων μέσα σε μία περιοχή ή ένα σχήμα
- για ομαδοποίηση διανυσμάτων και
- για κατάργηση ομαδοποίησης

Ακολουθούν εργαλεία για συγχώνευση διανυσμάτων :



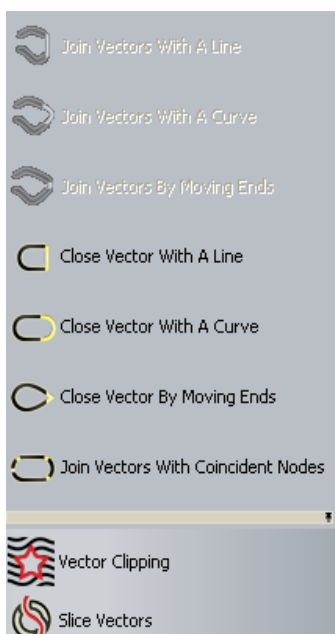
- δημιουργεί την ένωση των περιγραμμάτων των δύο σχημάτων
- δημιουργεί την τομή των περιγραμμάτων των δύο σχημάτων
- δημιουργεί την διαφορά των περιγραμμάτων των δύο σχημάτων
- δημιουργεί την συμμετρική διαφορά των περιγραμμάτων των δύο σχημάτων, δηλ δημιουργεί 2 σχήματα χωρίς κοινά σημεία
- χωρίζει τα διανύσματα εκεί που τέμνονται τα σχήματα

Για να γίνουν πιο κατανοητά τα παραπάνω παραθέτουμε τις παρακάτω εικόνες *Before...*



Σχέδιο 3.7 : τρόποι συγχώνευσης διανυσμάτων

Ακολουθούν οι παρακάτω επιλογές για ένωση και σύνδεση διανυσμάτων :



- ένωση διανυσμάτων με ευθεία γραμμή
- Ένωση διανυσμάτων με καμπύλη γραμμή
- Ένωση διανυσμάτων συμπληρώνοντας την άκρη
- Κλείσιμο- συμπλήρωση διανύσματος με γραμμή
- Κλείσιμο- συμπλήρωση διανύσματος με καμπύλη
- Κλείσιμο- συμπλήρωση διανύσματος με κινούμενες άκρες
- Ένωση διανυσμάτων με συμπτωτικούς κόμβους
- Συνδυασμός διανυσμάτων με επιλογές για επικάλυψη, τομή
- Κοπή των σχημάτων στα σημεία που τέμνονται, κ.α.

### 3.8 Εργαλεία για επεξεργασία ανάγλυφου (relief tools)

Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά τα εργαλεία για το σχεδιασμό και την επεξεργασία ενός ανάγλυφου :

#### Χρήση του καθορισμού σχήματος (shape editor)




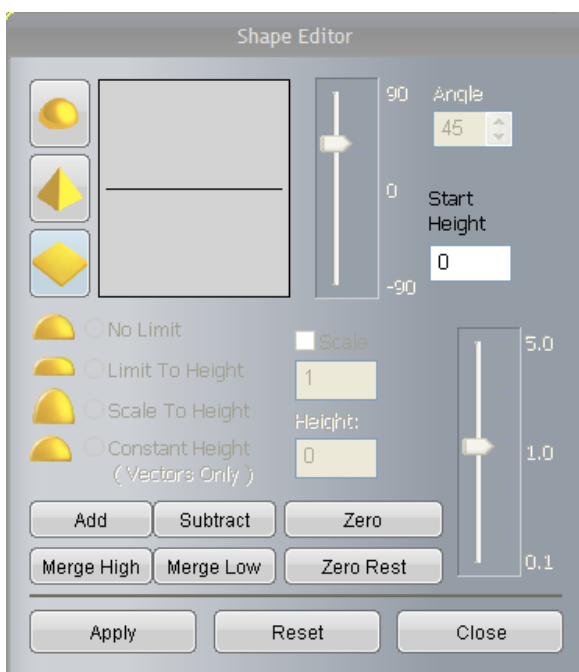
Ο shape editor είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο καθώς επιτρέπει στο χρήστη τη δημιουργία απλών τρισδιάστατων σχημάτων πάνω σε ένα relief layer. Η χρήση του μπορεί να γίνει είτε σε ένα bitmap layer με βάση τα υπάρχοντα επιλεγμένα χρώματα, είτε σε ένα vector layer με βάση τα κλειστά διανύσματα που σχηματίζονται. Επιτρέπει αναλυτικότερα την αλλαγή του προφίλ, της γωνίας και του ύψους του σχήματος. Καθορίζει επίσης τον τρόπο με τον οποίο συνδυάζονται και εμπλέκονται τα υπάρχοντα σχήματα στο τρέχων ενεργό relief layer.

#### Σε ένα bitmap layer με χρώμα

Ο shape editor βασίζεται στα χρώματα που καλύπτουν τις διάφορες επιφάνειες και φαίνονται στην παλέτα χρωμάτων.

Η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής :

1. επιλέγεται το bitmap layer προς επεξεργασία
2. γίνεται ορατό
3. επιλέγεται το relief layer στο οποίο θα δημιουργηθεί το σχήμα
4. είναι χρήσιμο επίσης να πατηθεί το κουμπί  έτσι ώστε να εμφανιστεί καλύτερα
5. επιλέγεται ως πρωτεύων χρώμα από την παλέτα αυτό το οποίο θα οριοθετήσει το νέο σχήμα
6. με **menu bar**→**Reliefs**→**Shape editor** ή με F12 ή με διπλό κλικ πάνω στο χρώμα της παλέτας ανοίγει το παράθυρο του shape editor
7. επιλέγεται το επιθυμητό προφίλ μεταξύ των επιλογών



- Στρογγυλό
- Γωνιακό ή πυραμιδοειδές
- Επίπεδο

8. Start height : ρυθμίζεται το ύψος Z στο οποίο δημιουργείται το σχήμα
9. Angle : αν δημιουργείται στρογγυλό ή γωνιακό σχήμα ορίζεται η γωνία
10. αν δημιουργείται στρογγυλό ή γωνιακό σχήμα ορίζεται η μέθοδος ελέγχου του ύψους limit to height, scale to height
11. επιλέγεται ο τρόπος συνδυασμού του σχήματος με το υπόλοιπο ενεργό layer (add, subtract, merge high, merge low) ή μπορεί ακόμα να μηδενιστούν οι περιοχές κάτω από το χρώμα (zero, zero rest).
12. επιλέγεται εφαρμογή (apply) και το χρώμα αποκτά ένα σημάδι ανάλογο με το σχήμα που επιλέχτηκε.

Σχήμα 3.8 : επιλογές shape editor

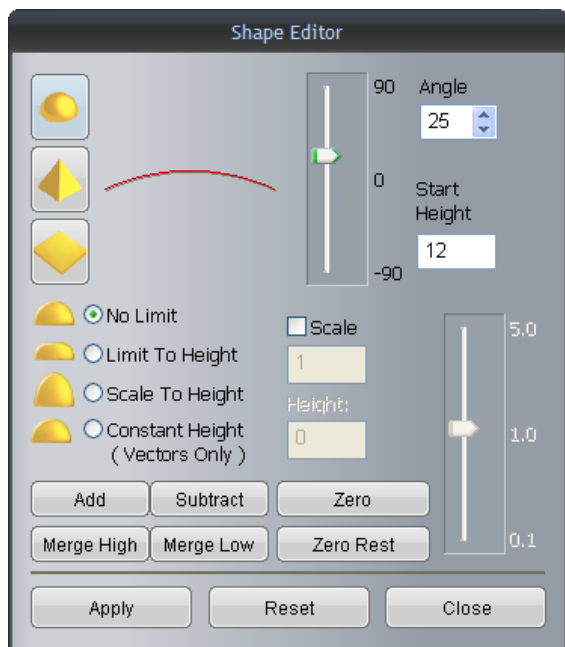


### Σε ένα relief layer με κλειστά διανύσματα (closed vectors)

Ο shape editor βασίζεται στα κλειστά διανύσματα που λειτουργούν ως περιγράμματα οριοθετώντας κάποια σχήματα στο τρέχων ενεργό relief layer.

Η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής :

1. επιλέγεται το vector layer προς επεξεργασία
2. γίνεται ορατό
3. επιλέγεται το closed vector με βάση το οποίο θα δημιουργηθεί το σχήμα
4. με **menu bar**→ **model**→ **Shape editor** ή με F12 ή με διπλό κλικ πάνω στο επιλεγμένο vector ανοίγει το παράθυρο του shape editor



5. επιλέγεται το επιθυμητό προφίλ μεταξύ των επιλογών

- Στρογγυλό
- Γωνιακό ή πυραμιδοειδές
- Επίπεδο

6. Start height : ρυθμίζεται το ύψος Z στο οποίο δημιουργείται το σχήμα

7. Angle : αν δημιουργείται στρογγυλό ή γωνιακό σχήμα ορίζεται η γωνία

8. αν δημιουργείται στρογγυλό ή γωνιακό σχήμα ορίζεται η μέθοδος ελέγχου του ύψους limit to height, scale to height

9. υπάρχει ακόμα η επιλογή constant height που επιτρέπει στο σχήμα να μεγαλώσει μέχρι ένα ορισμένο ύψος

10. επιλέγεται ο τρόπος συνδυασμού του σχήματος με το υπόλοιπο ενεργό layer (add,

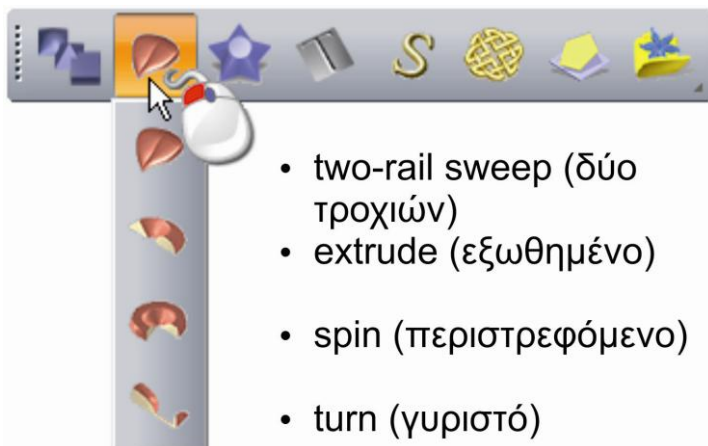
subtract, merge high, merge low) ή μπορεί ακόμα να μηδενιστούν οι περιοχές κάτω από το χρώμα (zero, zero rest).

11. επιλέγεται εφαρμογή (apply)

### Δημιουργία σύνθετων σχημάτων με τη χρήση vectors

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας σύνθετων ελευθέρως μορφής σχημάτων με τη χρήση σχεδίων με vectors και τα εργαλεία σάρωσης προφίλ (swept profile tools).

Μπορούν να επιλεγθούν από το **Menu Bar**> **Reliefs** > **Swept Profiles** ή από το toolbar relief creation



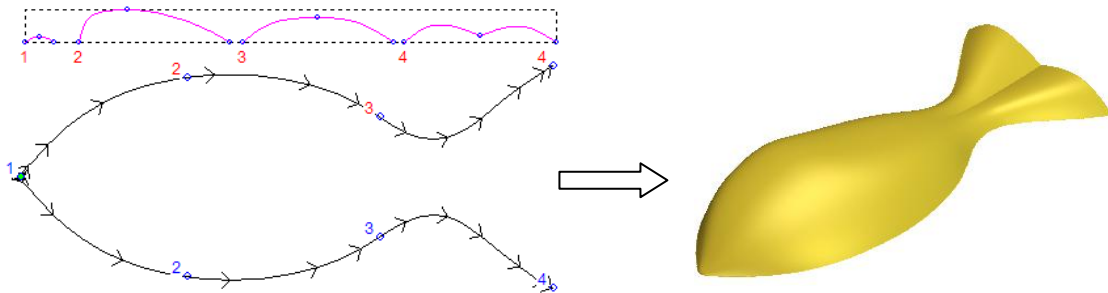
- two-rail sweep (δύο τροχιών)
- extrude (εξωθημένο)
- spin (περιστρεφόμενο)
- turn (γυριστό)

Σχήμα 3.9 : μενού δημιουργίας σύνθετων σχημάτων

### Δημιουργία σχήματος two-rail sweep

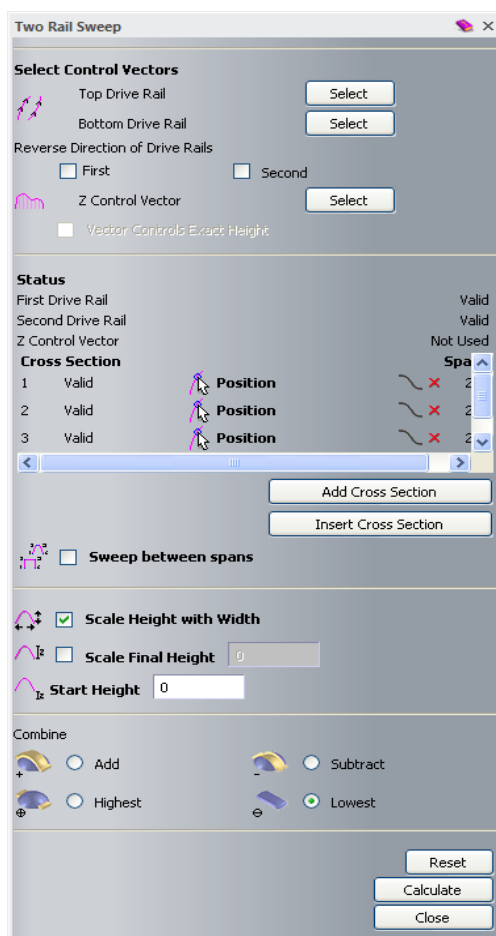
Ένα σχήμα τέτοιας μορφής χρησιμοποιεί τουλάχιστον τρία ή τέσσερα διανύσματα (vectors) :

- τα δύο ορίζουν τα όρια της ημικυκλικής κίνησης γνωστοί και ως οδηγοί τροχιάς (drive rails)
- το άλλο ελέγχει το ύψος και το προφίλ της ημικυκλικής κίνησης γνωστό και ως cross-section
- Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα επιπλέον vector για να περιορίσει το ύψος του σχήματος.



Σχήμα 3.10 : παράδειγμα σύνθετου σχήματος 2 τροχιών

Για τον ορισμό των παραπάνω διανυσμάτων χρησιμοποιούνται οι ρυθμίσεις από τον παρακάτω πίνακα ώστε να επιλεγθούν οι φορείς :



Επιλέγονται οι δύο φορείς διεύθυνσης ο επάνω και ο κάτω

Υπάρχει επιλογή για αναστροφή κατεύθυνσης  
Επιλογή του διανύσματος που ελέγχει το μέγεθος και το σχήμα στον άξονα Z

Στη συνέχεια επιλέγονται με τη σειρά τα διανύσματα που δείχνουν την τομή που θα ακολουθήσει το σχήμα και τα προστίθενται στο διπλανό πίνακα.

Ακόμη διατίθενται επιλογές για κλιμάκωση του ύψους και τον ορισμό συγκεκριμένου ύψους εκκίνησης και τελειώματος

Τέλος επιλέγεται ο τρόπος συνδυασμού

Σχήμα 3.11 : επιλογές σύνθετου σχήματος 2 τροχιών

### Δημιουργία σχήματος extrude

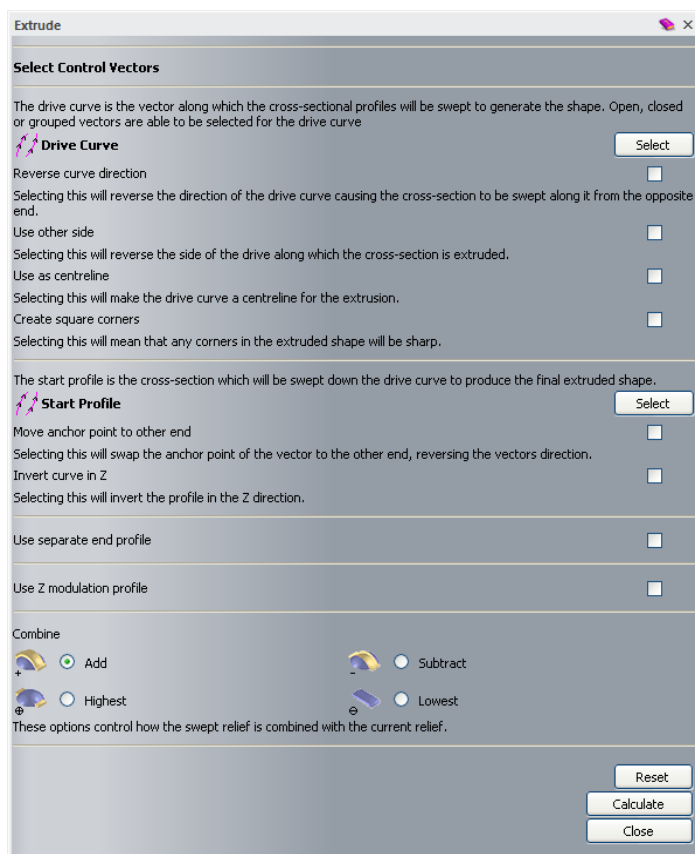
Ένα σχήμα τέτοιας μορφής χρησιμοποιεί τουλάχιστον δύο vectors :

- το ένα καθορίζει τη διαδρομή κατά την οποία εξωθείται το σχήμα, γνωστή και ως καμπύλη οδήγησης (drive curve)
- το άλλο ελέγχει το προφίλ του σχήματος στην αρχή του, γνωστό και ως αρχικό προφίλ (start profile)

Ακόμη μπορεί χρησιμοποιηθούν δύο ακόμα vectors :

- ένα για να ελέγχει το προφίλ του σχήματος στο τέλος του (end profile)
- άλλο ένα για να ελέγχει το ύψος του σχήματος στον άξονα Z (Z modulation profile)

Αν λοιπόν επιλεγεί το αντίστοιχο εικονίδιο ή από το **Menu Bar→Reliefs→Swept Shapes→Extrude** ανοίγει ο παρακάτω πίνακας με τις επιλογές :

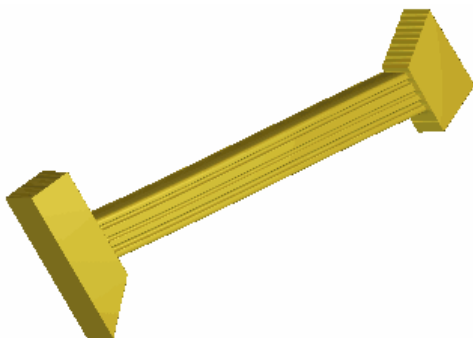


Αφού πατηθεί το select επιλέγεται το διάνυσμα που λειτουργεί ως drive curve και τσεκάρονται τα κουτάκια για αντιστροφή της κατεύθυνσης της καμπύλης, αλλαγή πλευράς καμπύλης που εξωθείται, χρήση μιας κεντρικής γραμμής για το εξωθημένο σχήμα, δημιουργία απότομων γωνιών. Μετά επιλέγεται το διάνυσμα που θα χρησιμοποιηθεί σαν αρχή του σχήματος και υπάρχουν επιλογές για αλλαγή του κόμβου αρχής (φαίνεται με πράσινο χρώμα) και αντιστροφή του προφίλ στη διεύθυνση των Z.

για χρήση ξεχωριστών διανυσμάτων για το τέλος του προφίλ και για κλιμάκωση του ύψους του σχήματος στον Z τέλος επιλέγεται ο επιθυμητός τρόπος συνδιασμού (add, subtract, (merge) highest, (merge) lowest )

Σχήμα 3.12 : επιλογές σύνθετου σχήματος extrude

Ακολουθεί ένα παράδειγμα κατασκευής με το εργαλείο αυτό



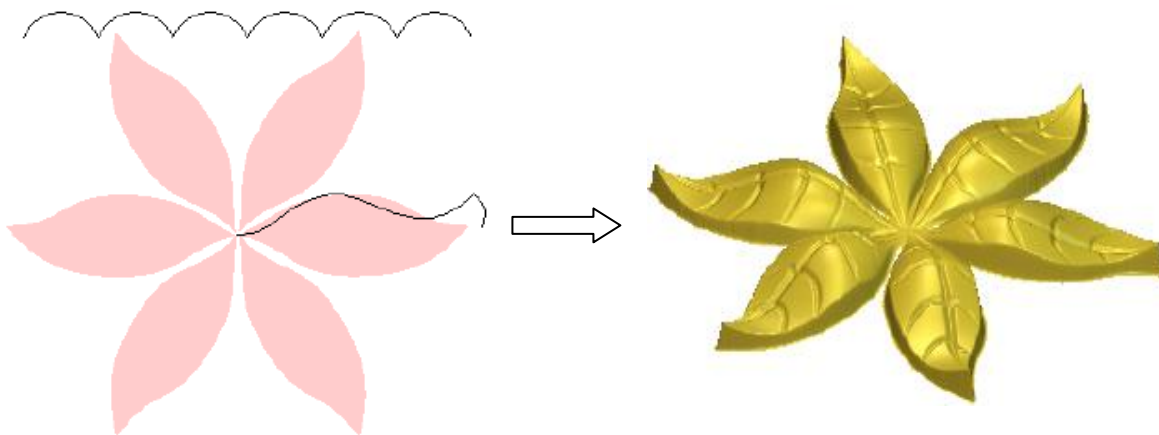
Σχήμα 3.13 : παράδειγμα σύνθετου σχήματος extrude

### Δημιουργία σχήματος spin

Ένα περιστρεφόμενο σχήμα τέτοιας μορφής χρησιμοποιεί τουλάχιστον το αρχικό διάνυσμα για την αρχή του προφίλ (start profile) και μπορεί να χρησιμοποιήσει δύο ακόμη vectors :

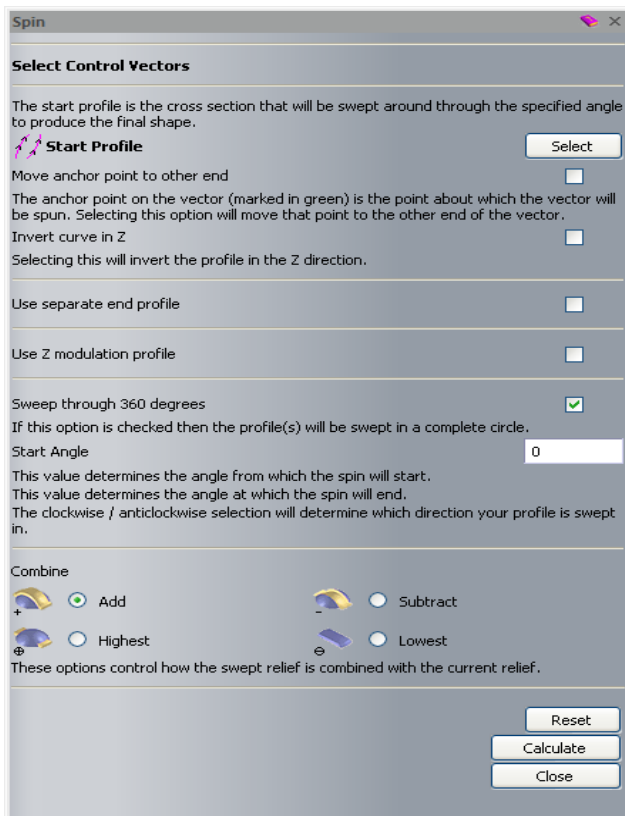
- το ένα καθορίζει την εγκάρσια τομή (cross-section) στο τέλος του σχήματος, γνωστή και ως προφίλ τέλους (end profile)
- το άλλο ελέγχει το ύψος του σχήματος στην κατεύθυνση του άξονα Z, γνωστό και ως προφίλ μορφοποίησης (modulation profile)

Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα σχεδιασμού ενός σχεδίου τύπου vector όπου φαίνονται τα παραπάνω προφίλ ενώ δίπλα παρουσιάζεται το σύνθετο σχήμα που δημιουργείται



Σχήμα 3.14 : παράδειγμα σχήματος spin

Αν λοιπόν επιλεγθεί το αντίστοιχο εικονίδιο ή από το **Menu Bar > Reliefs > Swept Shapes > spin** ανοίγει ο παρακάτω πίνακας με τις επιλογές :



Αφού πατηθεί το select επιλέγεται το διάνυσμα που λειτουργεί ως προφίλ αρχής (start profile) και τσεκάρονται τα κουτάκια για αντιστροφή της κατεύθυνσης της καμπύλης, αλλαγή πλευράς καμπύλης που εξωθείται, χρήση διαφορετικού προφίλ τέλους (end profile) και χρήση προφίλ μορφοποίησης στον άξονα Z (modulation profile).

Μετά επιλέγεται η γωνία (αν είναι επιθυμητό) γύρω από την οποία θα κυκλώσει το σχήμα.

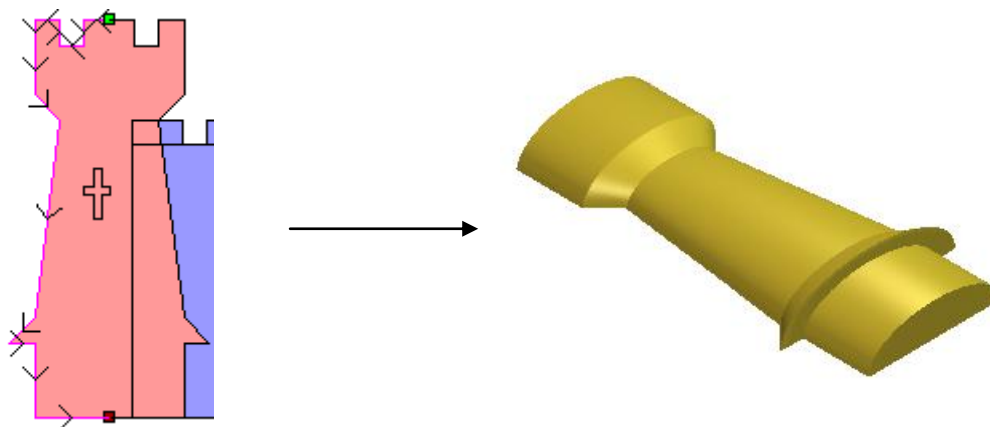
Τέλος επιλέγεται ο επιθυμητός τρόπος συνδυασμού

Σχήμα 3.15 : επιλογές σύνθετου σχήματος spin

### Δημιουργία σχήματος turn

Ένα γυριστό σχήμα μπορεί να δημιουργηθεί με τη χρήση ενός διανύσματος. Μία εικονική γραμμή που συνδέει τους κόμβους αρχής και τέλους λειτουργεί σαν άξονας περιστροφής για να δημιουργηθεί η διατομή του σχήματος.

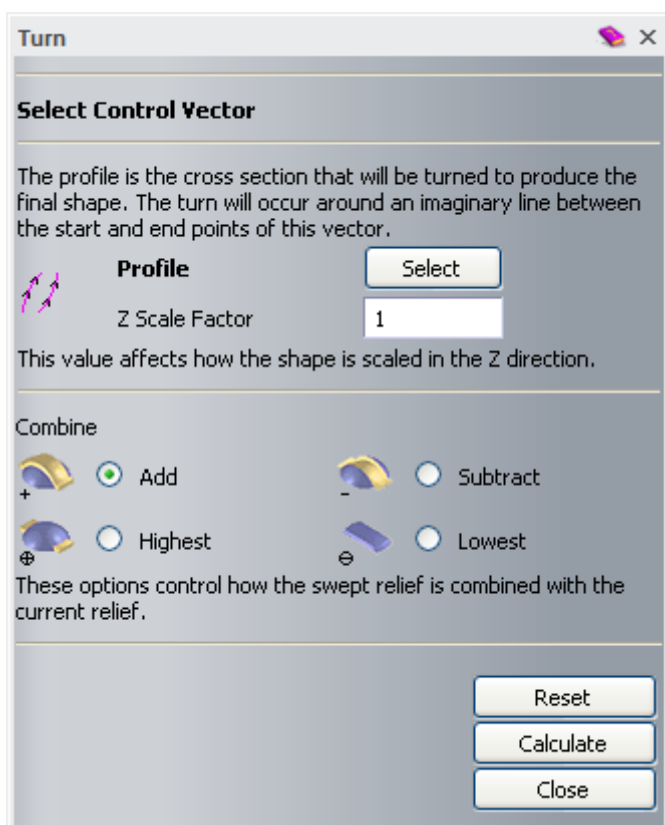
Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα σχεδιασμού ενός τέτοιου σχήματος



Σχήμα 3.16 : παράδειγμα σχήματος τύπου turn

Στο παραπάνω σχέδιο εμφανίζονται κάποια βέλη κατεύθυνσης από τον κόμβο αρχής στον κόμβο τέλους.

Αν λοιπόν επιλεχθεί το αντίστοιχο εικονίδιο ή από το **Menu Bar > Reliefs > Swept Shapes > Turn** ανοίγει ο παρακάτω πίνακας με τις επιλογές :



Επιλέγεται το διάνυσμα που θα αποτελέσει τη διατομή γύρω από την οποία θα περιστραφεί το σχήμα ενώ η επιλογή του παράγοντα Z (scale factor) δείχνει το πόσο θα κλιμακωθεί το σχήμα ως προς τον άξονα Z.

Στη συνέχεια επιλέγεται ο τρόπος συνδυασμού.

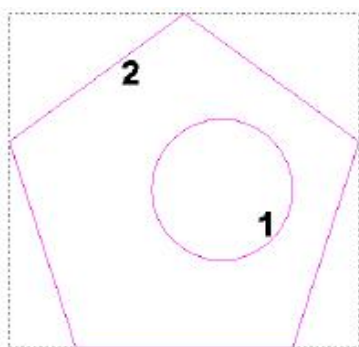
Σχήμα 3.17 : επιλογές σύνθετου σχήματος turn

Στη συνέχεια φαίνονται και άλλα εργαλεία για την δημιουργία ανάγλυφων σχημάτων



- δημιουργία 3d σχημάτων με συνδυασμό διανυσμάτων και προσαρμοσμένη επιλογή ανάμιξης
- δημιουργία 3d σχημάτων με συνδυασμό διανυσμάτων και καθορισμό ορίων με βάση το περίγραμμά τους και ανάπτυξη προς τα μέσα
- δημιουργία 3d χαρακτήρων τυποποιημένων και με επιλογές όγκου και προεξοχής
- δημιουργία 3d σχημάτων με μορφή «πλεκτού» και επιλογής επικάλυψης και πλοκής
- δημιουργία 3d σχημάτων με επιλογή 2 ή 3 σημείων και επεξεργασία ύψους για το κάθε ένα

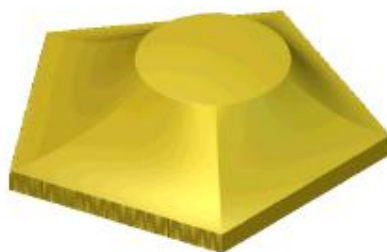
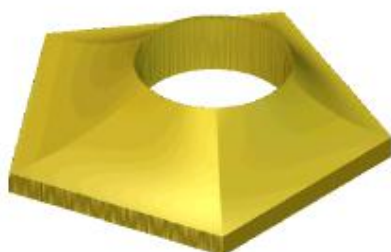
Ακολουθούν κάποια παραδείγματα χρήσης των παραπάνω εργαλείων



*Fill Centre Option OFF...*



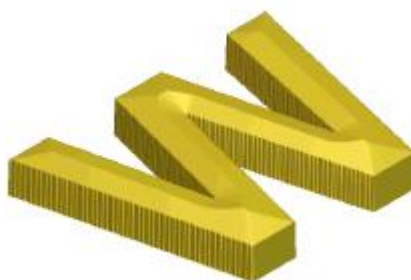
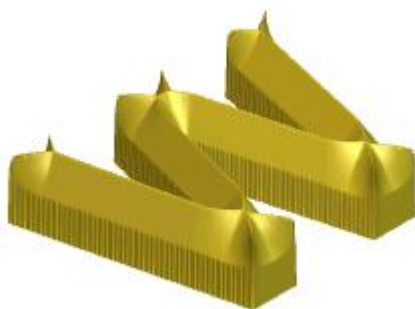
*Fill Centre Option ON...*



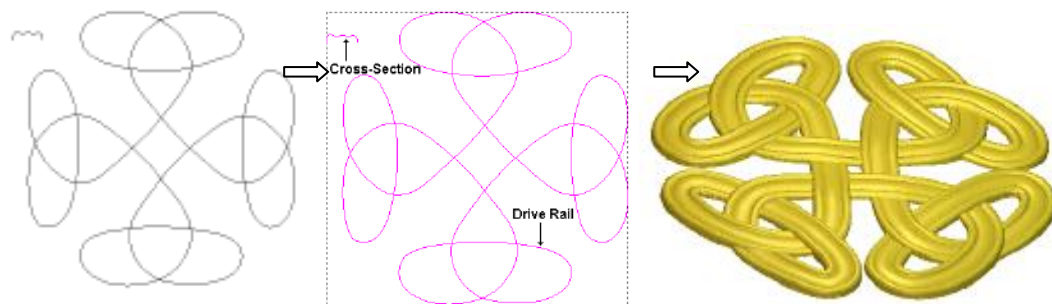
Σχήμα 3.18 : παράδειγμα σχήματος με 3d blend

*Corner Radius at 0.0...*

*Corner Radius at 12.0...*

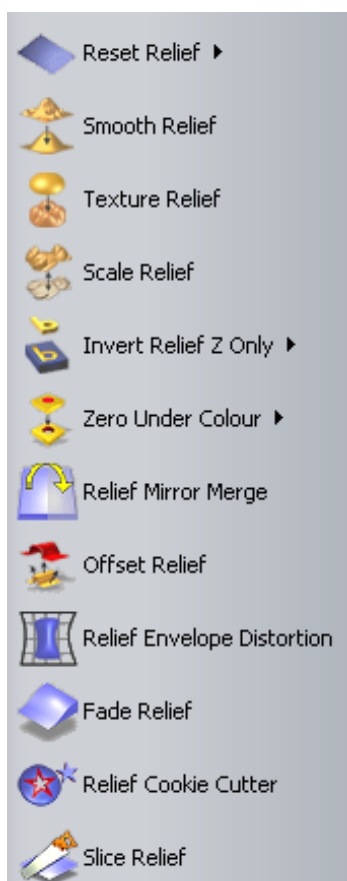


Σχήμα 3.19 : παράδειγμα σχήματος με Constant height letters



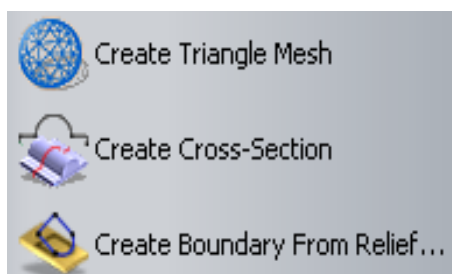
Σχήμα 3.20 : παράδειγμα σχήματος με weave wizard

Ακόμη υπάρχουν τα επόμενα εργαλεία για την επεξεργασία του ανάγλυφου



- Επαναφορά ανάγλυφου στην προηγούμενη μορφή του
- Λείανση ανάγλυφου με επιλογή συγκεκριμένης επιφάνειας και ορισμό αριθμού επαναλήψεων
- Δημιουργία υφής πάνω στην επιφάνεια του ανάγλυφου με συγκεκριμένα μοτίβα (κυκλικό, πυραμίδα, κωνικό, πλεκτό, κ.α.)
- Κλιμάκωση- σμίκρυνση και μεγέθυνση – ως προς τις διαστάσεις ή τον όγκο
- Αντιστροφή του ανάγλυφου στον άξονα Z και επιλογή «αρσενικού» ή θηλυκού ανάγλυφου
- Μηδενίζει το ύψος σε μία περιοχή με το επιλεγμένο πρωτεύον χρώμα
- Καθρεπτίζεται το έτοιμο ανάγλυφο στην υπόλοιπη επιφάνεια
- Προσθέτει ή αφαιρεί υλικό από το ανάγλυφο
- Προκαλεί παραμόρφωση στο ανάγλυφο ελέγχοντας κάποια σημεία και προσδίνει προοπτική
- Δημιουργεί προοδευτικό σβήσιμο- εξομάλυνση σε μία επιλεγμένη περιοχή ή σχήμα
- Κόβει και αφαιρεί ένα συγκεκριμένο σχήμα από το ανάγλυφο
- Αφαιρεί «φέτες» από το ανάγλυφο ανάλογα με το πάχος του υλικού

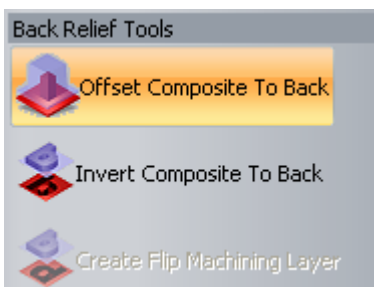
Τέλος τα ακόλουθα εργαλεία δημιουργούν σύνθετους σχηματισμούς



- δημιουργείται ένα τριγωνικό μοντέλο με τη μορφή δικτύου από το υπάρχον ανάγλυφο και επιλέγονται ο αριθμός και τα χαρακτηριστικά των τριγώνων
- Δημιουργεί μία τομή σε κάποιο σημείο του ανάγλυφου σε πραγματικό χρόνο
- Καθορίζονται περιορισμοί στο ύψος του δημιουργούμενου ανάγλυφου

### 3.9 Εργαλεία πίσω ανάγλυφου

Με τα επόμενα εργαλεία ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί την πίσω πλευρά του ανάγλυφου

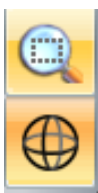


- Προσθέτει ένα ακόμη αντιστάθμισμα του ανάγλυφου από πίσω σε επιλεγμένη απόσταση
- Αντιγράφει το ανάγλυφο προς την πίσω μεριά (αρνητικά Z ) του ανάγλυφου
- Αντιστρέφει τις επιφάνειες που αντιγράφηκαν πιο πάνω

### 3.10 Εργαλεία σχεδιασμού

Σε αυτή την πλευρική βοηθητική μπάρα εργαλείων υπάρχουν συντομεύσεις για κάποια από τα εργαλεία για δημιουργία και σχεδιασμό vectors που περιγράφηκαν πιο πριν (κεφ. 2.7.4) και τα παρακάτω πρόσθετα εργαλεία.

#### Εργαλεία προβολής



το εργαλείο αυτό κάνει ζουμ στο σημείο που επιλέγει ο χρήστης

με αυτό το χρήσιμο εργαλείο ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τη γωνία εμφάνισης στην τρισδιάστατη προβολή περιστρέφοντας το ανάγλυφο σε όλους τους άξονες

#### Εργαλείο ανάκτησης χρώματος (pick colour)



Με το εργαλείο αυτό γνωστό και ως σταγονόμετρο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ένα χρώμα που εμφανίζεται στην οθόνη σχεδιασμού (bitmap εικόνα) και να το προσθέσει στην παλέτα χρωμάτων για επόμενη χρήση

#### Εργαλείο μαγικό ραβδί (magic wand)



Με το εργαλείο αυτό γνωστό και ως μαγικό ραβδί ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ένα σχήμα κλικάροντας στο περίγραμμα του σχεδίου που επιθυμεί και να το διαχωρίσει από τα υπόλοιπα ώστε να το επεξεργαστεί.

#### Εργαλεία χάραξης 3d ανάγλυφου

Τα εργαλεία χάραξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να δημιουργηθεί ένα νέο σχήμα διαφόρων μορφών σε ένα layer του ανάγλυφου ή να επεξεργασθούν τα περιεχόμενα ενός υπάρχοντος layer. Για αυτό το λόγο και επιβάλλεται αρχικά η επιλογή του ανάγλυφου πάνω στο οποίο θα χαραχθεί κάτι καινούργιο με χρήση των παρακάτω εργαλείων:



Λείανση (smooth) μιας επιφάνειας αναμιγνύοντας με την επόμενη επιφάνεια

κηλίδα (smudge) για να απλωθεί ή να μειωθεί μία περιοχή

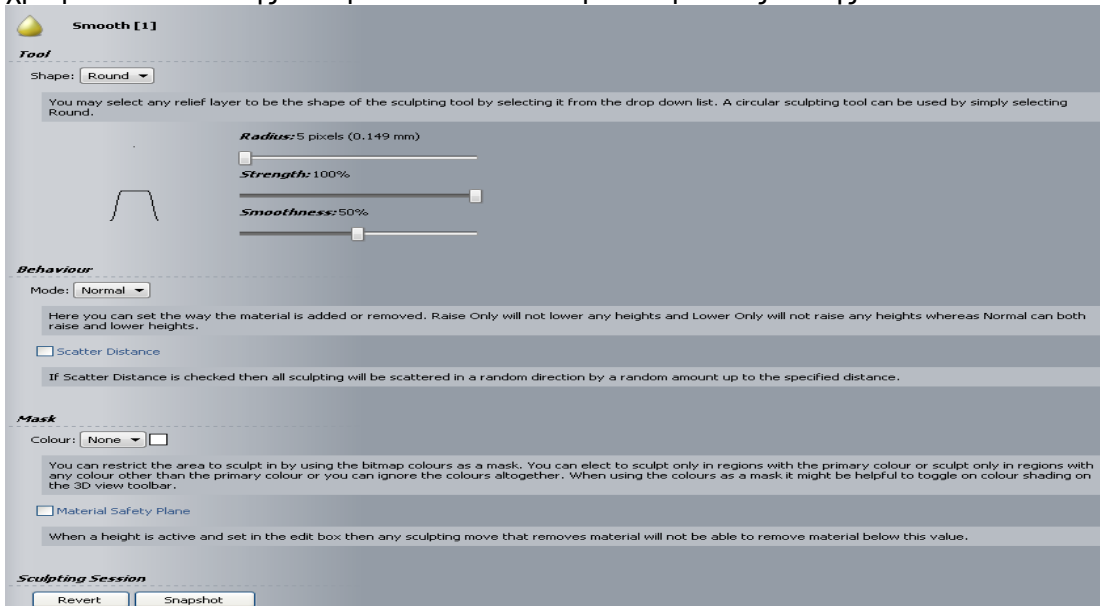
«κατάθεση»(deposit) υλικού δηλαδή προσθήκη στο layer

Χάραξη (carve) για αφαίρεση υλικού από το layer

Σβήσιμο (erase) για σταδιακή αποκατάσταση ή αφαίρεση υλικού

Μεταφορά (transfer) για αντιγραφή μίας περιοχής και επικόλληση σε μία άλλη

Μετά την επιλογή κάποιου από τα παραπάνω εργαλεία και κοιτώντας δεξιά στον πίνακα με τους ρυθμίσεις εργαλείων μπορεί να ρυθμιστεί η διάμετρος σε pixels , η ένταση και η απαλότητα καθώς επίσης και το σχήμα του εργαλείου, η συμπεριφορά του (πρόσθεση ή αφαίρεση υλικού), το αν θα χρησιμοποιηθεί κάποια μάσκα με βάση κάποιο επιλεγμένο χρώμα και αν επίσης θα προστεθεί κάποιο όριο ασφαλείας κοπής.




Σχήμα 3.21 : εμφάνιση επιλογών εργαλείου σχεδίασης


Ακόμα κάποια από τα παραπάνω εργαλεία εμφανίζουν πρόσθετες ρυθμίσεις όπως αυτό της μεταφοράς όπου π.χ. απαιτείται ο προσδιορισμός της επιφάνειας που θα κλωνοποιηθεί.

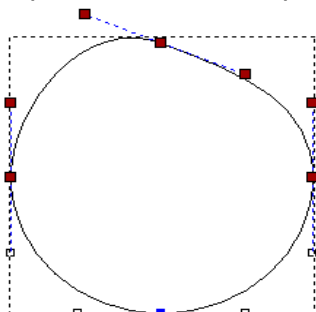
### Σχεδιασμός με vectors

Επιλογή ενός διανύσματος :

Στα εργαλεία σχεδιασμού επιλέγεται το  και στη συνέχεια επιλέγεται πάνω στο επιθυμητό διάνυσμα. Κρατώντας πατημένο το πλήκτρο shift υπάρχει δυνατότητα για επιλογή περισσότερων διανυσμάτων.

### Ευθυγράμμιση κόμβων (aligning nodes)

Με το κουμπί  ο χρήστης μπορεί να χειριστεί τους κόμβους που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό ενός vector. Αφού επιλεγθεί ένας κόμβος, ή περισσότεροι κρατώντας το πλήκτρο ctrl, υπάρχει η δυνατότητα για μετακίνησή τους



3.22 : παράδειγμα χειρισμού κόμβων

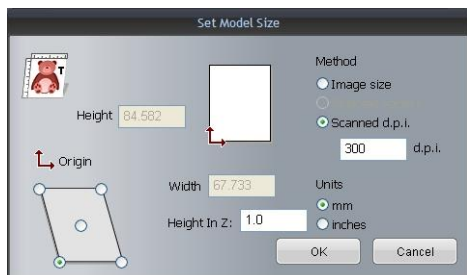
Η χρήση του παραπάνω εργαλείου είναι δυνατή στα σχήματα που φαίνονται



## 3.11 Δυνατότητες εισαγωγής

### 3.11.1 Εισαγωγή εικόνας

Υπάρχει επίσης δυνατότητα για δημιουργία μοντέλου εισάγοντας μία εικόνα οποιουδήποτε από τους επόμενους τύπους αρχείων (bmp, tif, gif, jpg). Στην περίπτωση αυτή πρέπει να επιλεγεί η εντολή **file→new→from image file** και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο



Σχήμα 3.23 : εισαγωγή εικόνας και ορισμός μεγέθους

### 3.11.2 Εισαγωγή 3d μοντέλου

Ο χρήστης μπορεί να εισάγει σε ένα ανάγλυφο τους παρακάτω τύπους τρισδιάστατων μοντέλων:

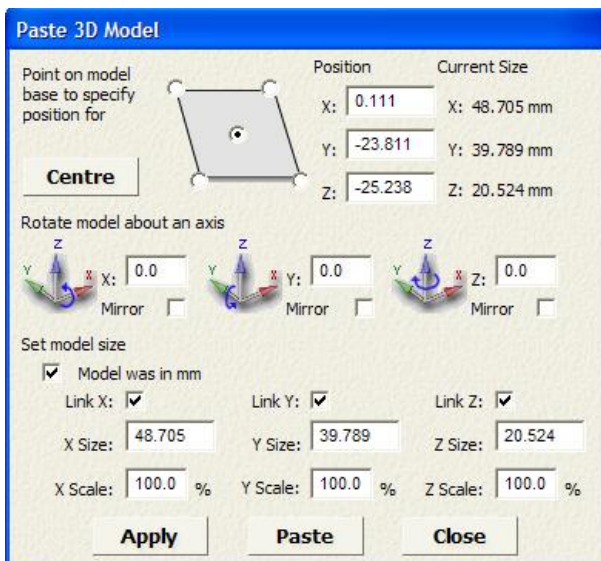
#### Triangle Models

- ArtCAM Assembly (\*.3da)
- ArtCAM Project (\*.3dp)
- 3D Studio (\*.3ds)
- Drawing Interchange File (\*.dxf)
- Binary or ASCII STL (\*.stl)
- Universal 3D File (\*.u3d)
- Wavefront Object File (\*.obj)
- Delcam Machining Triangles (\*.dmt)

#### Surface Models

- 3D NURBS Modeller - Rhinoceros (\*.3dm)
- Delcam DGK (\*.dgk)
- SolidWorks Part File (\*.sldprt)
- IGES Format (\*.igs, \*.ige and \*.iges)
- ACIS File (\*.sat)
- CATIA File (\*.fic)
- CATIA5 (\*.catpart and \*.catproduct)
- Cimatron File (\*.pfm)
- Elite File (\*.elt)
- Ideas File (\*.mf1 and \*.prt)
- Inventor File (\*.ipt)
- Parasolid Files (\*.x\_t, \*.xmt\_txt, \*.x\_b and \*.xmt\_bin)
- Parts File (\*.psmodel)
- DDX Files (\*.ddx and \*.ddz)
- Pro/Engineer Files (\*.asm and \*.par)
- SpaceClaim File (\*.sdoc)
- Step Files (\*.stp and \*.step)
- Unigraphics File (\*.prt)
- VDAFS File (\*.vda)

Στη συνέχεια εμφανίζεται το επόμενο παράθυρο ρυθμίσεων



Όπου μπορούν να επιλεγθούν η θέση το μοντέλου, να περιστραφεί το μοντέλο γύρω από τους 3 άξονες και να ορισθεί το μέγεθος του τριγωνικού μοντέλου.

Σχήμα 3.24 : επιλογές εισαγωγής 3d μοντέλου

### 3.12 Διαδικασία σχεδιασμού 3D (reliefs)

Αφού έχει δημιουργηθεί ή εισαχθεί το vector και το σχέδιο bitmap, και έχει ολοκληρωθεί κάθε αναγκαία προσαρμογή, μπορούν να δημιουργηθούν :

- 2D toolpaths
- Ανάγλυφα (reliefs)

Ένα ανάγλυφο είναι ουσιαστικά ένα ή περισσότερα τρισδιάστατα σχήματα σε ένα μοντέλο, αν και υπάρχουν δύο διαφορετικές έννοιες, το «στρώμα ανάγλυφου» (relief layer) και το «σύνθετο ανάγλυφο» (composite relief).

Το περιεχόμενο ενός relief layer περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα τρισδιάστατα σχήματα που δημιουργήθηκαν:

1. από τις ιδιότητες που εφαρμόζονται σε vectors και χρώματα bitmap
2. εισάγοντας ένα τριγωνικό μοντέλο (triangle model), ένα μοντέλο επιφάνεια (surface model) ή ένα κομμάτι ενός relief
3. χρησιμοποιώντας τα εργαλεία Sculpting.

Το περιεχόμενο αυτών των relief layers συνδυάζονται για να σχηματίσουν ένα σύνθετο ανάγλυφο. Το πώς ακριβώς κάθε ένα από τα στρώματα ανάγλυφου αλληλεπιδρούν εξαρτάται από τον τρόπο συνδυασμού σε κάθε ένα από αυτά, και κατά πόσο ή όχι είναι ορατά.

Ένα σύνθετο ανάγλυφο μπορεί να κατασκευαστεί από δύο χωριστές στοίβες layer στο μοντέλο. Η μία αντιπροσωπεύει την μπροστινή επιφάνεια του σχεδίου, η άλλη αντιπροσωπεύει την πλάτη. Μπορείτε να δείτε το σύνθετο ανάγλυφο που προκύπτει από αυτές τις στοίβες layer ξεχωριστά ή ταυτόχρονα. Τα ανάγλυφα είναι ορατά και προσπελάσιμα από τον πίνακα του project (περιοχή 6).



Φαίνεται ο διαχωρισμός σε back και front relief ενώ με τα κουμπιά της «λάμπας» μπορεί να γίνουν ορατά τα αντίστοιχα layers

Σχήμα 3.25 : project manager

Από τον παραπάνω ο πίνακα ο χρήστης μπορεί με δεξί κλικ να επιλέξει, να εισάγει (import), να εξαγάγει (export), να κλωνοποιήσει (duplicate), να μετονομάσει (rename), να μεταφέρει (swap sides), να συγχωνεύσει (merge), να διαγράψει (delete) ή να εισάγει ένα νέο layer (new).

### 3.12.1 Τρόποι συνδυασμού των layers ενός ανάγλυφου

Για να οριστεί ο τρόπος συνδυασμού layers ενός ανάγλυφου :

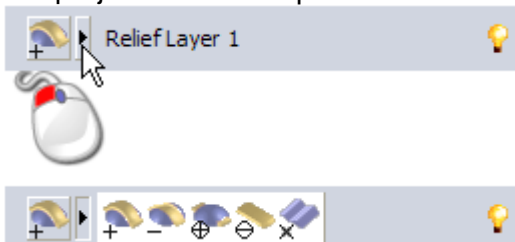
Βεβαιωθείτε ότι το στρώμα αναγλύφου είναι ορατό.

Πατήστε το πλήκτρο F3 για να εμφανιστεί το παράθυρο με τη 3D προβολή, ώστε να μπορείτε να δείτε πώς το σύνθετο ανάγλυφο αλλάζει ως αποτέλεσμα του καθορισμού του τρόπου συνδυασμού των layers.

Οι τρόποι αυτοί εξηγούνται παρακάτω :

- Add +** για πρόσθεση του περιεχομένου του layer στα κατώτερα ορατά layers της στοίβας
- Subtract -** για αφαίρεση του περιεχομένου του layer στα κατώτερα ορατά layers της στοίβας
- Merge High ⊕** για συγχώνευση του περιεχομένου του layer στα ο κατώτερα ορατά layers της στοίβας, με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούνται μόνο τα υψηλότερα σημεία
- Merge Low ⊖** για συγχώνευση του περιεχομένου του layer στα κατώτερα ορατά layers της στοίβας, με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούνται μόνο τα χαμηλότερα σημεία
- Multiply ×** για πολλαπλασιασμό του ύψους των σημείων συνταιριάζοντας με τα αντίστοιχα σημεία στα κατώτερα ορατά layers της στοίβας.

Για να τροποποιηθεί ο συνδυασμός των layers αρκεί ο χρήστης να μεταβεί στον πίνακα του project και να πατήσει πάνω στο αντίστοιχο παραπάνω σχήμα.

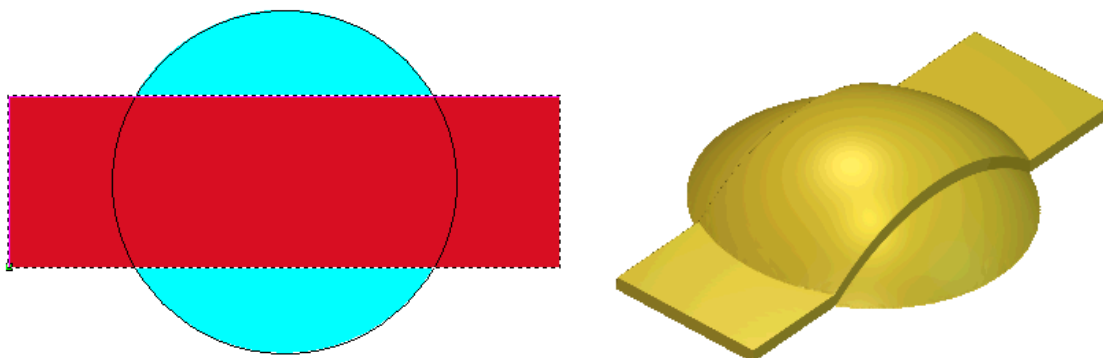


Σχήμα 3.26 : επιλογές συνδυασμού layers

Ακολουθούν κάποια παραδείγματα για να γίνει κατανοητή η χρήση των τρόπων συνδυασμού.

#### *Προσθέτοντας σε ένα relief (adding)*

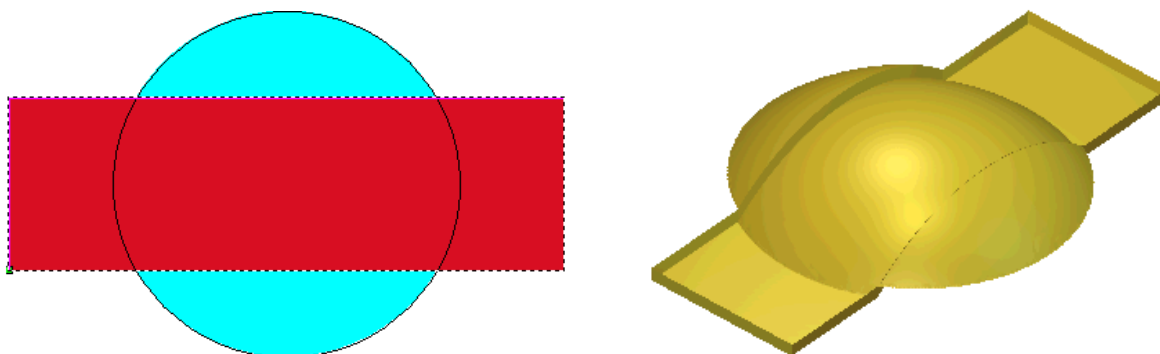
Αν χρησιμοποιούνται σχέδια bitmap ο χρήστης μπορεί να προσθέσει ένα νέο relief στο τρέχων επιλεγμένο. Αρκεί να επιλέξει το επιθυμητό bitmap layer και το relief layer στο οποίο θέλει να το εισάγει και στη συνέχεια με την εντολή `reliefs>calculate>add`. Για τα παραπάνω αρκεί να ξεχωριστούν τα δυο διαφορετικά reliefs με άλλα χρώματα



Σχέδιο 3.27 : πρόσθεση δύο ανάγλυφων

#### *Αφαιρώντας από ένα relief (subtracting)*

Ανάλογα με τα παραπάνω, χρησιμοποιούνται σχέδια bitmap ο χρήστης μπορεί να αφαιρέσει ένα νέο relief από το τρέχων επιλεγμένο. Αρκεί να επιλέξει το επιθυμητό bitmap layer και το relief layer από το οποίο θέλει να το αφαιρέσει και στη συνέχεια με την εντολή `reliefs>calculate>subtract`. Για τα παραπάνω αρκεί να ξεχωριστούν τα δυο διαφορετικά reliefs με άλλα χρώματα.



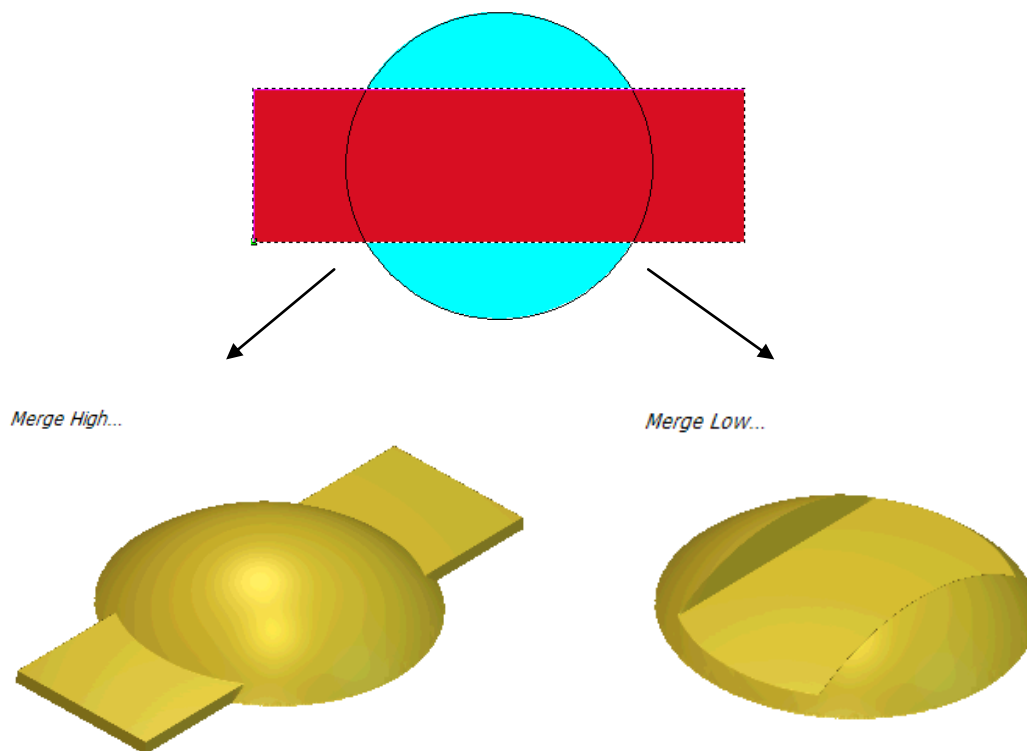
Σχέδιο 3.28 : αφαίρεση δύο ανάγλυφων

#### *Συγχωνεύοντας δύο reliefs (merge high/low)*

Ακόμη ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συγχωνεύσει δύο ή περισσότερα relief layers επιλέγοντας ένα από τους δύο παρακάτω τρόπους :

1. διατηρούνται τα πιο υψηλά σημεία
2. διατηρούνται τα πιο χαμηλά σημεία

Αρκεί να επιλέξει το επιθυμητό bitmap layer και το relief layer με το οποίο θέλει να το συγχωνεύσει και στη συνέχεια με την εντολή `reliefs>calculate>merge highest` ή `reliefs>calculate>merge lowest`. Για τα παραπάνω αρκεί να ξεχωριστούν τα δυο διαφορετικά reliefs με άλλα χρώματα.




Σχέδιο 3.29 : συγχώνευση δύο ανάγλυφων ως προς τα ψηλότερα ή χαμηλότερα σημεία

Για τα παραπάνω παραδείγματα σχεδιάστηκαν δύο σχήματα τύπου bitmap, ένα κυκλικό και ένα παραλληλόγραμμο επίπεδο, και προσθέσαμε σχήματα με τον shape editor με βάση τα δύο χρώματα γαλάζιο και κόκκινο. Οι επιλογές αυτές είναι ορατές στην παλέτα χρωμάτων



Ακόμα αρκεί να σημειωθεί ότι οι παραπάνω εντολές μπορούν να εκτελεστούν γρήγορα από τον πίνακα του project κλικάροντας στα σχήματα συνδυασμού που περιγράφηκαν πιο πάνω.

### 3.12.2 Δημιουργία bitmap layer από relief layer

Το λογισμικό παρέχει επίσης τη δυνατότητα δημιουργίας ενός νέου layer τύπου bitmap που να περιέχει μια εικόνα σε κλίμακα του γκρι (grayscale) από το τρέχων επιλεγμένο- ενεργό layer. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με δεξί κλικ στον πίνακα του project και επιλογή create bitmap, είτε με την επιλογή του κουμπιού  Create Greyscale από τον assistant

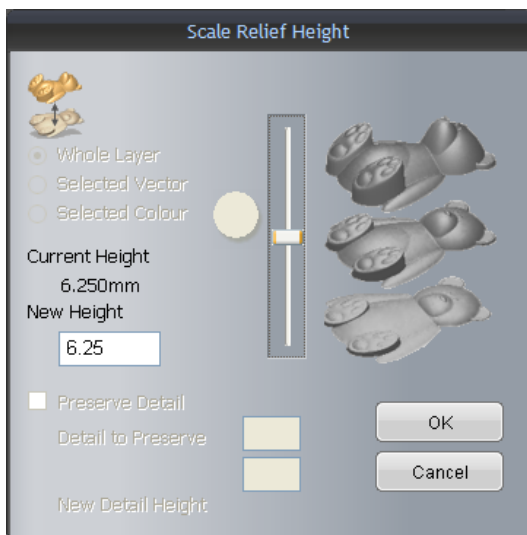
Το καινούργιο αυτό layer :

- έχει όνομα ίδιο με το layer από το οποίο δημιουργήθηκε η εικόνα σε κλίμακα του γκρι
- είναι ενεργό
- έχει επιλεχθεί
- προστίθεται στην στοίβα των layer ακριβώς πάνω από το layer που ήταν προηγουμένως ενεργό και
- είναι αυτομάτως ορατό.

### 3.12.3 Δημιουργία relief layer από bitmap layer

Μπορεί επίσης να δημιουργηθεί ένα νέο layer ανάγλυφου από ένα bitmap layer. Κάθε χρώμα στο σχέδιο του bitmap layer παράγει ένα τρισδιάστατο σχήμα με ένα συγκεκριμένο ύψος. Το ύψος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις RGB τιμές του χρώματος. Σε γενικές γραμμές, τα φωτεινά χρώματα παράγουν υψηλά σχήματα, ενώ τα σκούρα χρώματα παράγουν χαμηλά σχήματα. Μπορείτε να περιορίσετε το ύψος αυτών των σχημάτων.

Για να συμβεί αυτή η μετατροπή επιλέγεται το layer που θα χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο και με δεξί κλικ επιλέγεται create relief και εμφανίζεται ο παρακάτω πίνακας ρυθμίσεων



στον πίνακα καθορίζεται το ύψος Z του ανάγλυφου.

Σχέδιο 3.30: κλιμάκωση ύψους ανάγλυφου

Το νέο layer ανάγλυφο :

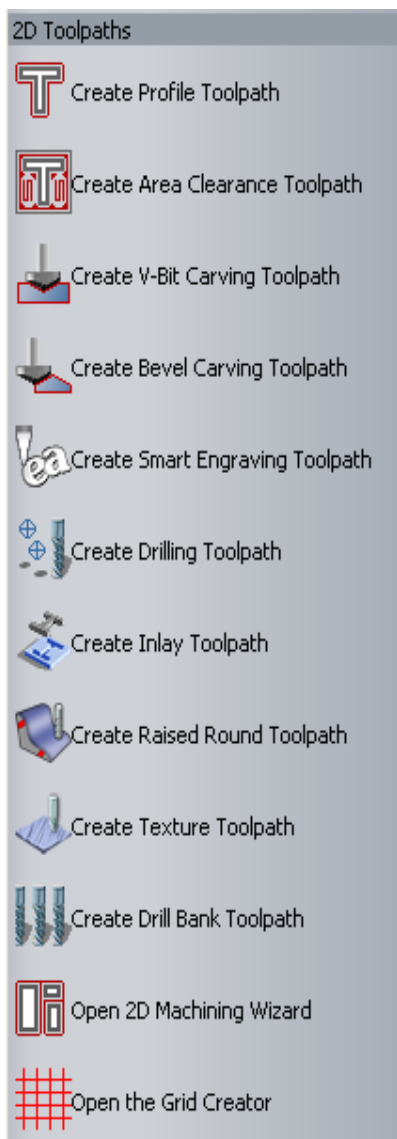
- έχει το ίδιο όνομα με το τρέχον ενεργό bitmap layer
- είναι ενεργό
- έχει επιλεγθεί
- προστίθεται στην στοίβα των layers ακριβώς πάνω από το layer που ήταν προηγουμένως ενεργό
- παίρνει τη λειτουργία προσθήκης συνδυασμού και
- είναι ορατό.

Όταν έχει δημιουργηθεί ή εισαχθεί ένα σύνθετο ανάγλυφο, μπορεί να προχωρήσει η δημιουργία και ο υπολογισμός των 3D toolpaths που απαιτούνται για την μηχανική του κατεργασία. Τα toolpaths μπορούν στη συνέχεια να προσομοιωθούν έτσι ώστε να ελεγχθούν για πιθανά προβλήματα κατά τη διαδικασία κατεργασίας, ή το φινίρισμα της επιφάνειας, και να οπτικοποιηθούν το τελικό κομμάτι.

### 3.13 Δημιουργία toolpaths

Το ArtCAM προσφέρει αρκετά 2D/2.5D και 3D toolpaths που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μηχανική κατεργασία του σχεδίου τύπου vector ή του σύνθετου ανάγλυφου που δημιουργήθηκε ως μέρος του μοντέλου. Για τη μηχανική κατεργασία σχεδίου vector απαιτείται το άνοιγμα του παρακάτω μενού **Toolpaths→2D Toolpaths** ενώ για κατεργασία ανάγλυφου **Toolpaths→3D Toolpaths** .

Συγκεκριμένα για δισδιάστατη επεξεργασία και δημιουργία toolpaths υπάρχουν τα παρακάτω εργαλεία



- δημιουργία toolpath για προφίλ που επιτρέπει κατεργασία ανάμεσα, μέσα ή έξω από τα όρια μίας επιλογής διανυσμάτων.
- δημιουργία toolpath για καθαρισμό επιφάνειας του υλικού μέσα σε ένα διάνυσμα ή ανάμεσα από μία επιλογή διανυσμάτων.
- δημιουργία toolpath που αναπαράγει μία χαραγμένη ή με εσοχή όψη σε κατεργασία κειμένου ή σε μια επιλογή διανυσμάτων.
- Αναπαράγει μία όψη υπό γωνία σε κατεργασία κειμένου ή σε μια επιλογή διανυσμάτων.
- Για κατεργασία κοπής μέσα στα όρια κειμένου vector ή σε μία επιλογή διανυσμάτων
- Για δημιουργία τρυπών σε μία επιλογή διανυσμάτων ή στην προεπισκόπηση ενός 2D toolpath
- Εμφανίζει το inlay wizard που επιτρέπει την κοπή επιλογής διανυσμάτων για δημιουργία εσοχών (θηλυκών) και εξοχών (αρσενικών).
- Για ακριβή κατεργασμένα γράμματα και σχήματα σε κείμενο τύπου vector ή σε επιλογή διανυσμάτων.
- Κατεργάζεται το υλικό έτσι ώστε να δημιουργείται μία συγκεκριμένη υφή στην επιφάνεια του μοντέλου με χρήση μόνο της γεωμετρίας του εργαλείου κοπής και των ρυθμίσεων κοπής
- Για κοπή μοτίβου τύπου L ή T ή + σχημάτων με τη χρήση υπαρκτών τρυπανιών της μηχανής. Το λογισμικό λαμβάνει υπόψη την επιλεγμένη γεωμετρία και εφαρμόζει τρύπες με κενό 32 mm
- παρέχει μια πλήρως αυτοματοποιημένη ένθετη λύση κατασκευής για κατασκευαστές επίπλου και ντουλαπιών
- Για δημιουργία toolpath που προσδιορίζει ένα πλέγμα κοπής με διάφορα χαρακτηριστικά

Για όλα τα παραπάνω εργαλεία απαιτείται ο ορισμός των παρακάτω βασικών παραμέτρων κοπής:

1. Βάθος έναρξης (**start depth**) ή επιφάνεια Z που ορίζει το βάθος που αρχίζει να κόβει το εργαλείο
2. Βάθος τέλους (**finish depth**) ή τέλος Z που ορίζει το τελευταίο βάθος που φτάνει η κοπή.
3. Ανοχή (**allowance**) ή αντιστάθμιση ανοχής (**allowance offset**) που καθορίζει μια αντιστάθμιση γύρω από το όριο του διανύσματος ή του σύνθετου ανάγλυφου. Αυτό αφήνει πρόσθετο υλικό κατά τη διάρκεια των ενδιάμεσων περασμάτων κατεργασίας για να τα καθαρίσει ένα εργαλείο κατά το τελευταίο πέρασμα.

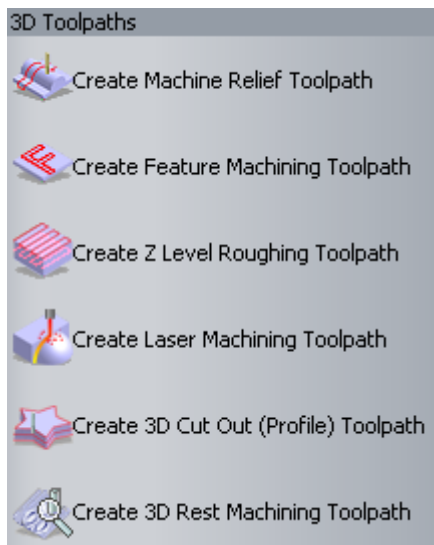
4. Ανεκτικότητα (**tolerance**) ελέγχει πόσο κοντά και με πόση ακρίβεια ένα εργαλείο ακολουθεί τις καμπύλες του σχεδίου ενός διανύσματος. Παρόλο που μία μικρή ανοχή αποδίδει πιο ποιοτικό φινίρισμα μπορεί να αυξήσει αρκετά τους υπολογισμούς των toolpath και συνεπώς το χρόνο κατεργασίας.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες ειδικές παράμετροι σχετικές με τα αντίστοιχα εργαλεία που αναφέρθηκαν λίγο πιο πάνω.

πίνακας	Ειδικές παράμετροι κοπής
Profiling	Start Depth, Finish Depth, Allowance and Tolerance.  Αν το <b>Profile Type</b> έχει οριστεί σε <b>Outside</b> ή <b>Inside</b> , μπορεί να καθοριστεί το Final Pass Thickness(πάχος τελευταίου περάσματος) και το Final Pass Allowance. (ανοχή)
Area Clearance	Start Depth, Finish Depth, Allowance, Final Tool Allowance, Tolerance and Independent Finish Depth.
V-Bit Carving	Start Depth and Tolerance.  Limit Tool Maximum Depth is optional.
Bevel Carving	Start Depth, Wall Height, Finish Depth, Allowance and Tolerance.
Smart Engraving	Start Depth, Finish Depth, Tolerance, Allowance and Independent Finish Depth.
Drilling	Start Depth, Finish Depth and Plunge Clearance.
Inlay	Start Depth, Finish Depth, Allowance and Tolerance.  Depth and Width if the inlay is stepped.
Raised Round	Start Depth, Finish Depth and Tolerance.
Texture Toolpath	Start Depth, Minimum Finish Depth and Maximum Finish Depth.
Drill Banks	Start Depth, Finish Depth, Plunge Clearance, Circle Tolerance and Pitch Tolerance.
Machine Relief	Allowance and Tolerance.
Feature Machining	Feature Height or Depth, Feature Allowance and Allowance.  Overcut Distance if Area Clear strategy is used.
Z Level Roughing	Surface Z, Allowance and Last Slice Z.
Laser Machining	Surface Z, Slice Thickness, Last Slice Z, Stepper and Angle Increment.
Cut Out (Profile)	Surface Z, Finish Z, Allowance and Tolerance.
Rest Machining	Cusp Tolerance.

Πίνακας 3.31 : παράμετροι που απαιτούνται σε κάθε είδος κατεργασίας

Για τη δημιουργία 3D toolpath υπάρχουν τα παρακάτω εργαλεία :



- μέσω πίνακα machine relief για κατεργασία όλου του σύνθετου ανάγλυφου ή μιας συγκεκριμένης περιοχής στα όρια ενός διανύσματος
- μέσω πίνακα feature machining για κατεργασία εξογκωμένου, χωνευτού ή κεντραρισμένου στοιχείου από το σχέδιο ενός διανύσματος
- που αφαιρεί ανεπιθύμητο υλικό σε επίπεδες φέτες όταν κατεργάζεται ένα σύνθετο ανάγλυφο
- που αφαιρεί ανεπιθύμητο υλικό όταν κατεργάζεται ένα σύνθετο ανάγλυφο σε μηχανή χάραξης με laser
- που κατεργάζεται την περιοχή ενός σύνθετου ανάγλυφου είτε μέσα είτε έξω από τα όρια μιας επιλογής διανυσμάτων
- για την κατεργασία όλων των υπολοίπων επιφανειών του σύνθετου ανάγλυφου που απαιτούν την αλλαγή του εργαλείου κοπής

Σχήμα 3.32 : επιλογές δημιουργίας τύπων 3d toolpaths

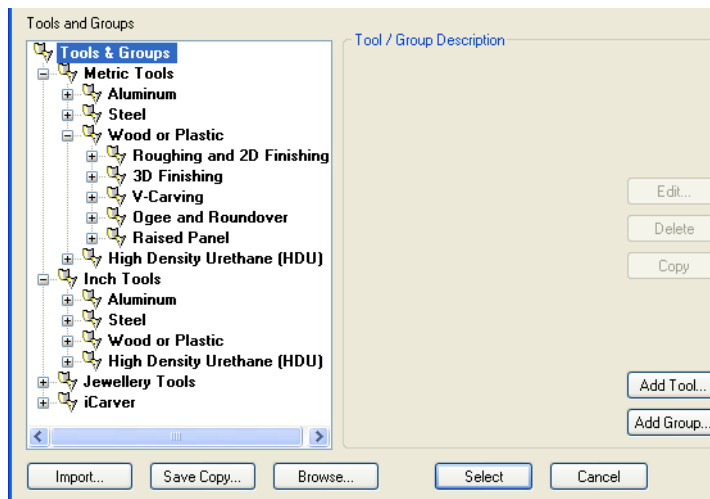
### 3.14 Επιλογή εργαλείων κοπής (drills and mills)

Όλα τα παράθυρα toolpath απαιτούν την επιλογή τουλάχιστον ενός εργαλείου από τη βάση δεδομένων. Μερικά toolpaths επιτρέπουν την επιλογή πολλαπλών εργαλείων. Όταν ένα toolpath απαιτεί μόνο ένα εργαλείο, υπάρχει ένας τομέας εργαλείου στον πίνακα. Όταν ένα toolpath απαιτεί ή επιτρέπει να χρησιμοποιήσετε δύο εργαλεία ή περισσότερα, ο πίνακας περιλαμβάνει:

- μια λίστα εργαλείων
- ένας ξεχωριστό χώρο για κάθε εργαλείο.

Για παράδειγμα, η 2D Εκκαθάριση Χώρου (area clearance) και το toolpath για έξυπνη χάραξη (smart engraving) περιλαμβάνουν μια λίστα εργαλείων, ενώ το toolpath για λοξή χάραξη (bevelled carving) περιλαμβάνει ένα χαρακτηριστικό εργαλείο και μία περιοχή εργαλείων για Profiling.

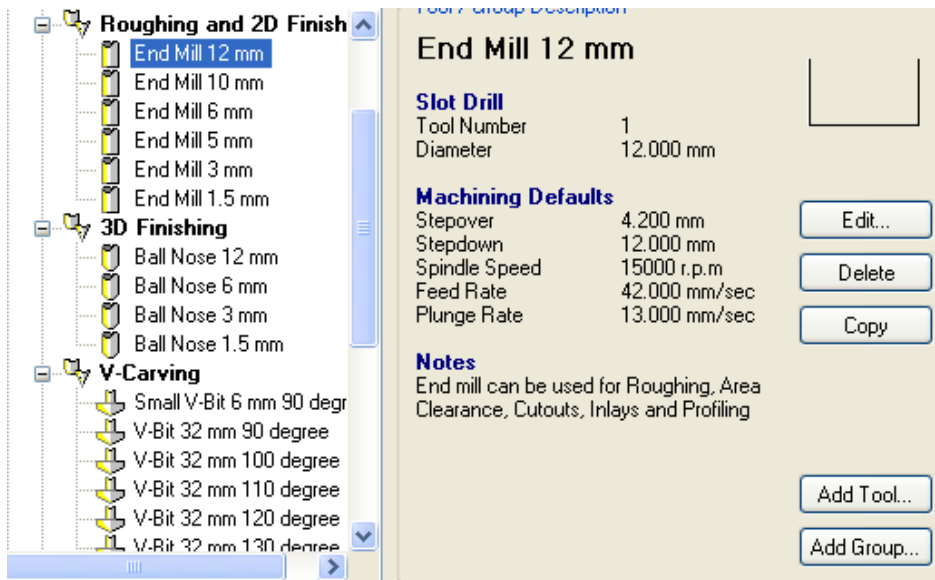
Επιλογή εργαλείων προς χρήση:



Η βάση δεδομένων του λογισμικού είναι αρκετά πλήρης και περιλαμβάνει εργαλεία για διάφορες χρήσεις (εργαλεία μέτρησης, εργαλεία κοσμημάτων, για χάραξη, για φινίρισμα, για αφαίρεση άχρηστου υλικού, κ.α.) και υλικά (αλουμίνιο, μέταλλο, ξύλο ή πλαστικό).

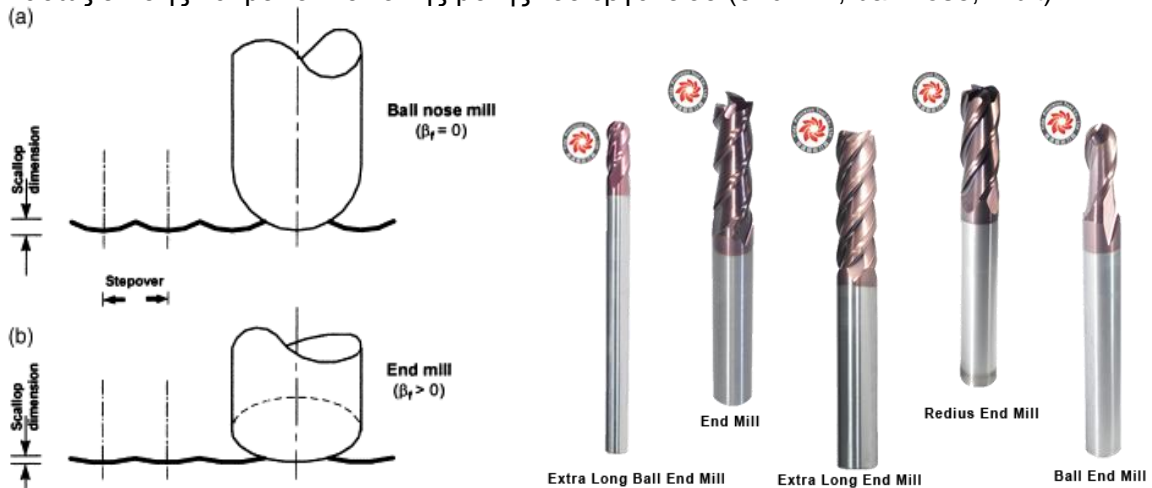
Σχέδιο 3.33 : παράθυρο εργαλείων

Ακόμη υπάρχει πληθώρα επιλογών σε σχέση με το μέγεθος (διάμετρος) του κάθε εργαλείου.



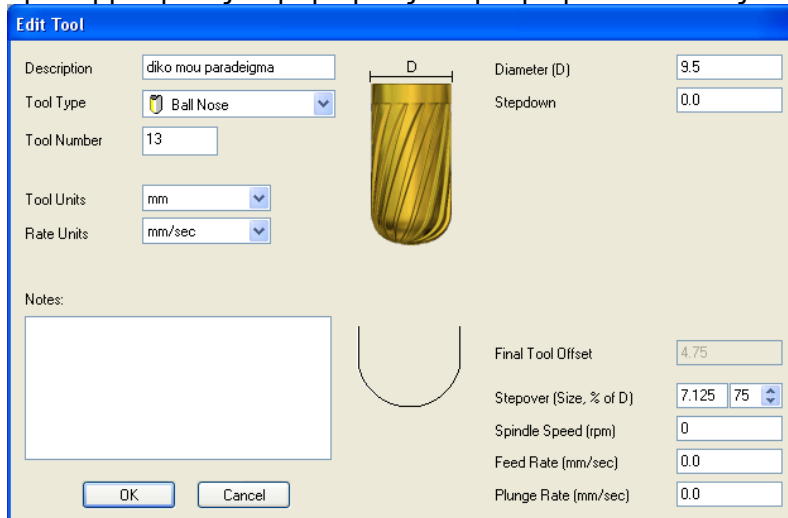
Σχέδιο 3.34 : τύποι διαθέσιμων εργαλείων

καθώς επίσης και με τον τύπο της μύτης του εργαλείου (end mill, ball nose, v- bit)



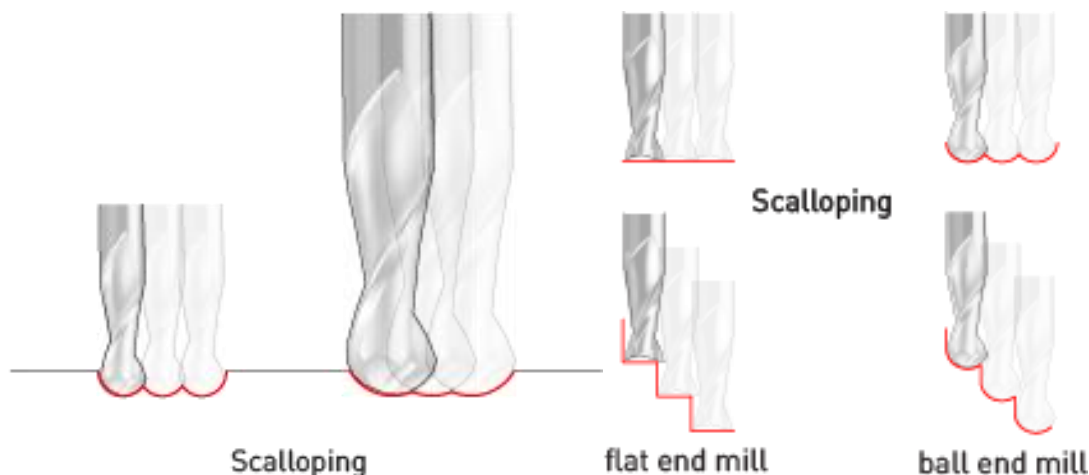
Σχέδιο 3.35 : μύτη εργαλείου

Ακόμη το λογισμικό δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα εισαγωγής κάποιου νέου εργαλείου με προσαρμοσμένες παραμέτρους και γεωμετρία που αυτός εισάγει με την επιλογή add tool



Σχέδιο 3.36 : εισαγωγή εργαλείου από το χρήστη

Η επιλογή του εργαλείου και τα χαρακτηριστικά του (διάμετρος, σχήμα, κ.α. ) επηρεάζει το αποτέλεσμα της κοπής με διάφορους τρόπους. Κάποια παραδείγματα φαίνονται στις παρακάτω εικόνες



Σχέδιο 3.37 : Σκαλοπάτια που δημιουργούνται κατά την κοπή ανάλογα με τη γεωμετρία του εργαλείου

### 3.15 Στρατηγικές κοπής

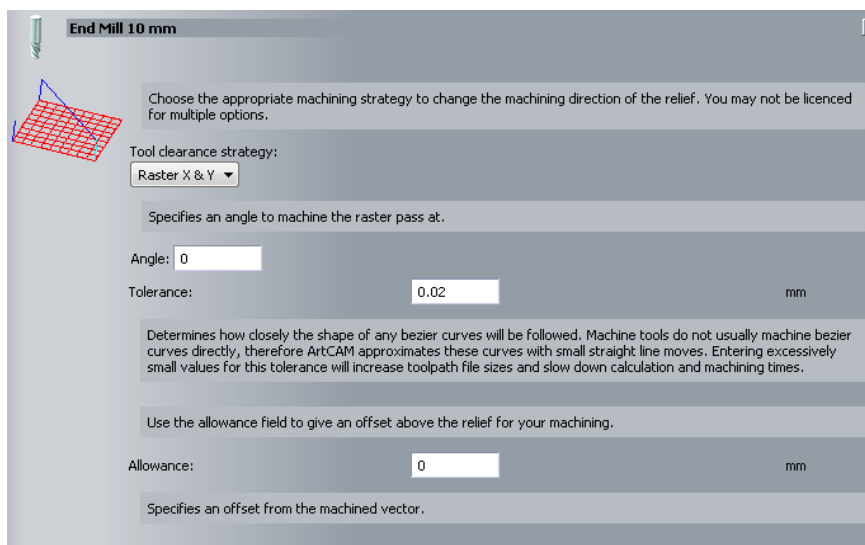
Η στρατηγική ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο το επιλεγμένο σχέδιο τύπου vector ή το σύνθετο ανάγλυφο θα κοπεί μηχανικά.

Όταν δημιουργείται ένα toolpath, δίνεται η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε δύο περιπτώσεις μιας ενιαίας στρατηγικής. Για παράδειγμα, Raster ή Raster (Classic).

Το επίθεμα "(Classic)" δείχνει ότι μια συγκεκριμένη στρατηγική:

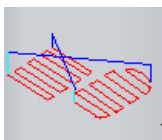
- δεν κάνει χρήση της πολυνηματικής (multithreaded) τεχνολογία
- είναι λιγότερο απαιτητική σε μνήμη
- ταιριάζει καλύτερα όταν χρησιμοποιούνται καμπύλα και κωνικά εργαλεία
- δημιουργεί ένα φινίρισμα επιφάνειας παρόμοιο με αυτά της έκδοσης ArtCAM 2011 και προηγούμενων.

Αφού επιλεγθεί το εργαλείο κοπής εμφανίζονται οι επιλογές για τη στρατηγική όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα

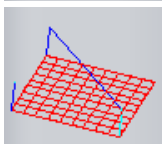


Σχέδιο 3.38 : επιλογές παραμέτρων και στρατηγικής κοπής

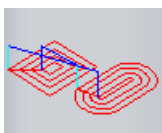
Ο χρήστης έχει τις παρακάτω επιλογές που εξηγούνται σύντομα:



**Raster ή Raster (Classic)** : για κοπή μπρος και πίσω παράλληλα με τον άξονα X σε μία καθορισμένη γωνία



**Raster X & Y ή Raster X & Y (Classic)** : για κοπή μπρος και πίσω παράλληλα με τον άξονα X και τον Y σε μία καθορισμένη γωνία. Η κοπή σε δύο κάθετες διευθύνσεις αυξάνει το χρόνο κατεργασίας αλλά συνήθως παράγει ένα οπτικά ανώτερο φινίρισμα επιφάνειας

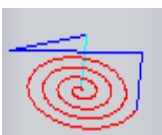


**Offset (Classic)** : για κοπή σε επαναλαμβανόμενα περάσματα, κινούμενο κάθε φορά προς τα μέσα ή προς τα έξω.

**3D Offset** : για κοπή με συνεχόμενο stepover ανεξάρτητα από την κατεύθυνση. Αυτή η τεχνική ταιριάζει καλύτερα για κοπή απότομων και

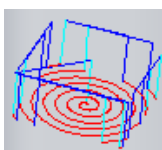
σχεδόν κάθετων επιφανειών .

Απαιτείται ο καθορισμός της κατεύθυνσης κοπής (cutting direction) μεταξύ των επιλογών συμβατικός (conventional ),ανοδικός (climb) ή και τα δύο (both).



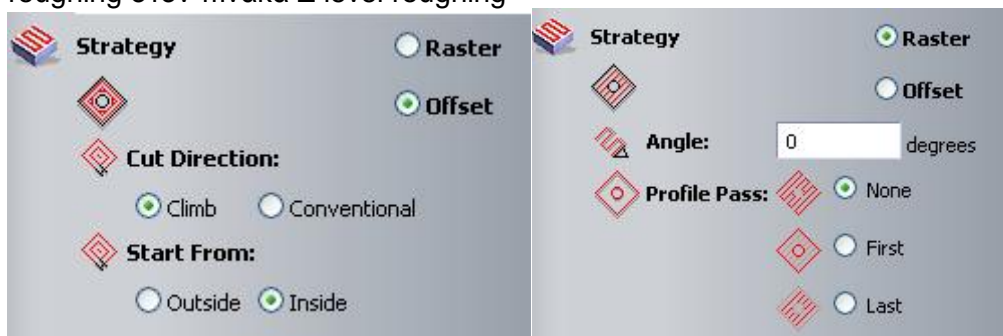
**Spiral** : για κοπή με κίνηση σπирάλ. Όταν το εργαλείο φτάσει στην πρώτη άκρη του σύνθετου ανάγλυφου σταματά. Αν δηλαδή το ανάγλυφο είναι ορθογώνιο δε θα κοπεί ολόκληρο

**3D Offset Spiral** : για σπирάλ κοπή με σταθερό stepover ανεξάρτητα από την κατεύθυνση. Αυτό ελαχιστοποιεί τον αριθμό των ανυψώσεων του εργαλείου και μεγιστοποιεί το χρόνο κοπής διατηρώντας σταθερό το φορτίο στο εργαλείο



**Spiral in a Box** : για σπирάλ κίνηση. Όταν το εργαλείο φτάσει στην πρώτη άκρη του σύνθετου ανάγλυφου παλινωδεί, κινείται παράλληλα με την άκρη και συνεχίζει την κοπή στην επόμενη περιοχή. Αυτή η στρατηγική επιτρέπει την κοπή όλης της επιφάνειας αλλά είναι χρονοβόρα.

Ακόμη υπάρχουν οι παρακάτω δυνατότητες καθορισμού στρατηγικής κατά τη διαδικασία roughing στον πίνακα Z level roughing



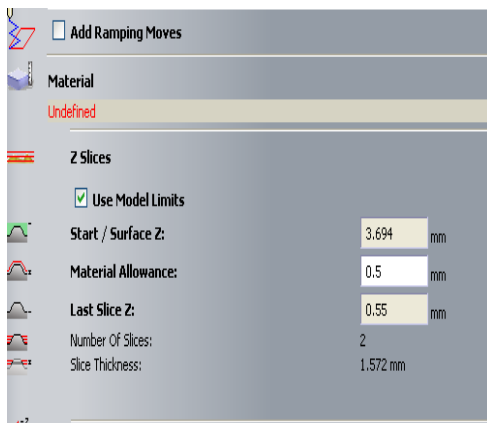
Σχέδιο 3.39 : καθορισμός στρατηγικής

#### Καθορισμός Z φετών (slices)

Κατά τον υπολογισμό ενός toolpath κατεργασίας και χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο Roughing, μπορεί να ελεγχθεί ο αριθμός των Z περασμάτων που χρησιμοποιούνται στη κοπή ανάμεσα στην κορυφή του μπλοκ υλικού και το χαμηλότερο σημείο του σύνθετου ανάγλυφου. Για να οριστεί τον αριθμό των φετών (slices) Z στο toolpath :

**Menu→Toolpaths→new 3D toolpath→Z level Roughing**

Αφού έχει επιλεγεί το εργαλείο κοπής παρατηρούμε στο παρακάτω σχήμα τις παραμέτρους για τις φέτες Z



**Έναρξη / Surface Z** είναι ίση με την κορυφή του μπλοκ υλικού ή, εάν δεν έχουν καθοριστεί οι διαστάσεις του υλικού το μέγιστο ύψος Z του σύνθετου ανάγλυφου.

**Τελευταία φέτα Z (last slice)** είναι ίσο με το ελάχιστο ύψος Z του σύνθετου ανάγλυφου, μαζί με το allowance tolerance που καθορίζονται.

**Αριθμός φετών** είναι το αποτέλεσμα που υπολογίζεται από τα ύψη Z και Stepdown, tolerance, allowance του εργαλείου.

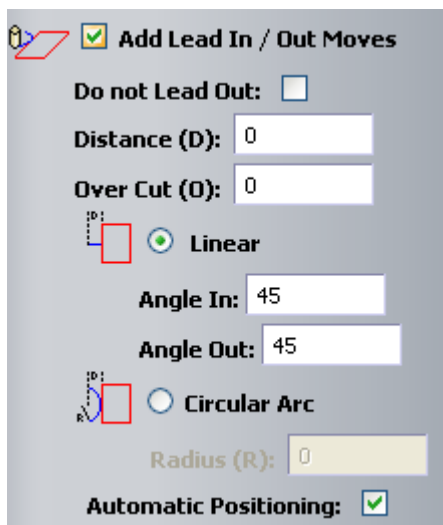
**Πάχος φέτας (slice thickness)** είναι ίσο ή μικρότερο από το επιλεγμένο Stepdown του εργαλείου.

Σχέδιο 3.40 :επιλογές μεταβλητών και παραμέτρων σε roughing toolpath

### 3.15.1 Άλλες επιλογές κοπής

#### Προσθήκη κινήσεων οδήγησης (lead moves)

Οι Lead κινήσεις είναι ένα προληπτικό μέτρο για την αποτροπή εναπομεινάντων σημαδιών σε ένα κατεργασμένο κομμάτι στο σημείο όπου το εργαλείο εισέρχεται και εξέρχεται από το μπλοκ υλικού κατά τη μηχανική επεξεργασία σε ένα πέρασμα προφίλ. Αντί να βυθίζεται μέσα στο μπλοκ υλικού, για να κατεργαστεί, και στη συνέχεια να οπισθοχωρεί, το εργαλείο εισέρχεται και αφήνει το μπλοκ σε μία συγκεκριμένη θέση στο προφίλ από μια καθορισμένη απόσταση. Οι θέσεις εισόδου και εξόδου μπορεί να είναι τα αρχικά και τα τελικά σημεία, ή τα μέσα της μεγαλύτερης απόστασης του προφίλ.



Αν δεν επιθυμούνται κινήσεις εξόδου επιλέγουμε το κουτάκι

Στην περιοχή απόσταση (distance) καθορίζεται η απόσταση από το προφίλ στην οποία το εργαλείο κόβει προς τα μέσα και αφαιρεί από το μπλοκ του υλικού

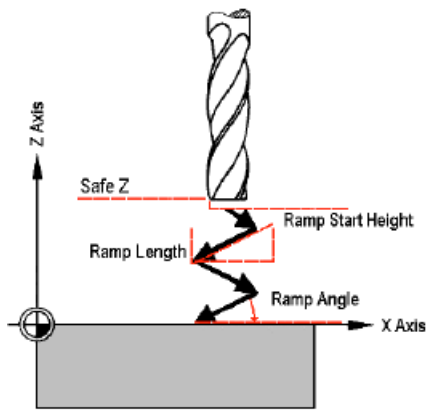
Το overcut καθορίζει την απόσταση κατεργασίας του εργαλείου πέρα από την αρχή και το τέλος του προφίλ. Επιλογή γραμμικότητας (linear) για ευθείες-γραμμικές κινήσεις εισόδου – εξόδου και καθορισμός της αντίστοιχης γωνίας

Επιλογή κυκλικού τόξου (circular arc) για να κινηθεί το εργαλείο κυκλικά κατά την είσοδο και την έξοδο και καθορισμός της αντίστοιχης ακτίνας.

Σχέδιο 3.41 :επιλογές κινήσεων οδήγησης

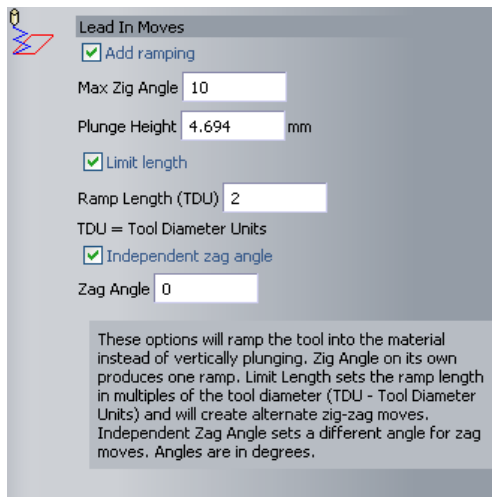
#### Προσθήκη κινήσεων ramping

Κατά την κατεργασία σκληρού υλικού, προσθέτοντας ramping («επικλινείς») κινήσεις στο εργαλείο μειώνεται σημαντικά το φορτίο πάνω του κατά τις κινήσεις στον άξονα Z του μηχανήματος. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι καθορισμού για τη στρατηγική αυτή.



Σχέδιο 3.42 : παράμετροι κίνησης ramping

Η επιλογή αυτή μπορεί να προστεθεί σε **Profiling, 2D Area Clearance, Smart Engraving, Inlay, Machine Relief, Z Level Roughing** ή **3D Cut Out** toolpaths. Ανάλογα με το toolpath που δημιουργείται μπορούν να εμφανιστούν οι παρακάτω πίνακες με τις παραμέτρους τους.

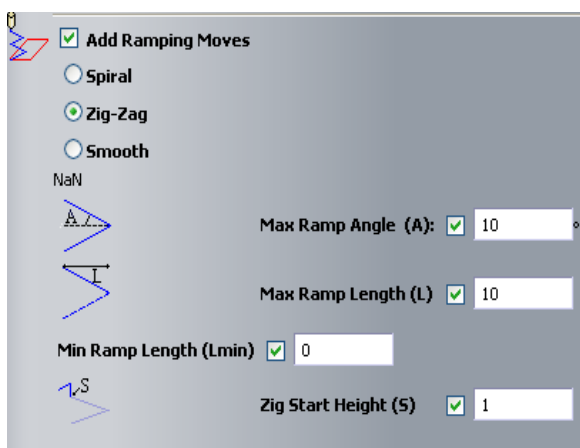


Όταν δημιουργείται ένα machine relief (κατεργασίας ανάγλυφου) toolpath

*Max zig angle* είναι η γωνία της καθόδου καθώς το εργαλείο βυθίζεται (ramps) στο υλικό  
*Plunge height* καθορίζει το ύψος από το οποίο ξεκινά η ράμπα

*Limit length* : εάν επιλεγθεί τότε καθορίζεται το μήκος *Ramp length* που είναι η μέγιστη ράμπα σε σχέση με τη διάμετρο του εργαλείου. Το μήκος της ράμπας πρέπει συνήθως να είναι μεγαλύτερο από τη διάμετρο του εργαλείου για να επιτρέπει την έξοδο των ρινισμάτων κάτω από το εργαλείο

*Independent zag angle* : αν επιλεγθεί καθορίζει τη δεύτερη γωνία καθόδου αν δε φτάσει στην αρχή με το πρώτο πέρασμα.



Αν δημιουργείται ένα άλλο toolpath οι παράμετροι είναι :

Αρχικά πρέπει να επιλεγθεί το είδος της κίνησης για τη δημιουργία της μπάρας (spiral, zig-zag, smooth)

*Max ramp angle* : η μέγιστη γωνία κλίσης για κάθοδο στο τελικό βάθος

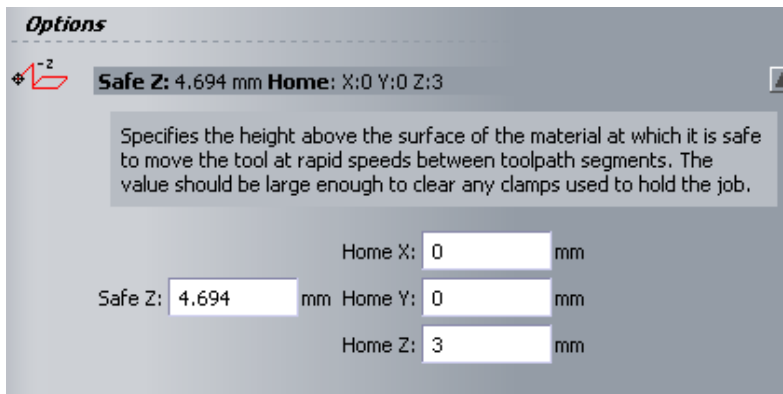
*Max ramp length* : το μέγιστο μήκος για κάθε κίνηση ράμπας

*Min ramp length* : το ελάχιστο μήκος για κάθε κίνηση ράμπας

Αν έχει επιλεγθεί zig-zag κίνηση πρέπει να καθοριστεί το ύψος που ξεκινάει να κατέρχεται η ράμπα

#### Καθορισμός ύψους ασφαλείας (safe Z height) Z και θέσης εκκίνησης(home position)

Σε όλα τα toolpath είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι επόμενες δύο σημαντικές παράμετροι:



1. το ύψος ασφαλείας (safe Z height) από το οποίο το εργαλείο αρχίζει να κάνει γρήγορες κινήσεις ανάμεσα στα τμήματα του toolpath
2. οι X, Y, Z συντεταγμένες που ορίζουν το σημείο εκκίνησης και τέλους του εργαλείου και της κοπής

3.43 : ρυθμίσεις θέσης ασφαλείας

### 3.15.2 Φορά κοπής

Εκτός από την εισαγωγή κινήσεων ramping υπάρχουν και άλλες παράμετροι που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της κοπής.

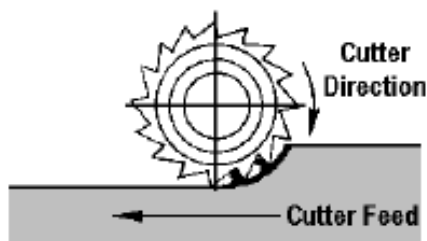
Κατά τη δημιουργία των toolpaths για την κοπή υπάρχει η δυνατότητα επιλογής της φοράς με την οποία θα κόψει το εργαλείο επιλέγοντας μεταξύ συμβατικής (conventional milling) κοπής και κοπής «σκαρφαλώματος» (climbing milling).

Στη συμβατική κοπή το δόντι του εργαλείου συναντά το υλικό στο κάτω μέρος της κοπής. Το εργαλείο γλιστρά μέχρι να αναπτυχθεί αρκετή πίεση που να κόψει την επιφάνεια του υλικού. Η ολίσθηση αυτή προκαλεί φθορές και τείνει να κουνά το δοκίμιο προς τα επάνω.

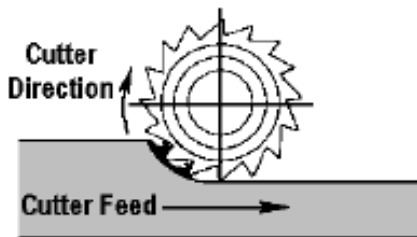
Αντίθετα στη κοπή «σκαρφαλώματος» το δόντι του εργαλείου συναντά το υλικό στην πάνω μεριά, στο πιο παχύ σημείο του δοκίμιου. Έτσι δεν προκαλούνται οι ίδιες φθορές και επιτρέπεται η σταδιακή απεμπλοκή του εργαλείου από το μπλοκ του υλικού οδηγώντας σε καλύτερο φινίρισμα και επιτρέποντας μεγαλύτερες ταχύτητες κοπής.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη διαφορά των δύο μεθόδων

*Climb Milling...*



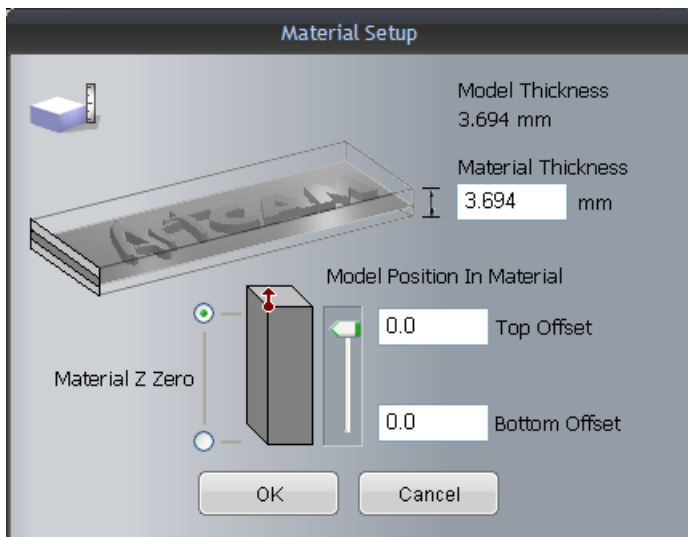
*Conventional Milling...*



Σχέδιο 3.44: φορά κοπής

### 3.15.3 Ορισμός του υλικού κατεργασίας

Πριν από την εκτέλεση των toolpaths κατεργασίας απαιτείται ο προσδιορισμός του υλικού που θα κοπεί και του πάχους του δοκίμιου (μπλοκ). Αυτή η ρύθμιση γίνεται από την επιλογή click to define material στο κάτω μέρος του πίνακα.



Σχέδιο 3.45 : παράμετροι μπλοκ υλικού

Με τον παραπάνω πίνακα ορίζουμε το πάχος (thickness) του υλικού ενώ με τις επιλογές material Z Zero καθορίζεται η θέση του σχεδίου που θα κοπεί σε σχέση με το μπλοκ του υλικού

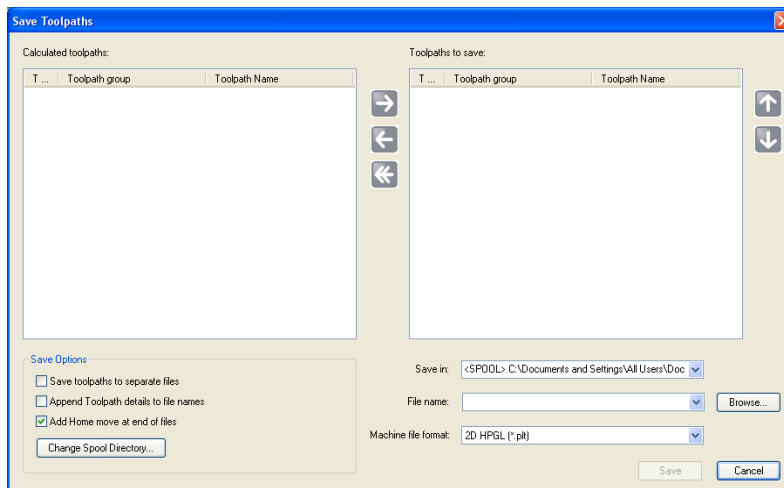
#### Υπολογισμός toolpath

Τέλος και αφού έχουν καθοριστεί όλες οι παραπάνω παράμετροι ο χρήστης καλείται να δώσει όνομα στο toolpath και να επιλέξει αν θα υπολογιστεί- εκτελεστεί άμεσα ή αργότερα. Κατά τον υπολογισμό παρουσιάζεται στο κάτω μέρος του παραθύρου του λογισμικού μία μπάρα κατάστασης



#### Αποθήκευση toolpath

Κάθε toolpath μπορεί να αποθηκευτεί ως μεμονωμένο κομμάτι με τύπο αρχείου \*.tpl . Αυτό περιέχει κάθε ρύθμιση που αποθήκευσε ο χρήστης όταν δημιούργησε το αντίστοιχο τα toolpaths. Για την αποθήκευση και γενικότερα το χειρισμό των toolpaths χρησιμοποιείται αρκετά εύκολα ο πίνακας του project στο δεξιό μέρος του λογισμικού.



Σχήμα 3.46: επιλογή και αποθήκευση toolpaths

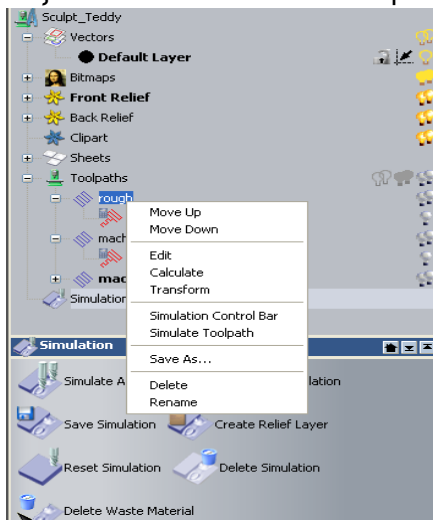
### 3.16 Προσομοίωση (Simulation) toolpaths

Το λογισμικό υποστηρίζει τη διαδικασία της προσομοίωσης των υπολογισμένων toolpaths στην προβολή 2D και 3D. Αυτό δίνει τη δυνατότητα καλύτερης απεικόνισης της κατεργασίας και ειδικότερα των περασμάτων που χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθεί τελικά το κομμάτι.

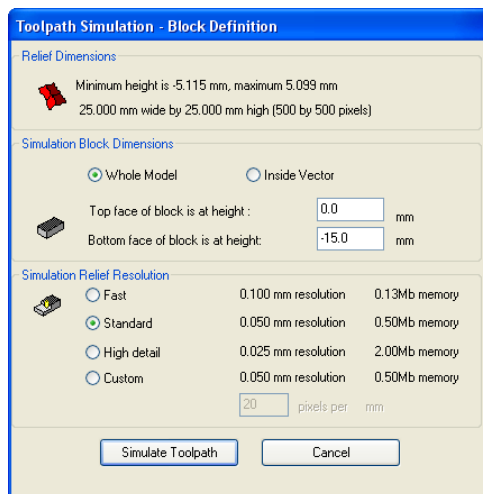
Στο παράθυρο 2D View, μπορούν να προσομοιώνονται τα υπολογισμένα 2D toolpaths και εμφανίζονται με ομοιόμορφα χρώματα. Τέτοια toolpaths μπορεί να είναι **Profile, Area Clearance, V-Bit Carving, Bevel Carving, Smart Engraving, Drilling, Inlay, Raised Round, Texture** και **Drill Banks**.

Μια προσομοίωση toolpath με απόφιο χρώμα είναι μία πιο κατατοπιστική απεικόνιση ενός 2D toolpath από εκείνη που προσφέρει η προεπιλεγμένη προεπισκόπηση.

Για την επιλογή της προσομοίωσης ο χρήστης μεταβαίνει στον πίνακα του project και με δεξί κλικ πάνω σε κάποιο toolpath επιλέγει simulation.



Σχέδιο 3.47 : προσομοίωση toolpath



Σχέδιο 3.48 : παράμετροι προσομοίωσης

Εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο με λεπτομέρειες για την προσομοίωση όπως η ταχύτητα και η ανάλυση και μπορεί να επιλεγθεί αν θα προσομοιωθεί η κοπή σε όλο το μοντέλο ή μόνο σε κάποιο καθορισμένο διάνυσμα.

Για περισσότερες λεπτομέρειες και έλεγχο πάνω στην προσομοίωση υπάρχει η επιλογή simulation control bar που ανοίγει το παρακάτω παράθυρο επιλογών.



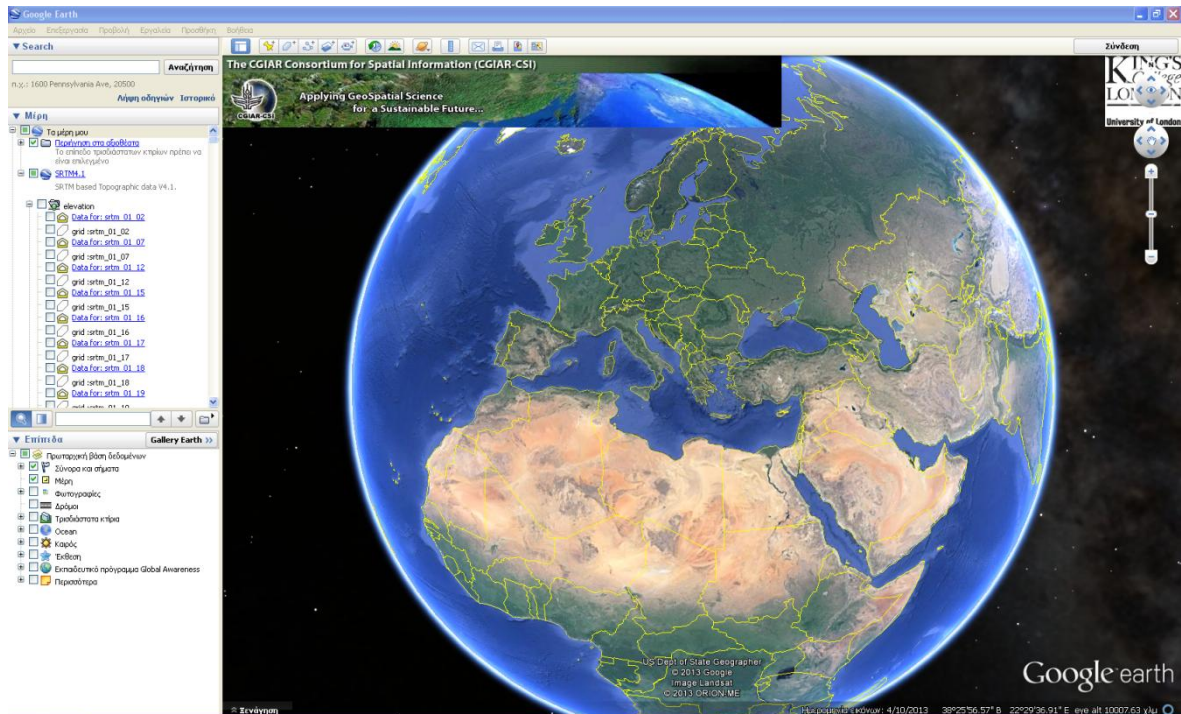
## 4. ΔΟΚΙΜΙΟ – ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΚΡΗΤΗΣ

### 4.1 Εισαγωγή

Σε αυτή την εργασία κατασκευάζεται ένας ακριβής ανάγλυφος χάρτης της Κρήτης. Για να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα κατά τη δημιουργία του ανάγλυφου στο artCAM Pro απαιτείται η ανάκτηση γεωγραφικών δεδομένων και η μετάφραση τους σε ένα χάρτη ύψους (height map). Ένας τέτοιος χάρτης περιέχει πληροφορίες υψόμετρου και ανάγλυφου με τη μορφή χρωμάτων και συγκεκριμένα με αποχρώσεις του γκρι (grayscale). Έτσι το πιο σκούρο χρώμα (μαύρο) μεταφράζεται σε χαμηλότερο ύψος από τα πιο ανοιχτόχρωμα (λευκότερα) σημεία του χάρτη.

### 4.2 Χάρτης DEM

Όπως αναφέρθηκε καινωρίτερα είναι απαραίτητος ένας χάρτης που να περιέχει δεδομένα υψόμετρου. Τέτοιου τύπου χάρτες ονομάζονται *DEM* δηλαδή *Digital Elevation Map* και είναι διαθέσιμοι στο διαδίκτυο. Για αυτό χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Google Earth



Εικόνα 4.1: google maps

Η παραπάνω εφαρμογή διαθέτει το πρόσθετο SRTM στην έκδοση 4.1. Το *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* είναι μια διεθνής ερευνητική προσπάθεια στην οποία λαμβάνονται ψηφιακά μοντέλα εδάφους σε σχεδόν παγκόσμια κλίμακα από  $56^{\circ} \text{N}$  έως  $60^{\circ} \text{N}$ , για να δημιουργήσει την πιο ολοκληρωμένη, υψηλής ανάλυσης, ψηφιακή τοπογραφική βάση δεδομένων της Γης. Το SRTM αποτελείται από ένα ειδικά τροποποιημένο σύστημα ραντάρ που πέταξε με διαστημικό λεωφορείο. Η χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι γνωστή ως *Interferometric Synthetic Aperture Radar*. Τα υψομετρικά μοντέλα που διοργανώνονται σε πλακάκια, το καθένα καλύπτει ένα βαθμό από το γεωγραφικό πλάτος και ένα γεωγραφικό μήκος, το όνομά του, σύμφωνα με νοτιοδυτικές γωνίες τους. Τα υψομετρικά μοντέλα προέρχονται από τα SRTM δεδομένα που χρησιμοποιούνται στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GPS).

Εστιάζοντας στην περιοχή ενδιαφέροντος βλέπουμε τον παρακάτω χάρτη και ανακτώνται οι σχετικές πληροφορίες.



Εικόνα 4.2 : εύρεση περιοχής ενδιαφέροντος της Κρήτης

### 4.3 Επεξεργασία αρχείου DEM

Το αρχείο με τις υψομετρικές πληροφορίες που ανακτάται είναι τύπου .asc . ο συγκεκριμένος τύπος αρχείου ακολουθεί το πρότυπο ASCII γνωστό επίσης ως *ARC/INFO ASCII GRID*. Πρόκειται για μία κωδικοποίηση αρκετά συνηθισμένη λόγω της απλότητας και της φορητότητας της. Το πλέγμα ορίζει γεωγραφικό χώρο, σαν ένα διάνυσμα από ίσου μεγέθους τετράγωνα σημεία πλέγματος διατεταγμένα σε γραμμές και στήλες. Κάθε σημείο του πλέγματος αποθηκεύει μια αριθμητική τιμή που αντιπροσωπεύει ένα γεωγραφικό χαρακτηριστικό (όπως η ανύψωση ή κλίση επιφάνειας) για αυτή τη μονάδα χώρου. Κάθε κυψελίδα καλείται με τη x, y συντεταγμένη της.

Η μορφή ενός τέτοιου αρχείου φαίνεται παρακάτω

Grid image	Values				ASCII grid format		
		25	75	125	175	ncols	4
	275	NA	NA	5	2	nrows	6
	225	NA	20	100	36	xllcorner	0.0
						yllcorner	0.0
	175	3	8	35	10	cellsize	50.0
						NODATA_value	-9999
	125	32	42	50	6	-9999 -9999 5 2	
	75	88	75	27	9	-9999 20 100 36	
25	13	5	1	NA	3 8 35 10		
					32 42 50 6		
					88 75 27 9		
					13 5 1 -9999		

Σχήμα 4.3 :πρότυπο αρχείου ASCII Grid

Όπου:

- `ncols` και `nrows` είναι το πλήθος των γραμμών και των στηλών αντίστοιχα με τη μορφή ακεραίων
- `xllcorner` και `yllcorner` είναι η πιο δυτική (αριστερά) x-συντεταγμένη και νότια (κάτω) y-συντεταγμένη, όπως η τεταγμένη και η τετμημένη (παρουσιάζονται ως πραγματικοί αριθμοί με ένα προαιρετικό δεκαδικό ψηφίο). Τα νούμερα αυτά αποτελούν στην ουσία ένα είδος προσδιορισμού του κομματιού του χάρτη σε σχέση με τον παγκόσμιο χάρτη και τα γειτονικά του κομμάτια
- `cellsize` είναι το μήκος της μιας πλευράς του τετραγώνου (ένας πραγματικός αριθμός) Στην ουσία αναφέρονται κατά κάποιο τρόπο στην ανάλυση, δηλαδή στη λεπτομέρεια του χάρτη
- `nodata_value` είναι η τιμή που θεωρείται ως "άγνωστη" ή "αδιάφορη". Η γραμμή αυτή είναι προαιρετική, αλλά συνιστάται ιδιαίτερα δεδομένου ότι ορισμένα προγράμματα αναμένουν ότι τη δήλωση της (πραγματικός αριθμός).

Το υπόλοιπο του αρχείου παραθέτει τις τιμές ράστερ για κάθε κελί, ξεκινώντας από την επάνω αριστερή γωνία. Οι πραγματικοί αριθμοί (με προαιρετική υποδιαστολή, εάν χρειάζεται) εκφράζουν το υψόμετρο στο συγκεκριμένο τετράγωνο του χάρτη σε μέτρα και διαφοροποιούνται χρησιμοποιώντας ένα μόνο κενό διάστημα.

Τα συγκεκριμένα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν είχαν αρκετά μεγάλο μέγεθος της τάξης των 180 mb

#### 4.3.1 Μετατροπή DEM με matlab

Απαραίτητα πακέτα matlab για τη χρήση των παρακάτω συναρτήσεων είναι τα `mapping toolbox` `image processing toolbox`.

Η πρώτη προσπάθεια μετατροπής των αρχείων τύπου DEM και μορφής `.asc` που λαμβάνονται από το γεωγραφικό πρόγραμμα έγινε με τη βοήθεια της matlab. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `arcgridread`. Η συνάρτηση αυτή συντάσσεται όπως φαίνεται παρακάτω :

```
[Z,R] = arcgridread (filename)
```

Η συνάρτηση διαβάζει ένα αρχείο ονόματος `filename`, προτύπου Arc ASCII Grid `.asc` και φορτώνει τα δεδομένα στη matlab. Για να γίνει αυτό δημιουργεί ένα δισδιάστατο πίνακα `Z`, που περιέχει τις τιμές των υψομέτρων, και έναν πίνακα αναφοράς `R` στον οποίο εισάγει δεδομένα από την επικεφαλίδα του αρχείου και συγκεκριμένα το μέγεθος του τετραγώνου(κεφάλαιο 4.3). Στα τετράγωνα που δεν έχουν τιμές δίνει NaN.

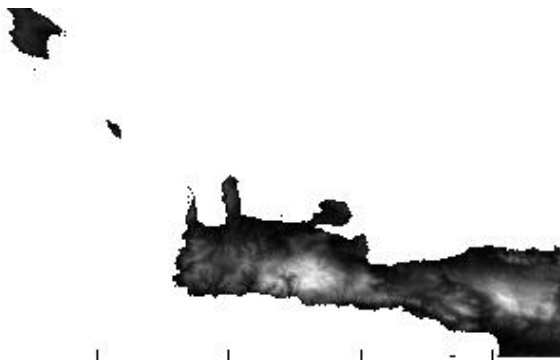
Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση

```
mapshow(Z,R,'DisplayType','surface')
```

η οποία εμφανίζει στην οθόνη το χάρτη που φορτώθηκε με τα συγκεκριμένα ορίσματα `Z,R` ενώ η μεταβλητή `'surface'` υποδεικνύει την εμφάνιση της επιφάνειας και όχι τρισδιάστατη εμφάνιση. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η απλή εντολή

```
colormap('gray');
```

Η οποία δίνει το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα, δηλαδή ένα `heightmap` σε `grayscale` αποχρώσεις.



Σχήμα 4.4 : εξαγωγή heightmap με matlab

Τέλος για να επιλεχθεί η περιοχή της Κρήτης χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση

DEM = imcrop

Η οποία ανοίγει ένα νέο παράθυρο διαλόγου και δίνει τη δυνατότητα να επιλεχθεί χειροκίνητα ένα συγκεκριμένο κομμάτι της εικόνας Z και να αποθηκευτεί στο DEM.

Με τον παραπάνω κώδικα επιτυγχάνεται το άνοιγμα του χάρτη ascii grid και η μετατροπή του σε ένα heightmap

#### 4.3.2 Μετατροπή DEM με C

Εναλλακτικά από τις έτοιμες συναρτήσεις της matlab δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος, ο οποίος υλοποιήθηκε σε c, που διαβάζει τα αρχεία τύπου .asc και τα μετατρέπει σε μία bitmap grayscale εικόνα με τη μορφή ενός heightmap. Η υλοποίηση αυτή βασίζεται στη μορφή και στο συγκεκριμένο πρότυπο ascii grid του αρχείου με τις υψομετρικές πληροφορίες που λαμβάνεται.

Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή του αλγορίθμου και το πως λειτουργεί

1. φορτώνεται το αρχείο, διαβάζονται οι αρχικές μεταβλητές nrows, ncols, xllcorner, yllcorner, nodataValue
2. διαβάζεται το αρχείο γραμμή προς γραμμή και δημιουργείται μία λίστα ακεραίων για όλες τις τιμές και μία λίστα με μη αρνητικές (δηλ όχι noValue) τιμές για τα ύψη,

Στη συνέχεια για να δημιουργηθεί η εικόνα πρέπει να διαταχθούν και να αντιστοιχιστούν σε χρώματα οι τιμές που διαβάστηκαν

3. υπολογίζεται το μέγιστο και το ελάχιστο από τη λίστα με τα μη αρνητικά ύψη
4. υπολογίζεται η διαφορά μέγιστου – ελάχιστου
5. η διαφορά διαιρείται με το 255 (τα χρώματα που θα χρησιμοποιηθούν) και προκύπτει μία τιμή dt
6. κατασκευάζεται η bitmap εικόνα με διάσταση x το μέγιστο ύψος και διάσταση y το πλήθος όλων των σημείων
7. αρχίζει η κατασκευή της εικόνας από κάτω προς τα πάνω
  - αν το αποτέλεσμα της διαίρεσης dt είναι αρνητικό δίνεται η τιμή 0 σε όλα τα κανάλια χρώματος RGB στο συγκεκριμένο Pixel
  - αλλιώς δίνεται η τιμή της διαίρεσης dt σε όλα τα κανάλια για το συγκεκριμένο pixel



Σχήμα 4.5: η έξοδος του προγράμματος σε c

#### Παρατηρήσεις

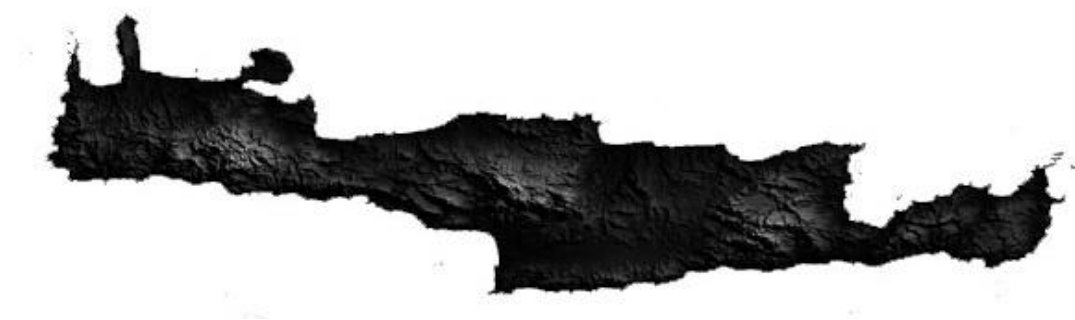
Παρατηρείται αρκετά καλό αποτέλεσμα, όμοιο με αυτό της έτοιμης συνάρτησης matlab ενώ έχει επιλεγθεί εύκολα όλα τα γύρω σημεία να είναι μαύρα ώστε να αντιστοιχίζονται πιο εύστοχα στο heightmap

### 4.3.3 Μετατροπή DEM έτοιμο λογισμικό

Μετά από αναζήτηση βρέθηκαν διάφορα λογισμικά τα οποία έχουν τη δυνατότητα να παίρνουν ως είσοδο τα αρχεία τύπου .asc που μας ενδιαφέρουν και να τα μετατρέπουν σε ένα heightmap.

Χαρακτηριστικά αναφέρονται τα global mapper ,microDEM ,3DEM, GeoControl, QuikGrid,

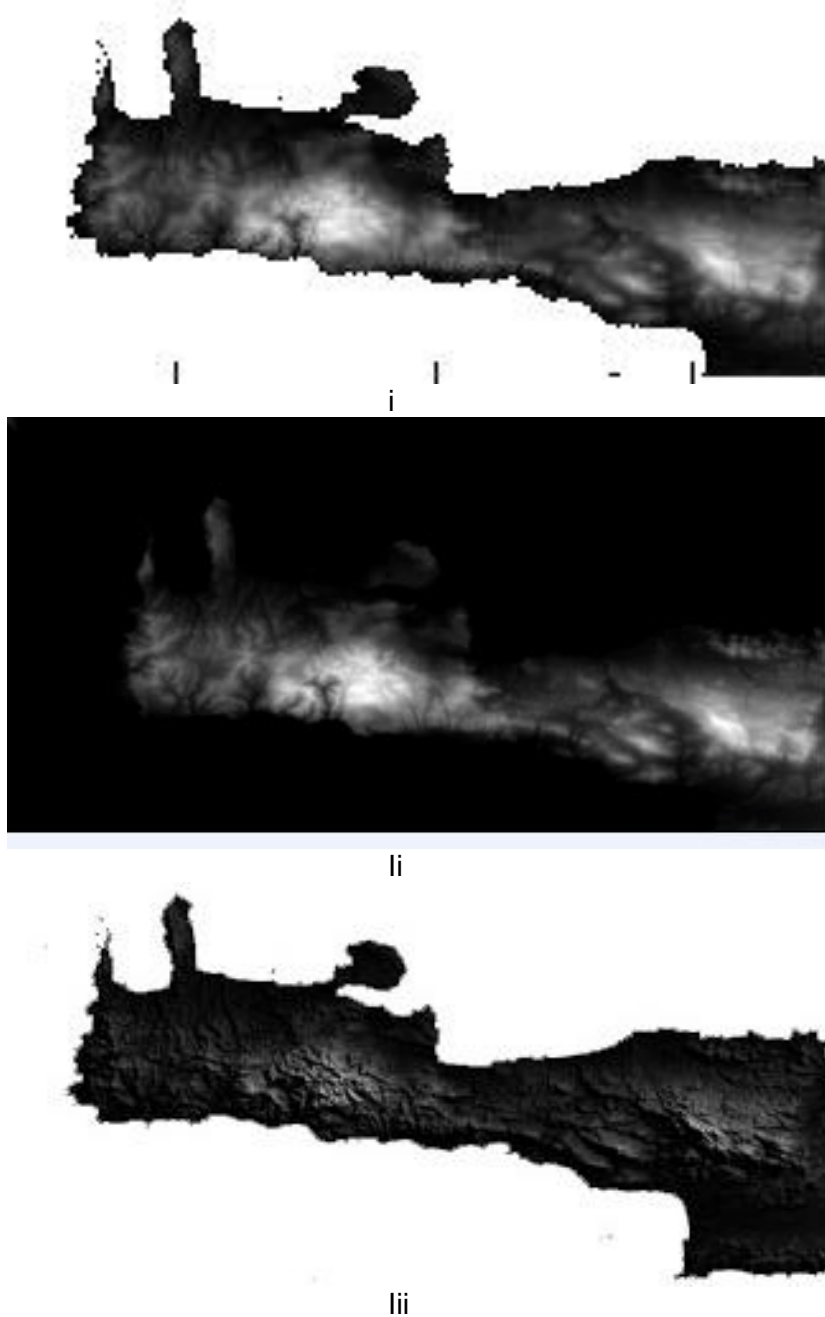
Στα λογισμικά αυτά φορτώνονται όλα τα τμήματα .asc της περιοχής ενδιαφέροντος και αφού συνδεθούν αυτόματα παράγεται ένα heightmap με την παρακάτω μορφή



Σχήμα 4.6 : ολοκληρωμένο heightmap από έτοιμο λογισμικό

#### 4.3.4 Σύγκριση μεθόδων ανοίγματος DEM

Για να επιλεγθεί το καλύτερο αποτέλεσμα έγινε σύγκριση των τριών παραπάνω μεθόδων όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 4.7: σύγκριση χαρτών DEM με άνοιγμα  
(i) arcgridread της matlab  
(ii) αλγόριθμος σε c  
(iii) λογισμικό global mapper

### Σύγκριση και παρατηρήσεις

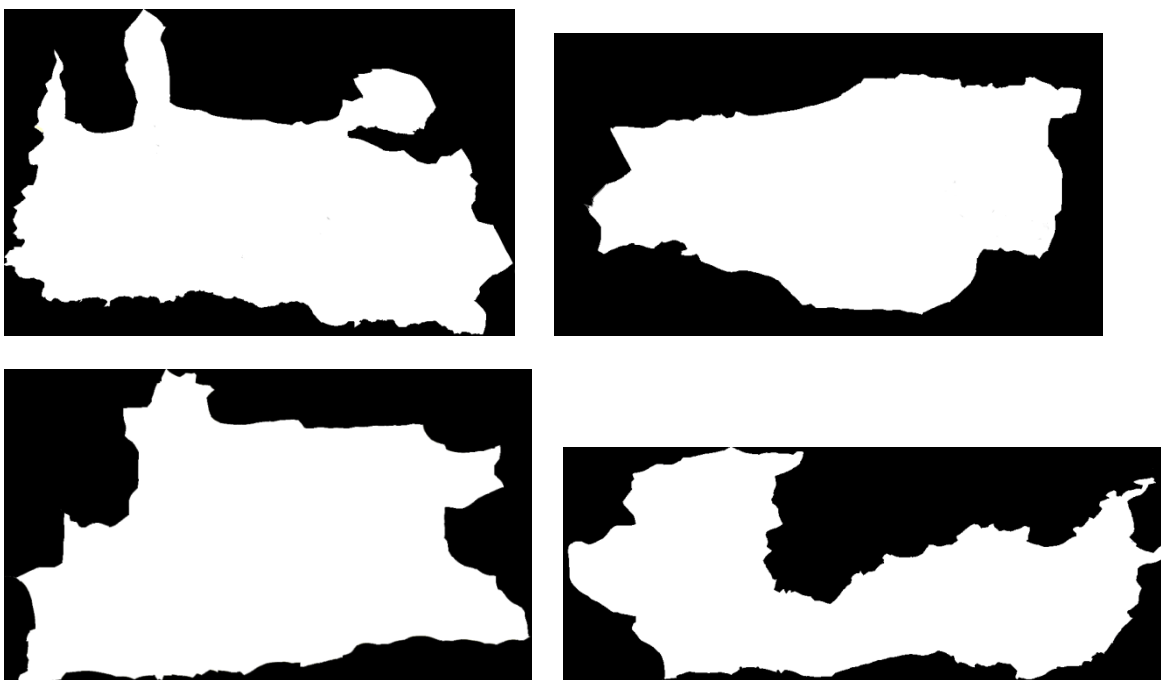
- i) οι έτοιμες συναρτήσεις της matlab είναι εύκολες σε χρήση και δίνουν επιπλέον τη δυνατότητα τρισδιάστατης προβολής αλλά χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία για χρωματισμό του περιβάλλοντος
- ii) ο αλγόριθμος που κατασκευάστηκε παράγει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα σε επίπεδο χρωματισμών και επιπλέον χρωματίζει το περιβάλλον μαύρο και δεν απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία
- iii) το εμπορικό λογισμικό εξάγει ένα έτοιμο geotiff heightmap και παρέχει αυτόματα τη δυνατότητα σύνδεσης γειτονικών κομματιών αρκετά χρήσιμο στη συγκεκριμένη περίπτωση μιας και πρόκειται για τομή τεσσάρων περιοχών. Ακόμη παράγει heightmap με περισσότερες λεπτομέρειες «υψής» στην επιφάνεια.

## 4.4 Επεξεργασία χάρτη νομών

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε λογισμικό επεξεργασίας εικόνας ώστε να επιτευχθούν τα παρακάτω για κάθε νομό:

Σημείωση : για χάρη συντομίας οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν σε όλους τους χάρτες εμφανίζονται με παράδειγμα το νομό Χανίων

Αρχικά αποκόπηκε το περιεχόμενο του χάρτη κάθε νομού από το περίγραμμα του το οποίο επεξεργάστηκε και αποθηκεύτηκε για να λειτουργήσει ως ανυψωμένη βάση στο ανάγλυφο. Παρατηρείται η αναστροφή των χρωμάτων σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά απεικόνισης ενός heightmap



Εικόνα 4.8 : περιγράμματα νομών

### 4.4.1 Διαχωρισμός νομών Κρήτης

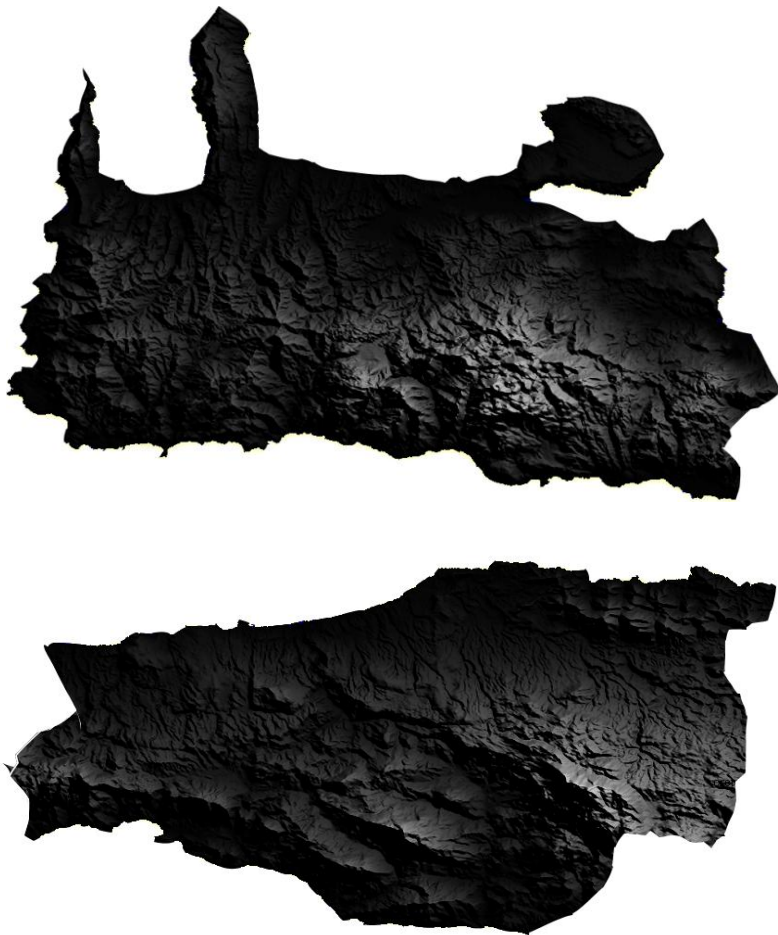
Για να κοπεί το μοντέλο επιλέχθηκε για λόγους διαστάσεων να κατεργαστεί στη φράιζα κάθε νομός ξεχωριστά. Συνεπώς είναι απαραίτητο να οριοθετηθούν και να κοπούν οι νομοί. Για την εργασία αυτή απαιτείται η χρήση κάποιου προγράμματος επεξεργασίας εικόνας.

Συγκεκριμένα εισήχθησαν στο λογισμικό ο ανάγλυφος χάρτης (σχήμα 4.6) και ένας απλός χάρτης στον οποίο φαίνονται οι διοικητικοί νομοί της Κρήτης

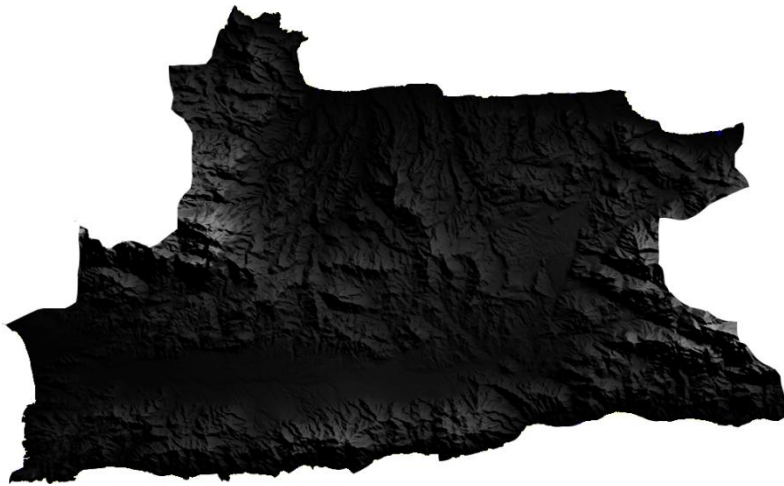


Εικόνα 4.9: χάρτης με διαχωρισμό νομών

Κάθε χάρτης τοποθετήθηκε σε διαφορετικό layer και με τον τρόπο αυτό κόπηκε ο ανάγλυφος χάρτης στα παρακάτω μέρη.



Εικόνα 4.10: νομός Χανίων και νομός Ρεθύμνου



Εικόνα 4.11: νομός Ηρακλείου και νομός Λασιθίου

#### 4.4.2 Επεξεργασία εικόνας σε matlab με μορφολογικούς τελεστές

Στη συνέχεια αλλάζει το χρώμα γύρω από τον κάθε νομό και συμπληρώνεται με μαύρο χρώμα ώστε να αντιστοιχεί στο κατώτερο υψόμετρο στο `heightmap` που θα δημιουργήσει αργότερα το ανάγλυφο. Μετά το χρωματισμό με μαύρο χρώμα απομένουν κάποια σημεία της εικόνας (γειτονικές σειρές από pixels) τα οποία παραμένουν λευκά σε αναντιστοιχία με τα γύρω μαύρα σημεία. Για να καλυφθούν αυτές οι ασυνέχειες έγινε επεξεργασία της εικόνας με μορφολογικούς μαθηματικούς τελεστές.

Οι μορφολογικοί τελεστές είναι μέθοδοι για την επεξεργασία δυαδικών εικόνων βασισμένοι στην γεωμετρία. Αυτοί οι τελεστές παίρνουν μια δυαδική εικόνα σαν είσοδο και επιστρέφουν επίσης μια δυαδική εικόνα. Η τιμή καθενός pixel της εικόνας εξόδου βασίζεται στη σχέση του pixel εισόδου και του γειτονικού του. Διαλέγοντας το σχήμα των γειτονικών pixel σωστά, μπορεί να κατασκευαστεί ένας μορφολογικός τελεστής ο οποίος να είναι ευαίσθητος σε συγκεκριμένα σχήματα της εικόνας εισόδου. Για το φιλτράρισμα της αρχικής μάσκας χρησιμοποιούνται οι δύο βασικότερες πράξεις οι οποίες είναι η *διάβρωση (erosion)* και η *διαγραφή (dilation)*.

Ένα ουσιαστικό μέρος των μορφολογικών τελεστών είναι το δομικό στοιχείο (*structuring element*), το οποίο μπορεί να είναι αυθαίρετου σχήματος και μεγέθους. Το δομικό στοιχείο είναι ένας πίνακας που περιέχει στοιχεία με τιμή είτε μηδέν είτε ένα. Το κεντρικό στοιχείο στο δομικό στοιχείο αναπαριστά το pixel του ενδιαφέροντος ενώ τα pixels του πίνακα που περνούν την τιμή ένα ορίζουν την γειτονία.

**Erosion (Διάβρωση):** Η βασική επίδραση αυτού του τελεστή είναι να διαβρώνει τα σύνορα της περιοχής των pixels που βρίσκονται στο προσκήνιο (π.χ. λευκά pixels). Αφαιρεί, επίσης, τις πολύ μικρές οπές.

Έστω το αντικείμενο  $A$  και το δομικό στοιχείο  $B$ . Ως  $B_x$  ορίζεται η μετατροπή του  $B$ , ώστε η αρχή του είναι το  $x$ . Η διάβρωση της εικόνας  $A$ , με βάση το  $B$ , ορίζεται σαν το σύνολο των σημείων  $x$  τέτοιων ώστε το  $B_x$  να περιλαμβάνεται στην εικόνα  $A$ :

$$A \circ B = \{x : B_x \subseteq A\} \quad (\text{σχέση 4.1})$$

Έτσι με βάση το δομικό στοιχείο κατά τη διάβρωση (erosion) υπολογίζεται μία νέα τιμή σε κάθε θέση της αρχικής εικόνας. Η νέα τιμή είναι η μέγιστη όλων των pixels στη γειτονιά του αρχικού pixel. Άρα αν ένα από τα γειτονικά pixel έχει τιμή 1, η νέα τιμή του κεντρικού pixel θα είναι 1.

*Dilation (Διαστολή)*: Η βασική επίδραση πάνω στην εικόνα είναι η διεύρυνση των συνόρων των περιοχών των pixels που βρίσκονται στο προσκήνιο (π.χ. λευκά pixels)

Έστω  $A$  και  $B$  δύο σύνολα και  $\emptyset$  το κενό σύνολο. Η διαστολή της εικόνας  $A$ , με δομικό στοιχείο  $B$  ορίζεται σαν το σύνολο των σημείων  $x$  τέτοιων ώστε το  $B_x$  και η εικόνα  $A$  έχουν μη κενή τομή:

$$A \oplus B = \{x : B_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (\text{σχέση 4.2})$$

Αντίστοιχα κατά τη διαστολή υπολογίζεται μία νέα τιμή σε κάθε θέση της αρχικής εικόνας. Η νέα τιμή είναι η ελάχιστη τιμή όλων των pixels στη γειτονία του αρχικού pixel. Άρα αν έστω και ένα από τα γειτονικά pixel έχει τιμή 0 τότε η νέα τιμή του κεντρικού pixel θα είναι 0.

Η διαστολή και η διάβρωση είναι δυαδικές. Έτσι ισχύει:

$$(A \circ B)^c = A^c \oplus \hat{B} \quad (\text{σχέση 4.3})$$

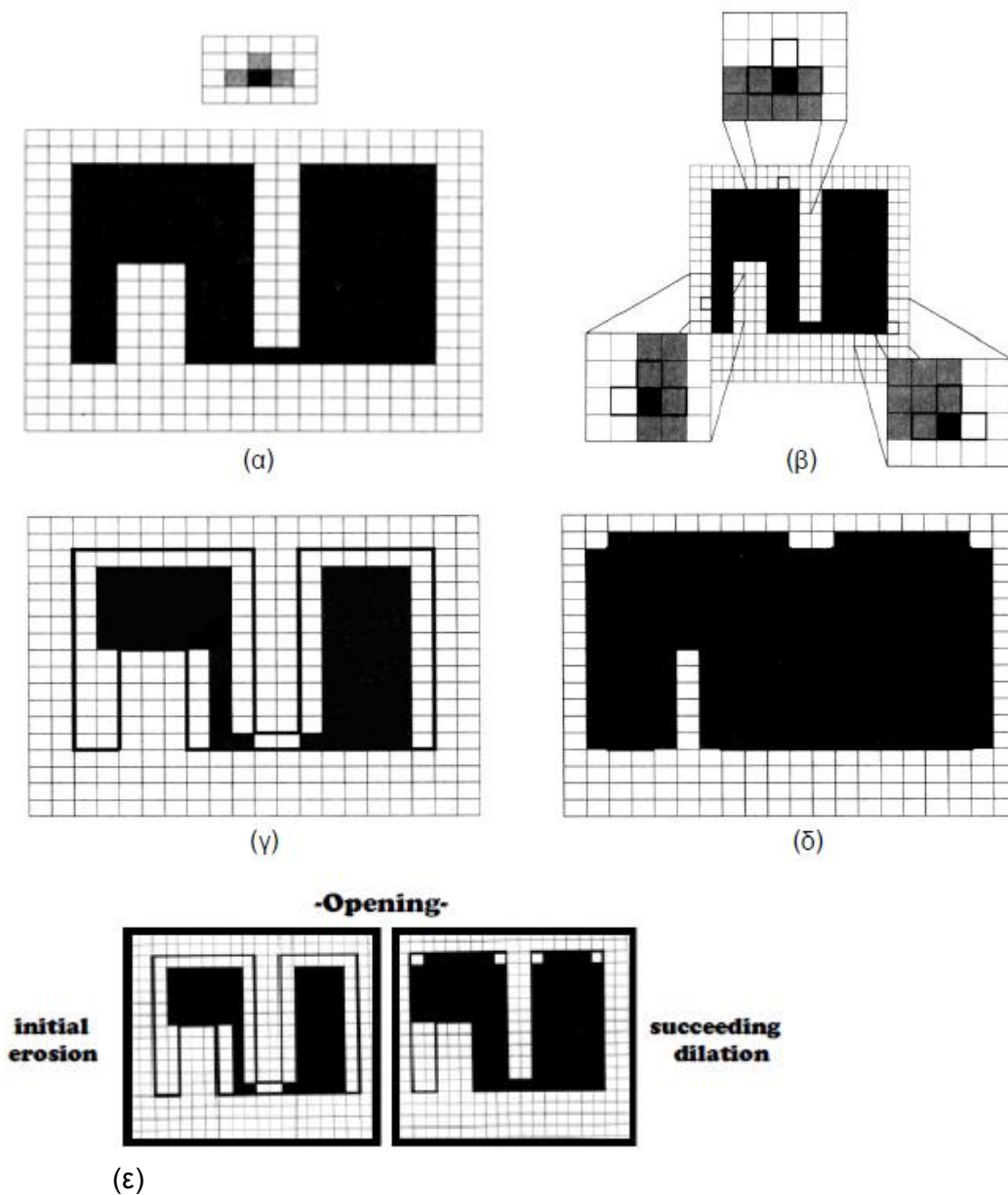
Όπως είδαμε και προηγουμένως η διαστολή (dilation) μεγαλώνει μια εικόνα, ενώ η διάβρωση (erosion) την μειώνει. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας σύνθετος τελεστής που χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση μας και αποτελεί συνδυασμό των προηγούμενων.

*Opening (Ανοιγμα)*: Η βασική επίδραση είναι μία διάβρωση (erosion) η οποία ακολουθείται από μία διαστολή (dilation). Το βασικό μειονέκτημα της διαδικασίας είναι ότι επιδρά αδιάκριτα πάνω σε όλες τις περιοχές των pixels σε προσκήνιο. Γενικά εξομαλύνει το περίγραμμα της εικόνας, σπάζει τους στενούς ισθμούς και εξαλείφει τις λεπτές προεξοχές. Ορίζεται ως:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (\text{σχέση 4.4})$$

Δηλαδή πρώτα εφαρμόζεται η διάβρωση και ύστερα η διαστολή.

Ακολουθούν κάποια σχήματα για επεξήγηση των παραπάνω



Σχήμα 4.12: (α) αρχική δυαδική εικόνα και δομικό στοιχείο (β)εφαρμογή δομικού στοιχείου στην εικόνα (γ)αποτέλεσμα της διάβρωσης – erosion (δ) αποτέλεσμα της διαστολής – dilation (ε)διαδικασία ανοίγματος – πρώτα διάβρωση στη συνέχεια διαστολή

### Εφαρμογή

Για το φιλτράρισμα της αρχικής εικόνας μας και έπειτα από συνεχείς δοκιμές, ώστε να μην αλλάζει ή παραμορφώνεται το heightmap, διαπιστώθηκε ότι το δομικό στοιχείο που διευκολύνει είναι ένα τετράγωνο 2 x 2

$$SE = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Χρησιμοποιώντας το δομικό αυτό στοιχείο μπορούμε να εφαρμόσουμε τον τελεστή ανοίγματος έτσι ώστε να επιτευχθεί η διαγραφή των λευκών pixels γύρω από την εικόνα σύμφωνα με την παρακάτω μεθοδολογία.

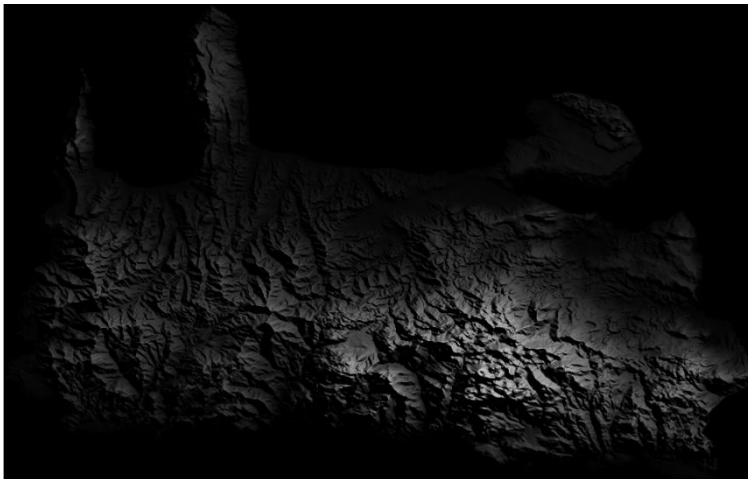
Ακολουθούν οι αντίστοιχες εντολές σε matlab που χρησιμοποιήθηκαν

```
st = strel('square',2);  
k2=imopen(k1,st);
```

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η εφαρμογή των μορφολογικών τελεστών στο χάρτη του νομού Χανίων



(α)



(β)

Σχήμα 4.13 : (α) αρχική εικόνα και (β) τελική μετά την εφαρμογή του μορφολογικού τελεστή ανοίγματος (opening)

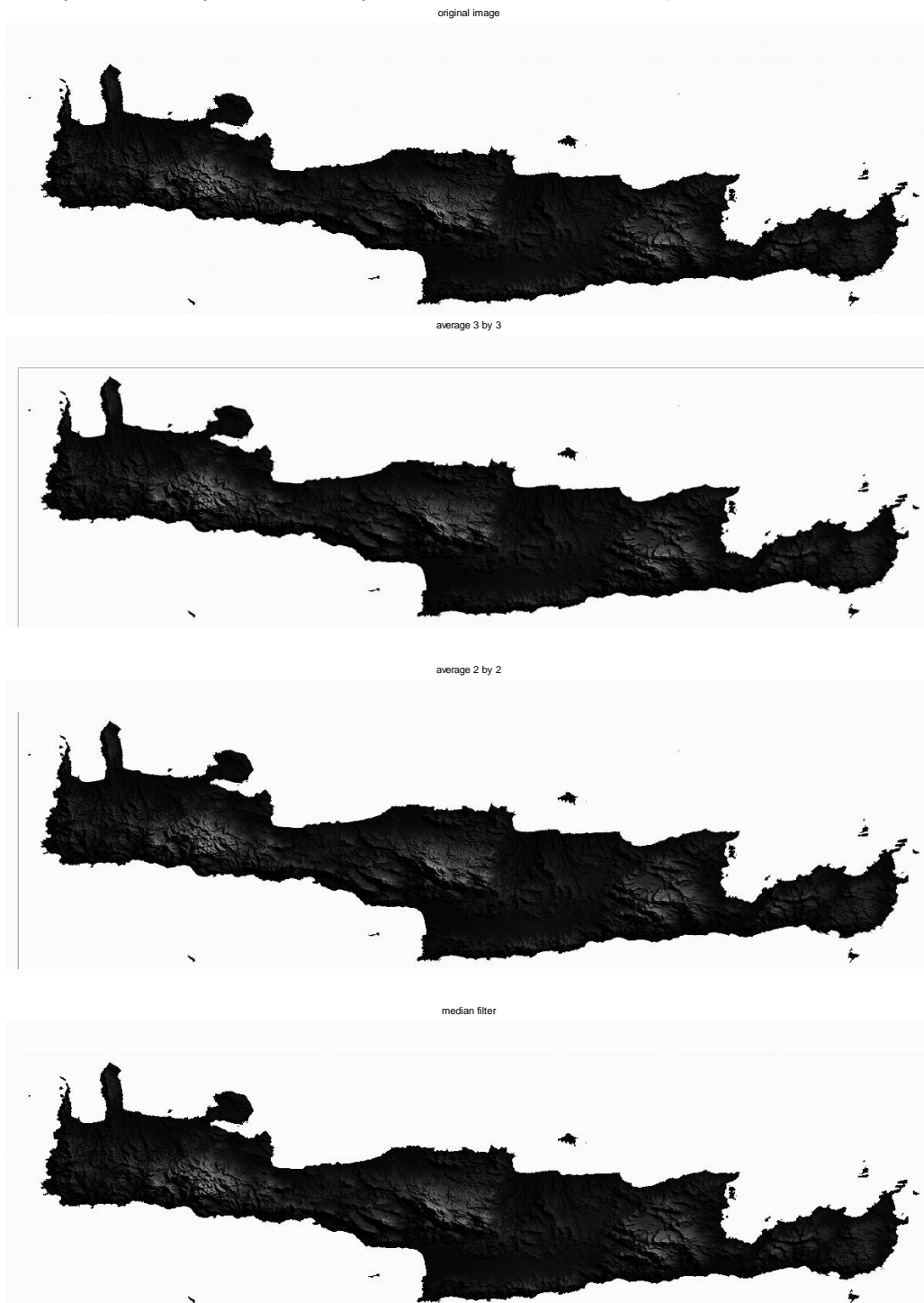
Αντίστοιχη διαδικασία επεξεργασίας ακολουθήθηκε για όλους τους νομούς.

#### 4.4.3 Επεξεργασία εικόνας σε matlab με φίλτρα

Η εικόνα heightmap που δημιουργήθηκε μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω με τη χρήση γνωστών φίλτρων στη matlab. Επιλέχθηκαν τα φίλτρα average και median. Σκοπός είναι η απομάκρυνση θορύβου και η εξισορρόπηση των χρωμάτων σε γειτονικές περιοχές ώστε να μην υπάρχουν απότομες διακυμάνσεις στο ύψος.

Το φίλτρο average πραγματοποιεί φιλτράρισμα σε ένα πίνακα 2 x 2. Κάθε pixel της εξόδου περιέχει τη μέση τιμή των 3 x 3 γειτονικών του pixels.

Το φίλτρο median πραγματοποιεί φιλτράρισμα σε ένα πίνακα 2 x 2. Κάθε pixel της εξόδου περιέχει την ενδιάμεση (μεσαία) τιμή των 3 x 3 γειτονικών του pixels.

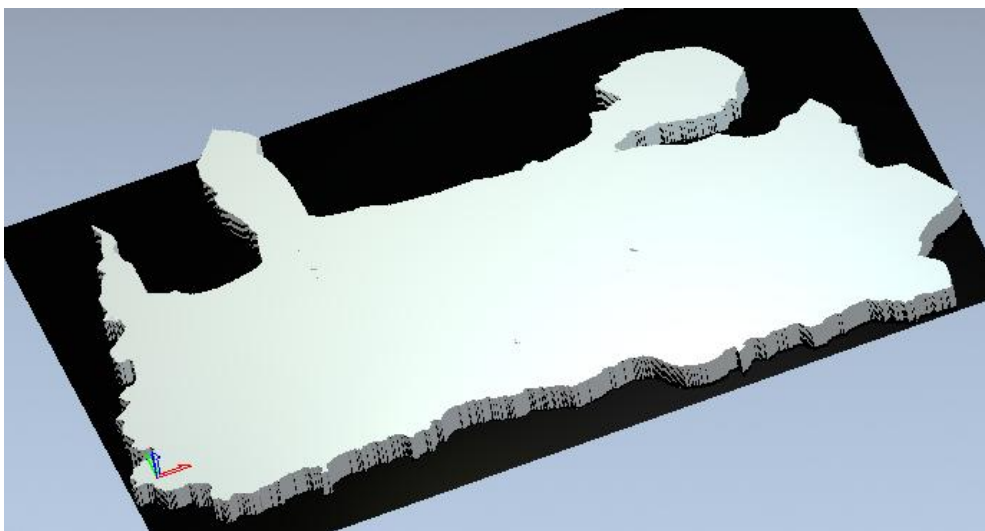


Σχήμα 4.14 : φιλτράρισμα εικόνας από πάνω προς τα κάτω : αρχική εικόνα, average 3x3, average 2x2, median 3 x 3

## 4.5 Δημιουργία ανάγλυφου χάρτη στο artCAM Pro

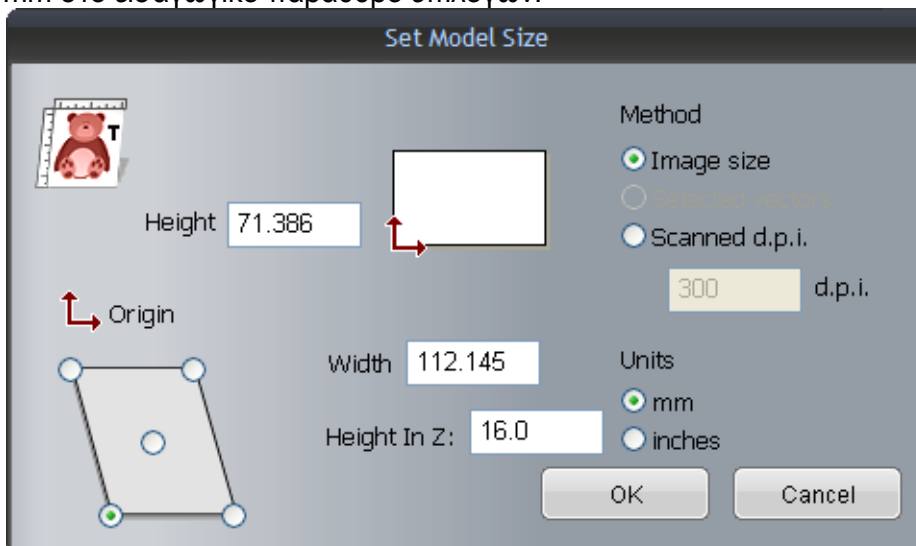
Αφού έχει τελειώσει η επεξεργασία του χάρτη αποθηκεύεται το αρχείο τύπου \*.tif και εισάγεται στο artCAM. Για την εισαγωγή επιλέγεται **File→New→From image file** και φορτώνεται η επιθυμητή εικόνα. Για τη συγκεκριμένη διαδικασία ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα για κάθε νομό ξεχωριστά:

1. Εισάγεται ως εικόνα το περίγραμμα του νομού που δημιουργήθηκε (εικόνα 4.9 ) και ανυψώνεται μία βάση κοπής (offset) με ύψος 4mm και διαστάσεις ίδιες με αυτές του ανάγλυφου νομού.



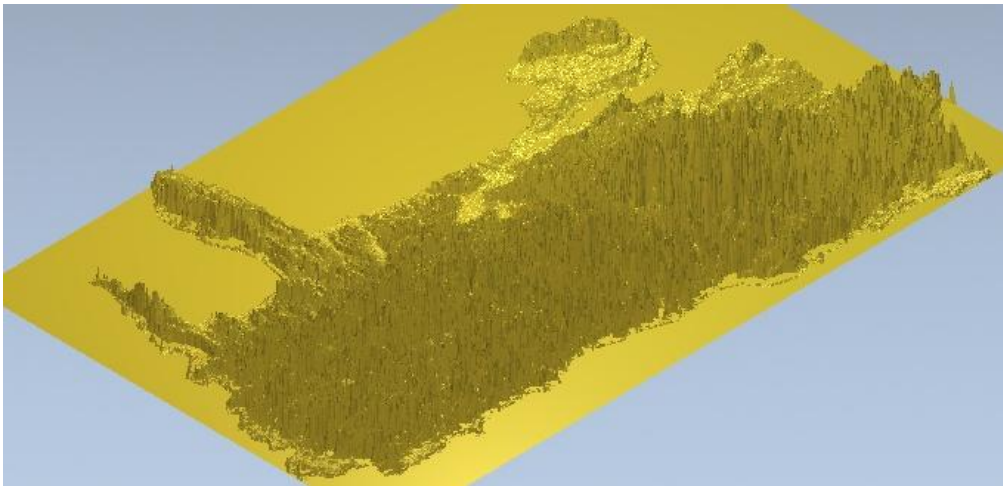
Εικόνα 4.14 : ανάγλυφη βάση ν. Χανίων ύψους 4mm

2. Σε διαφορετικό παράθυρο και μοντέλο φορτώνεται με τον ίδιο τρόπο **File→New→From image file** η εικόνα .tif του χάρτη heightmap και ορίζεται μέγιστο ύψος ανάγλυφου τα 16 mm στο εισαγωγικό παράθυρο επιλογών.



Σχέδιο 4.15 : επιλογή διαστάσεων κατά την εισαγωγή εικόνας

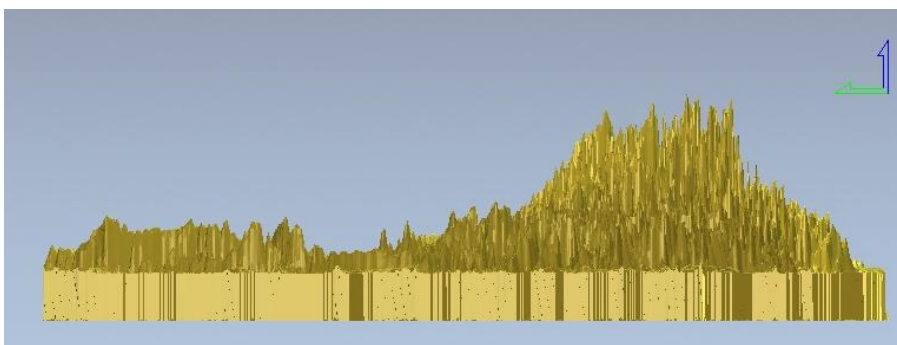
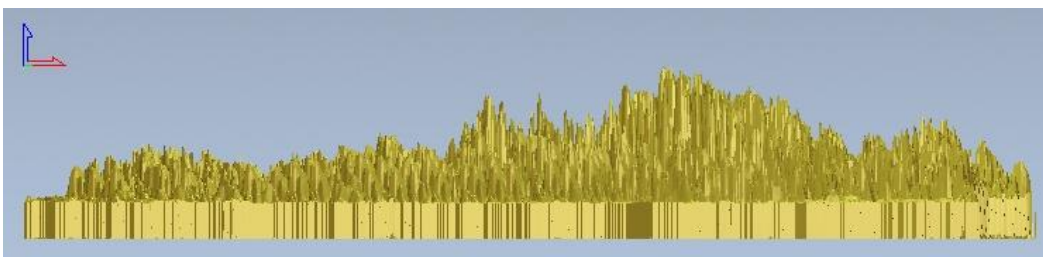
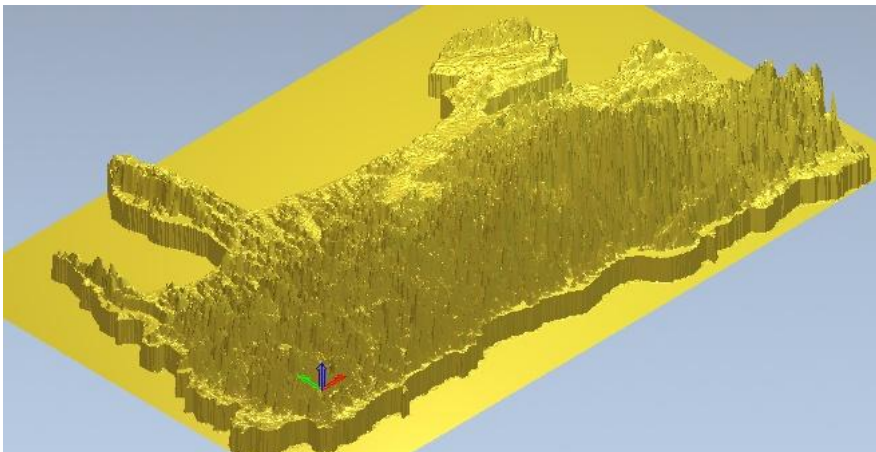
3. Στη συνέχεια δημιουργείται το επιθυμητό ανάγλυφο του νομού όπως φαίνεται παρακάτω

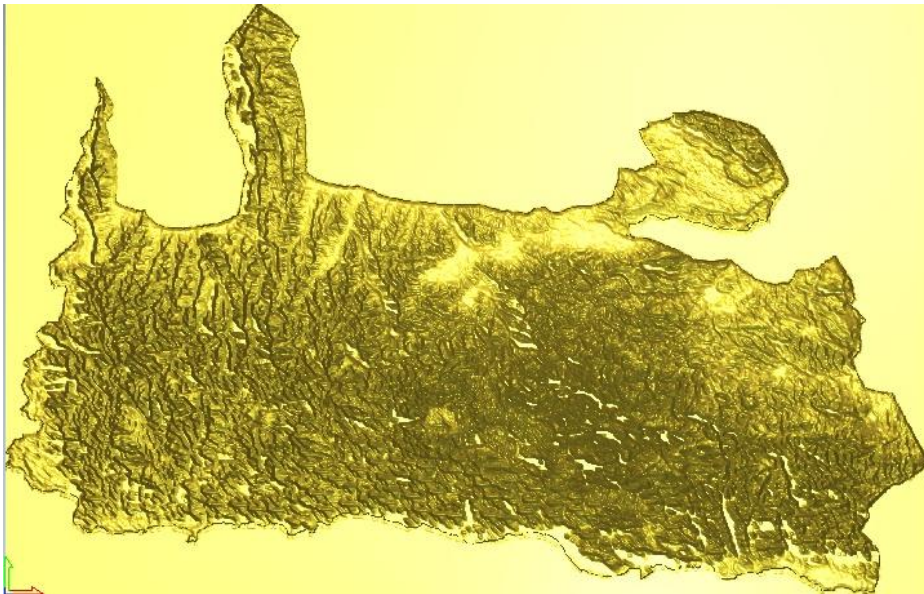


Σχέδιο 4.16 : ανάγλυφο ν. Χανίων

Τέλος επιλέγονται οι εντολές από το μενού **Reliefs**→ **Save Layer** και αποθηκεύεται σε μορφή αρχείου \*.rlf.

4. Η διαδικασία συνεχίζεται πίσω στο βήμα 1 όπου φορτώνεται πάνω στην ανάγλυφη βάση που δημιουργήθηκε το relief layer που αποθηκεύτηκε στο βήμα 2 με τις εντολές **Reliefs**> **Load Layer** και προκύπτει το τελικό ανάγλυφο του νομού Χανίων.





Σχέδιο 4.17 : όψεις του ανάγλυφου ν. Χανίων με τη σειρά i. ισομετρική όψη ii. όψη του άξονα Y iii. όψη του άξονα X iv. κάτοψη

#### 4.5.1 Διαστάσεις μοντέλων

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει μία αναφορά στις διαστάσεις που επιλέχθηκαν για κάθε νομό. Κύριο κριτήριο αποτέλεσε το μέγεθος του ταμπλό κοπής της μηχανής cnc του εργαστηρίου καθώς επίσης και το μέγεθος του μπλοκ υλικού που χρησιμοποιήθηκε. Το μπλοκ του αλουμινίου που χρησιμοποιήθηκε έχει διαστάσεις 10 x 15 x 2 cm .

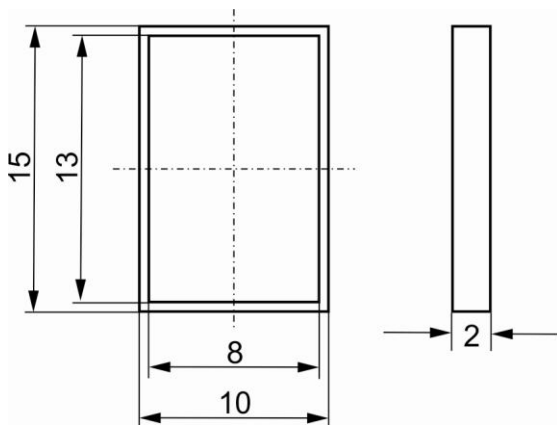
Ενώ στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διαστάσεις των νομών, μαζί με τη βάση και τα περιθώρια κοπής όπως προκύπτουν από τις εικόνες που δημιουργήθηκαν.

Νομός	Πλάτος	Μήκος
Χανίων	52,49	82,46
Ρεθύμνου	52,49	82,46
Ηρακλείου	51,47	86,69
Λασιθίου	36,23	95,25

Πίνακας 4.18: διαστάσεις νομών

Παρατηρείται ότι ο πιο μεγάλος σε μήκος νομός είναι του Λασιθίου ενώ σε πλάτος των Χανίων και Ρεθύμνου.

Λαμβάνοντας υπόψη κάποια απαραίτητα περιθώρια στο μπλοκ του υλικού ώστε να στερεωθεί στη μηχανή και να είναι ασφαλής και σωστή η κοπή αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί ένα τμήμα του μπλοκ 8 cm πλάτος και 13 cm μήκος.



Σχέδιο 4.19 : σχέδιο δοκιμίου με διαστάσεις

Για να γίνει λοιπόν σωστή μεγέθυνση επιλέχθηκε το μήκος του νομού Λασιθίου και προσαρμόστηκε στα 130 mm του μπλοκ υλικού με τον παρακάτω τρόπο. Υπολογίζεται ο λόγος  $130/95,25 = 1,36$  και με αυτό τον αριθμό πολλαπλασιάζουμε όλες τις διαστάσεις όλων των νομών και προκύπτει ο πίνακας

Νομός	Πλάτος	Μήκος
Χανίων	71,386	112,145
Ρεθύμνου	71,386	112,145
Ηρακλείου	69,999	117,893
Λασιθίου	49,27	130

Πίνακας 4.20 : μεγεθυμένες κατάλληλα διαστάσεις νομών

Η αντιστοίχιση των παραπάνω σχέσεων διαστάσεων σε κλίμακα είναι 1 : 8400

### Ύψος μοντέλων

Για το ύψος των μοντέλων και για να είναι πιο εμφανές το ανάγλυφο επιλέχθηκε να γίνει κλιμάκωση με βάση το διαθέσιμο ύψος – πάχος του μπλοκ υλικού που χρησιμοποιήθηκε. Από το σχέδιο 4.19 φαίνεται ότι το πάχος του υλικού είναι 20 mm .

Αφού κάθε νομός της Κρήτης σχεδιάζεται σε ξεχωριστό αρχείο και επειδή κατά τη φόρτωση του αντίστοιχου heightmap ζητείται να εισαχθεί το μέγιστο ύψος και ανάλογα προσαρμόζονται και τα υπόλοιπα υψόμετρα είναι απαραίτητος ο καθορισμός ενός λόγου ανάμεσα στις υψηλότερες κορυφές κάθε νομού ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή στο νησί.

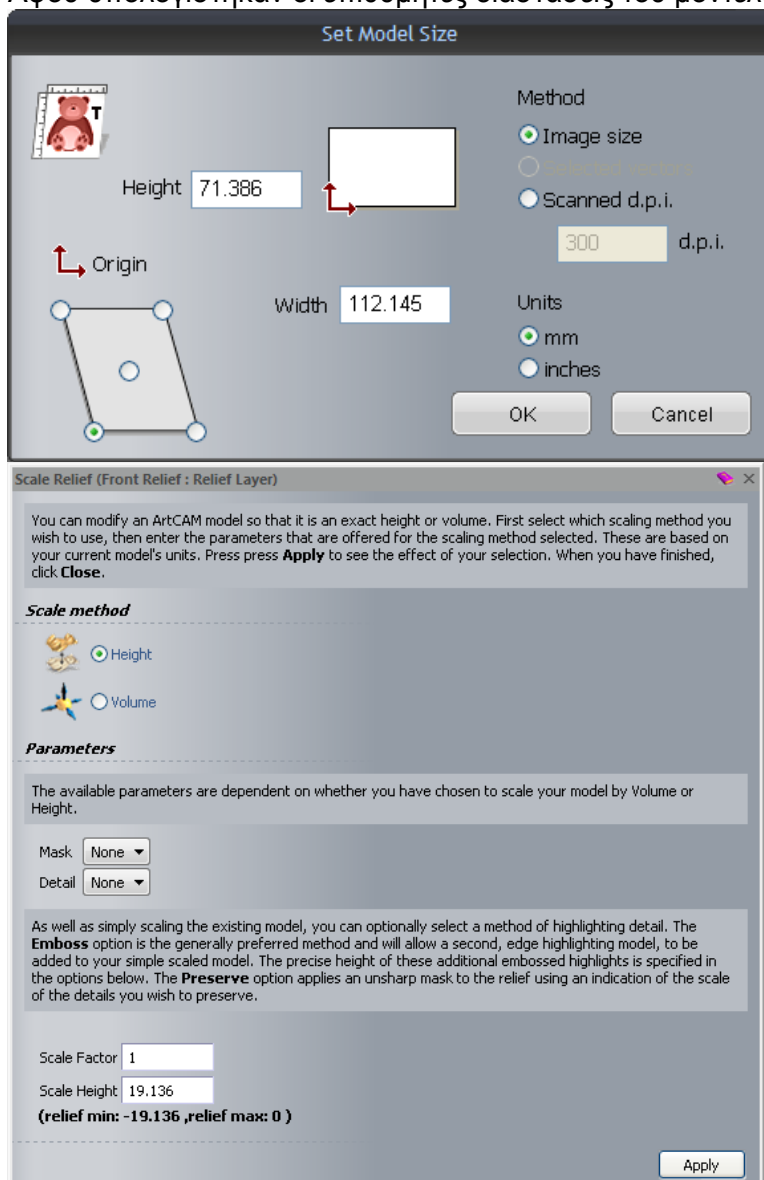
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα συγκεκριμένα ψηλότερα σημεία κάθε νομού και τα προσαρμοσμένα σχετικά ύψη που επιλέχθηκαν για το τρισδιάστατο μοντέλο.

Νομός	Χανίων	Ρεθύμνου	Ηρακλείου	Λασιθίου
Ψηλότερο σημείο(m)	2.453	2.456	2.053	2148
Προσαρμοσμένο ύψος μοντέλου(mm)	19	19,02	15,92	16,66

Πίνακας 4.21: ύψη μοντέλων

Τα παραπάνω ύψη είναι συνολικά μαζί με τη βάση κάθε δοκιμίου η οποία έχει ύψος 5 mm. Η κλιμάκωση που επιλέχθηκε κατά ύψος αντιστοιχεί στον πολλαπλασιασμό με ένα παράγοντα 4,6 επί το ύψος.

Αφού υπολογίστηκαν οι επιθυμητές διαστάσεις του μοντέλου επιλέγεται **Model→Set Size**



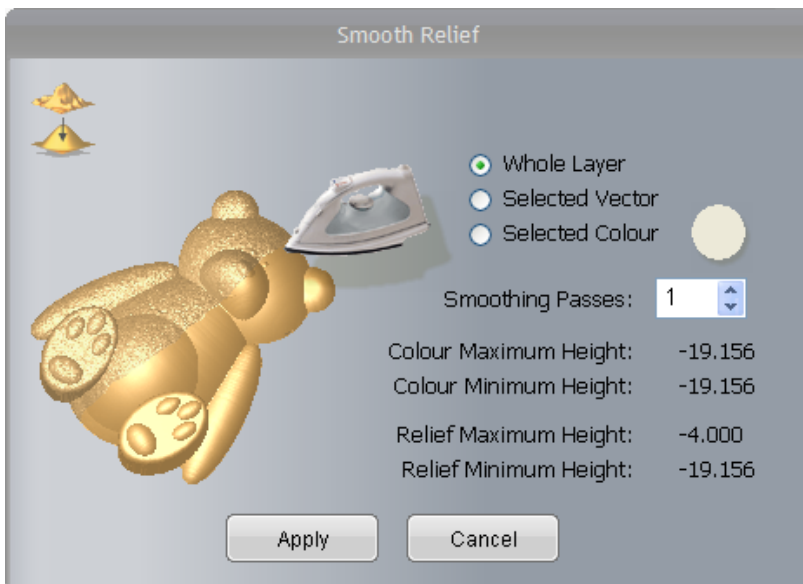
Σχέδιο 4.22: παράθυρα καθορισμού διαστάσεων μοντέλου και κλιμάκωσης ως προς τον άξονα Z

## 4.5.2 Επεξεργασία τρισδιάστατου μοντέλου

### Λείανση (*smooth*)

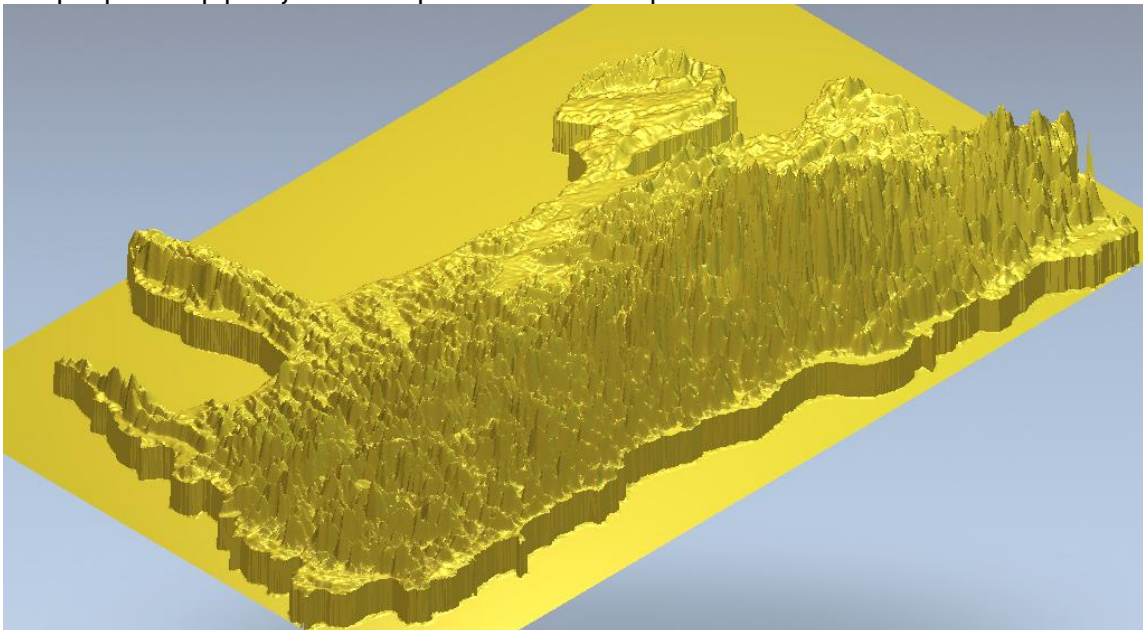
Αφού έχει δημιουργηθεί το ανάγλυφο του μοντέλου επιλέγεται να λειανθεί με το εργαλείο *smooth relief* προκειμένου να εξομαλυνθούν οι γωνίες στο ανάγλυφο και να γίνει πιο ομαλό στον άξονα Z.

Με την εντολή **Relief→ Smooth** εμφανίζεται ο παρακάτω πίνακας



Σχέδιο 4.23 : λείανση ανάγλυφου

Επιλέγεται να γίνει ένα πέρασμα (smoothing passes) ώστε να μην αλλοιωθεί πολύ το ανάγλυφο και εμφανίζεται το παρακάτω αποτέλεσμα



Σχέδιο 4.23 : ανάγλυφο μετά από λείανση

Παρατηρείται η διαφορά στους όγκους και στα τελειώματά τους σε σχέση με το αρχικό ανάγλυφο της [Σχεδίου 4.17](#) i. Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι η λείανση του ανάγλυφου προκαλεί μια σχετικά μικρή μείωση στο ύψος του ανάγλυφου. Συνεπώς η λείανση του ανάγλυφου πρέπει να πραγματοποιηθεί πριν την κλιμάκωση στον άξονα Z (κεφάλαιο 4.5.1).

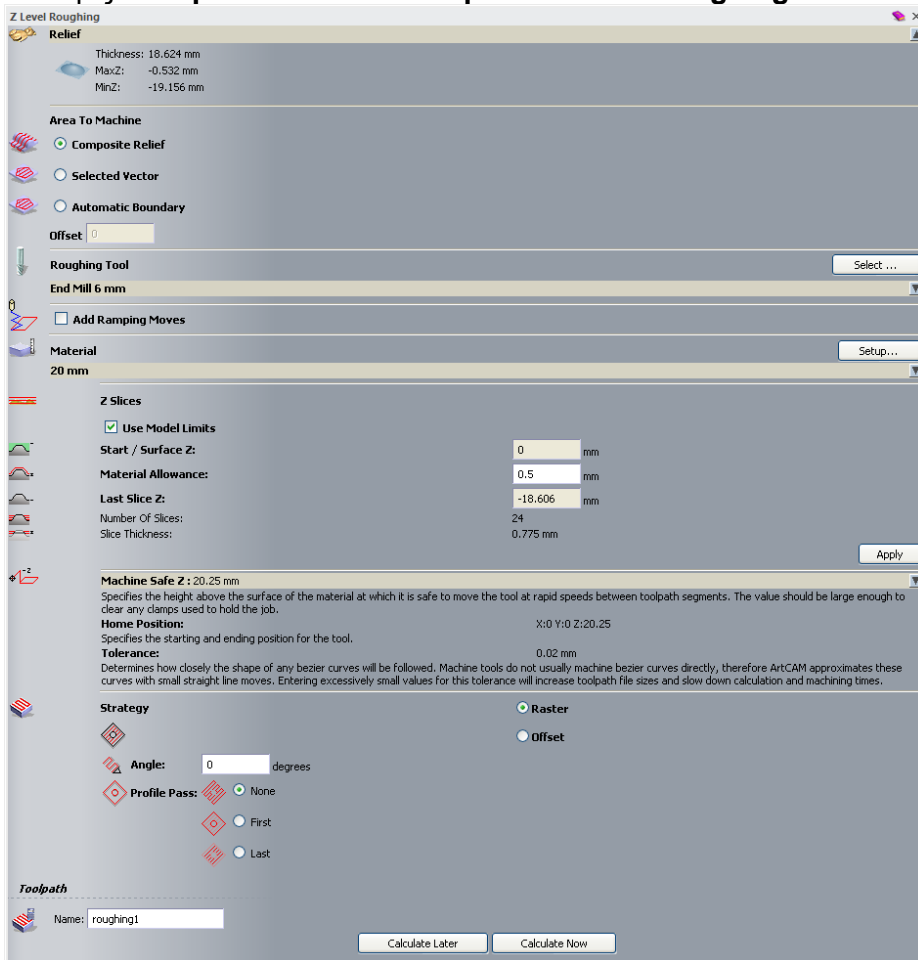
### 4.5.3 Δημιουργία toolpaths

Τέλος και αφού έχει τελειώσει η επεξεργασία του ανάγλυφου δημιουργούνται τα αντίστοιχα toolpaths, δηλαδή οι διαδρομές που θα ακολουθήσει το εργαλείο κατά την κοπή του μοντέλου.

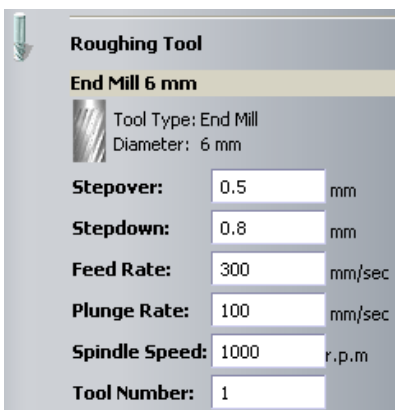
Σύμφωνα με τις στρατηγικές κοπής ([κεφάλαιο 3.15](#)) επιλέχθηκε η δημιουργία δύο διαφορετικών toolpaths ένα για την αφαίρεση του περισσότερου υλικού με τη χρήση μεγαλύτερου εργαλείου και ένα για το φινιρίσμα με τη χρήση μικρότερου εργαλείου.

## Roughing toolpath ()

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα το toolpath αυτό προγραμματίζεται για να απαλείψει το μεγαλύτερο μέρος του υλικού που θα κοπεί και δημιουργείται με τις παρακάτω εντολές και επιλογές. **Toolpaths→New 3d toolpath→ Z level roughing**



Σχέδιο 4.24 : δημιουργία roughing toolpath



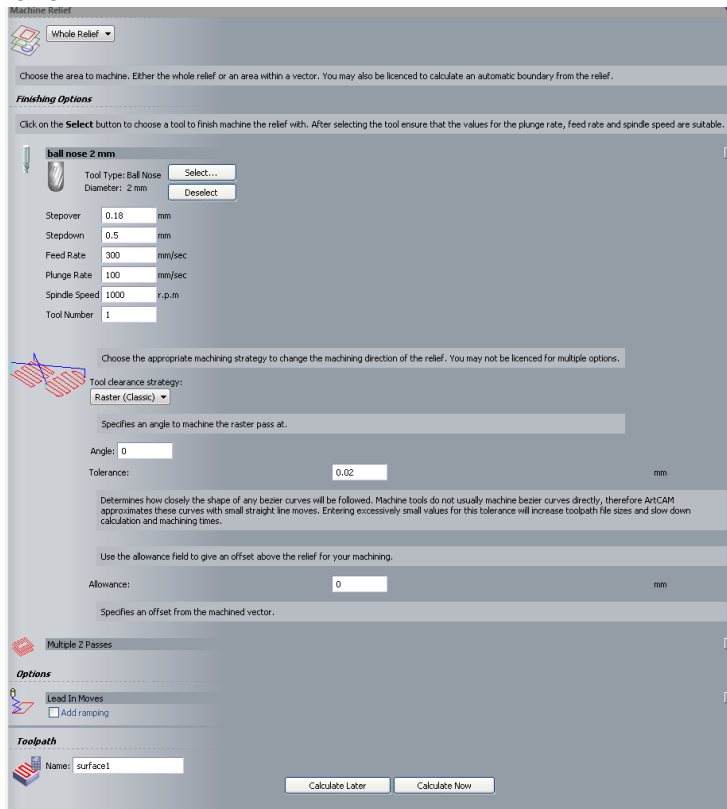
Σχέδιο 4.25 : ρυθμίσεις εργαλείου

Από την εικόνα 4.22 φαίνεται ότι επιλέχθηκε να κοπεί όλη η επιφάνεια ενώ το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί είναι τύπου end mill 6mm με τις παρακάτω ρυθμίσεις κοπής (για ορισμούς στο [κεφάλαιο 5.2](#))

Ακόμη καθορίστηκε το πάχος του υλικού του δοκιμίου σε 20 mm και ορίστηκε η αρχή των αξόνων και της διαδικασίας κοπής στο πάνω μέρος του δοκιμίου. Στη συνέχεια καθορίζονται οι «φέτες» κοπής (slices) και συγκεκριμένα το πάχος τους και μέχρι ποιο βάθος θα κινηθεί η κοπή. Τέλος επιλέχθηκε να ακολουθηθεί στρατηγική κοπής τύπου raster και αφού ονομάστηκε (roughing1) το toolpath υπολογίστηκε και αποθηκεύτηκε.

## Surface toolpath (φινίρισμα)

Στη συνέχεια δημιουργείται το toolpath που θα κόψει το δοκίμιο στην τελική του μορφή και θα χαράξει τις λεπτομέρειες. Με τις εντολές **Toolpaths**→**New 3d toolpath**→**Machine relief**



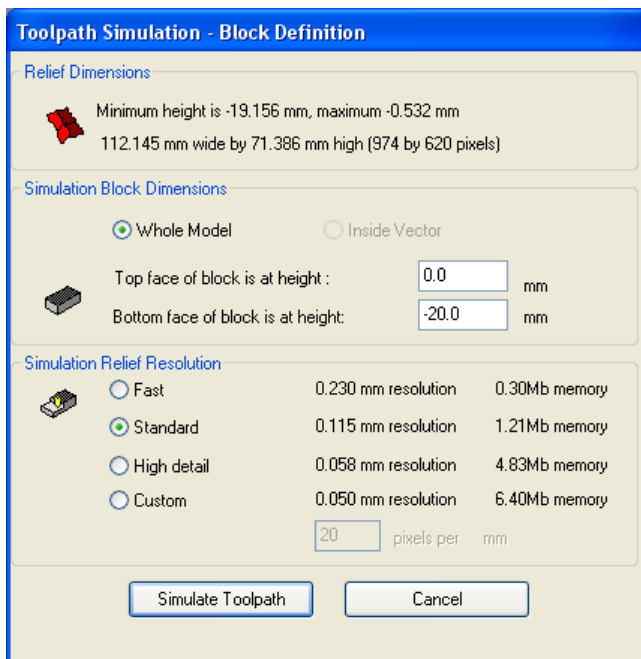
Σχέδιο 4.26 : surface machine toolpath

Από την παραπάνω εικόνα φαίνεται ότι επιλέχθηκε εργαλείο τύπου ball nose 2mm με στρατηγική κοπής raster classic και ονομάστηκε surface1, υπολογίστηκε και αποθηκεύτηκε.

### 4.5.4 Προσομοίωση κοπής

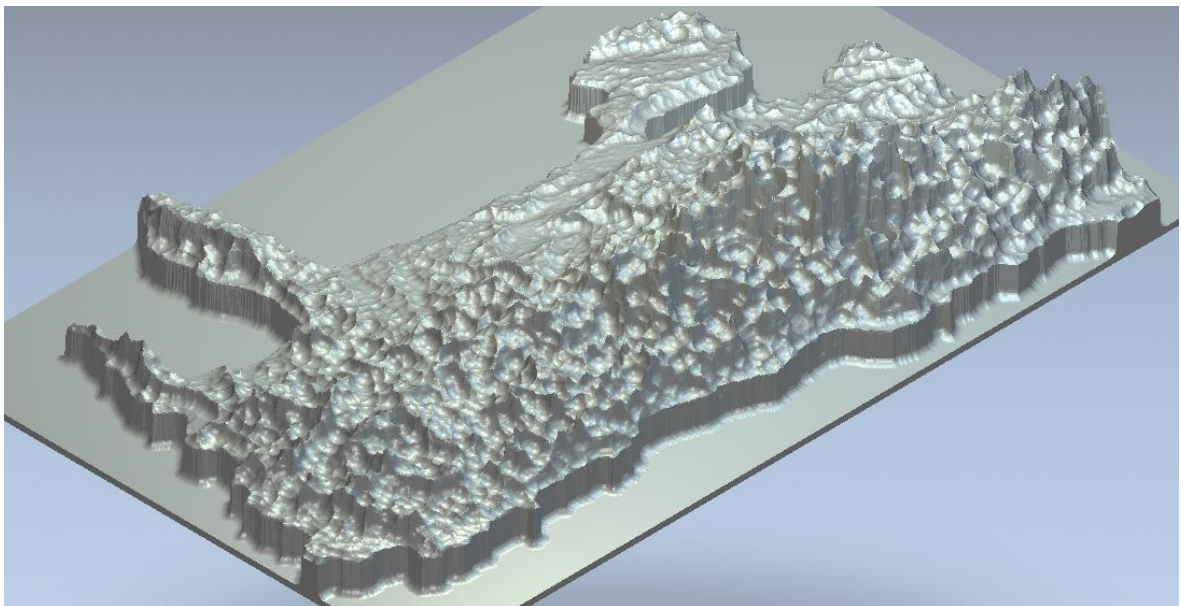
Αφού έχουν καθοριστεί και υπολογιστεί τα toolpaths το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης και εμφάνισης του αποτελέσματος της κοπής με λεπτομερή εμφάνιση των κινήσεων του εργαλείου κατά την κοπή. Από το μενού στην περιοχή 1 επιλέγονται οι εντολές **Toolpaths**→**Simulation**→**Simulate all toolpaths**

Παρατηρείται η δυνατότητα επιλογής της ανάλυσης της προσομοίωσης η οποία επηρεάζει ανάλογα το χρόνο που διαρκεί η προσομοίωση και τη μνήμη που απαιτείται από τον υπολογιστή



Σχέδιο 4.27 : επιλογές προσομοίωσης

Το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης για standard ανάλυση φαίνεται παρακάτω



Σχέδιο 4.28 : προσομοιωμένο μοντέλο

Παρατηρείται επίσης αλλαγή στη μορφή του μοντέλου η οποία οφείλεται στη μορφολογία (μέγεθος, τύπος ) του εργαλείου.

#### 4.6 Σχεδιασμός και υπολογισμός απαραίτητων toolpaths

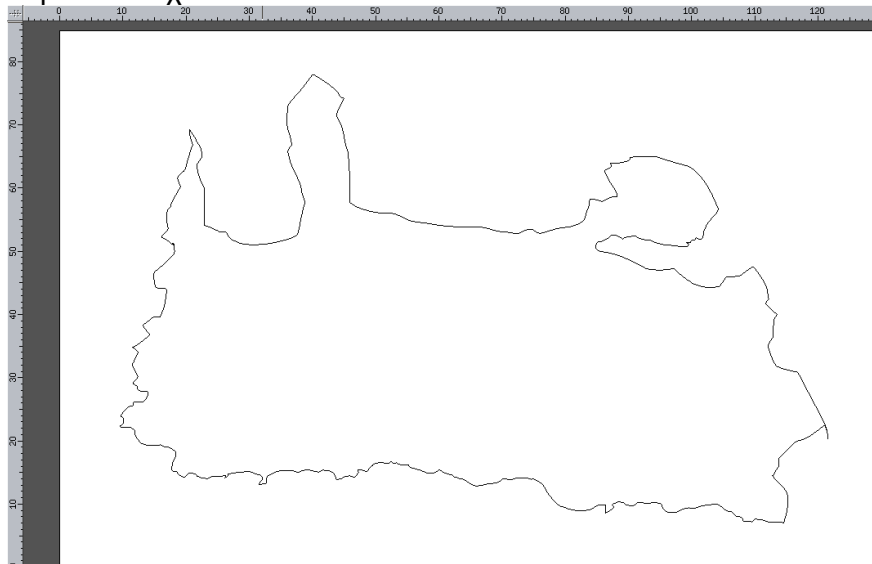
Τέλος και αφού έχει τελειώσει η επεξεργασία του ανάγλυφου δημιουργούνται τα αντίστοιχα toolpaths, δηλαδή οι διαδρομές που θα ακολουθήσει το εργαλείο κατά την κοπή του μοντέλου.

Σύμφωνα με τις στρατηγικές κοπής ( κεφάλαιο 2.10) επιλέχθηκε η δημιουργία δύο διαφορετικών toolpaths ένα για την αφαίρεση του περισσότερου υλικού με τη χρήση μεγαλύτερου εργαλείου και ένα για το φινίρισμα με τη χρήση μικρότερου εργαλείου.

Επιπλέον αυτών και για να ολοκληρωθεί σωστά η κοπή και μετά από την κατεργασία δοκιμαστικού δοκιμίου σε πλαστικό προέκυψαν οι παρακάτω ανάγκες για τη δημιουργία πρόσθετων ανάγλυφων έτσι ώστε να διευκολυνθεί η κοπή και να μην υπάρχουν αστοχίες ή φθορές στο εργαλείο κοπής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται σταδιακά και με σειρά κοπής τα απαραίτητα toolpaths για την κοπή του δοκιμίου.

##### 1.Βοηθητικό ανάγλυφο περιγράμματος

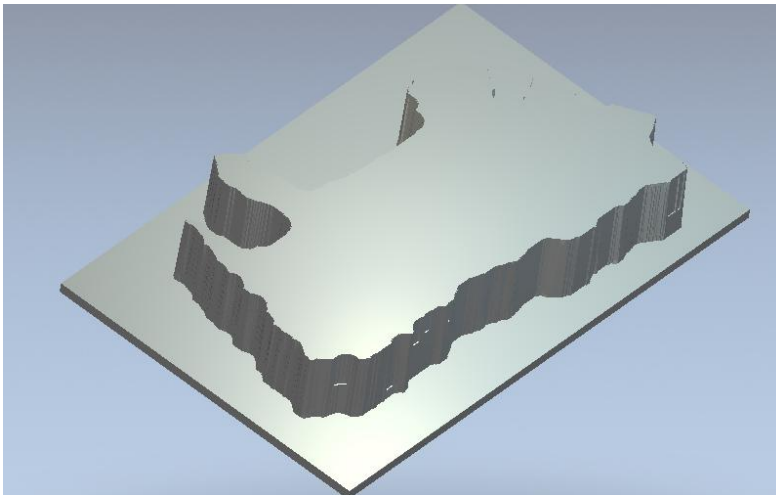
Για να απομακρυνθεί η πλειοψηφία του άχρηστου υλικού και να διευκολυνθεί η κοπή δημιουργείται ένα περίγραμμα σε κάθε νομό το οποίο κόβεται πριν προχωρήσει η λεπτομερής κοπή του σχεδίου του νομού με τα υψόμετρα. Συγκεκριμένα για το παράδειγμα του νομού χανίων επιλέχτηκε να κοπεί ένα μοντέλο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο



Σχέδιο 4.29 : κεντράρισμα πλαισίου

Οι διαστάσεις στο παραπάνω μοντέλο έχουν επιλεγεί στα 13 cm μήκος και 8 cm πλάτος έτσι ώστε να υπάρχουν διαθέσιμα περιθώρια να δεθεί το δοκίμιο στη φραίζα ενώ το μέγεθος του νομού παίρνει διαστάσεις σύμφωνα με τις αναλογίες των νομών και είναι 71,38 πλάτος και 112,145 μήκος (κεφάλαιο 4.5.1).

Ακολουθεί το 3σδιάστατο σχέδιο του μοντέλου όπως προκύπτει από την προσομοίωση.

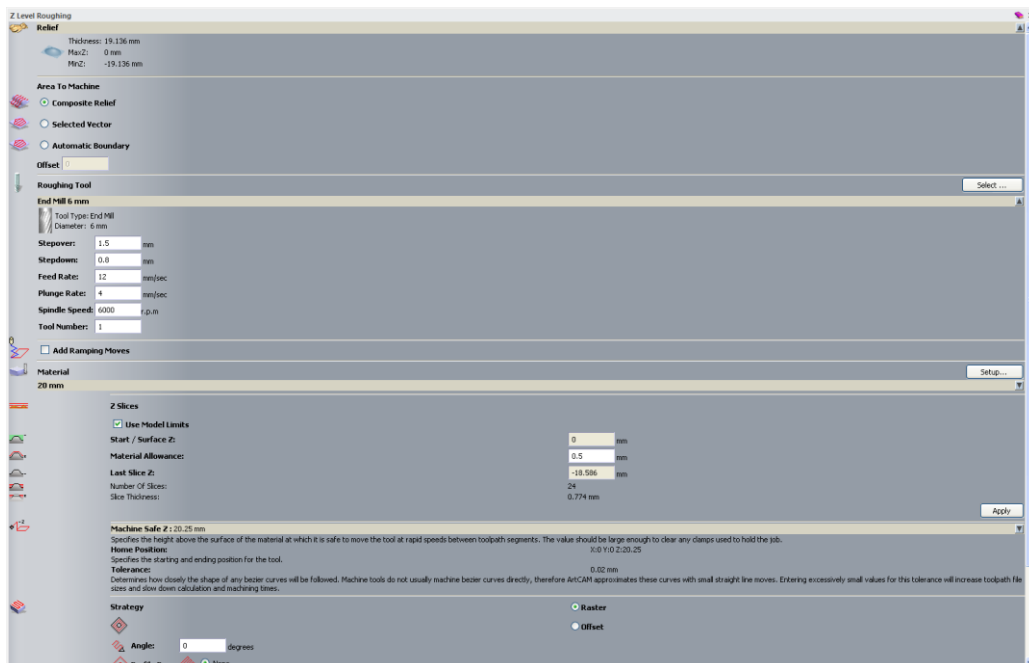


Σχέδιο 4.30 : προσομοιωμένο 3σδιάστατο πλαίσιο νομού Χανίων

Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι μετά την κοπή του 1<sup>ου</sup> δοκιμίου δεν ακολουθήθηκε η ίδια στρατηγική και στα υπόλοιπα 3 καθώς το ανάγλυφο περιγράμματος κρίθηκε περιττό και χρονοβόρο.

## 2.Εκχόνδριση δοκιμίου (Roughing toolpath)

Αφού αφαιρεθεί το υλικό γύρω από το νομό επιλέγεται ο σχεδιασμός ενός roughing toolpath το οποίο πραγματοποιεί εκχόνδριση της επιφάνειας αφαιρώντας ένα μεγάλο μέρος υλικού. Για την κοπή αυτή επιλέχθηκε η χρήση εργαλείου endmill 6 mm με αρκετά μεγάλες παραμέτρους κοπής stepdown και stepover. Στη διάρκεια αυτού του βήματος δημιουργούνται στην ουσία υψομετρικές καμπύλες που αντιπροσωπεύουν τα βουνά στο χάρτη. Το toolpath αυτό δημιουργείται με τις παρακάτω εντολές και επιλογές.  
**Toolpaths**→ **New 3d toolpath**→ **Z level roughing**



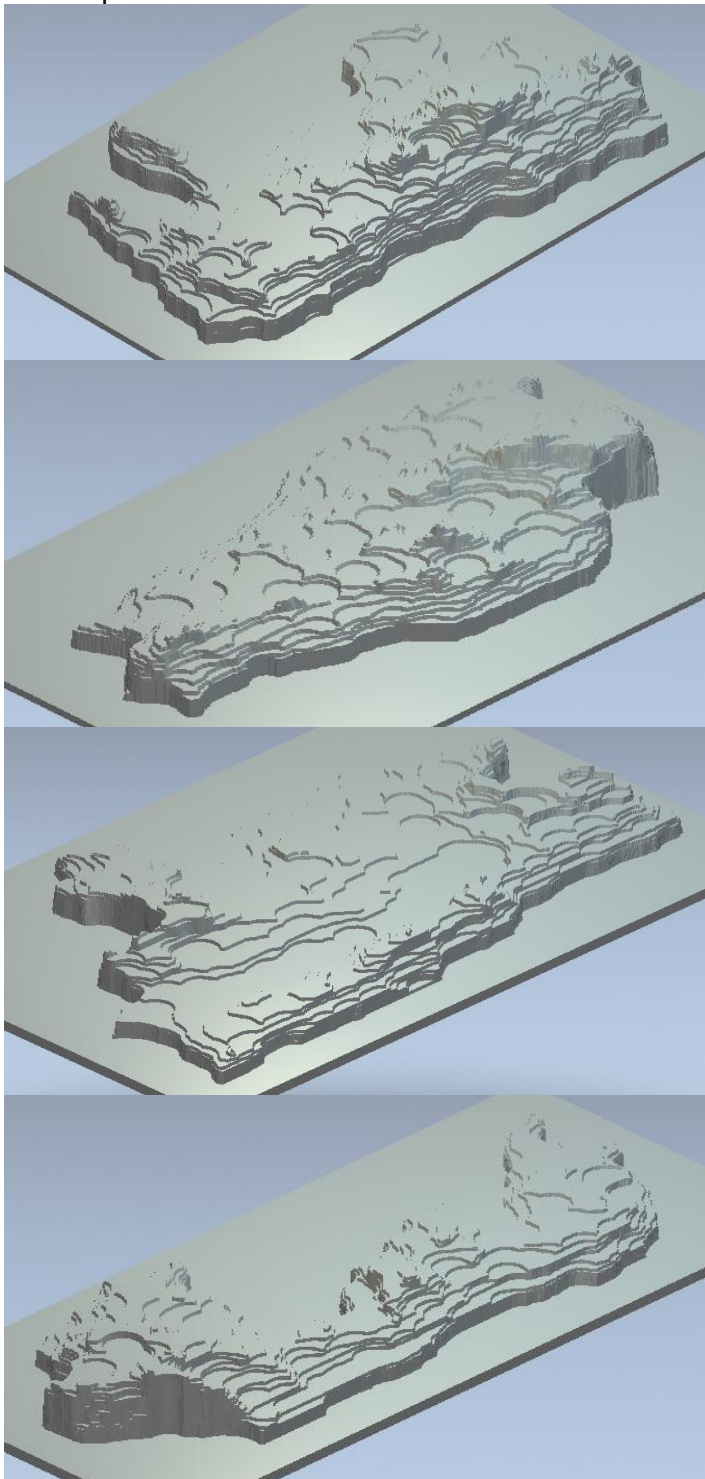
Σχέδιο 4.31 : δημιουργία roughing toolpath

Από το σχέδιο 4.31 φαίνεται ότι επιλέχθηκε να κοπεί όλη η επιφάνεια ενώ το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί είναι τύπου end mill 6mm με τις παρακάτω ρυθμίσεις κοπής (για ορισμούς στο κεφάλαιο 5.2)

Ακόμη καθορίστηκε το πάχος του υλικού του δοκιμίου σε 20 mm και ορίστηκε η αρχή των αξόνων και της διαδικασίας κοπής στο πάνω μέρος του δοκιμίου. Στη συνέχεια καθορίζονται οι «φέτες» κοπής (slices) και συγκεκριμένα το πάχος τους και μέχρι ποιο βάθος θα κινηθεί η κοπή.

Τέλος επιλέχθηκε να ακολουθηθεί στρατηγική κοπής τύπου raster και αφού ονομάστηκε (roughing1) το toolpath υπολογίστηκε και αποθηκεύτηκε.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα προσομοιωμένα σχέδια του εκχονδρισμένου δοκιμίου για κάθε νομό.

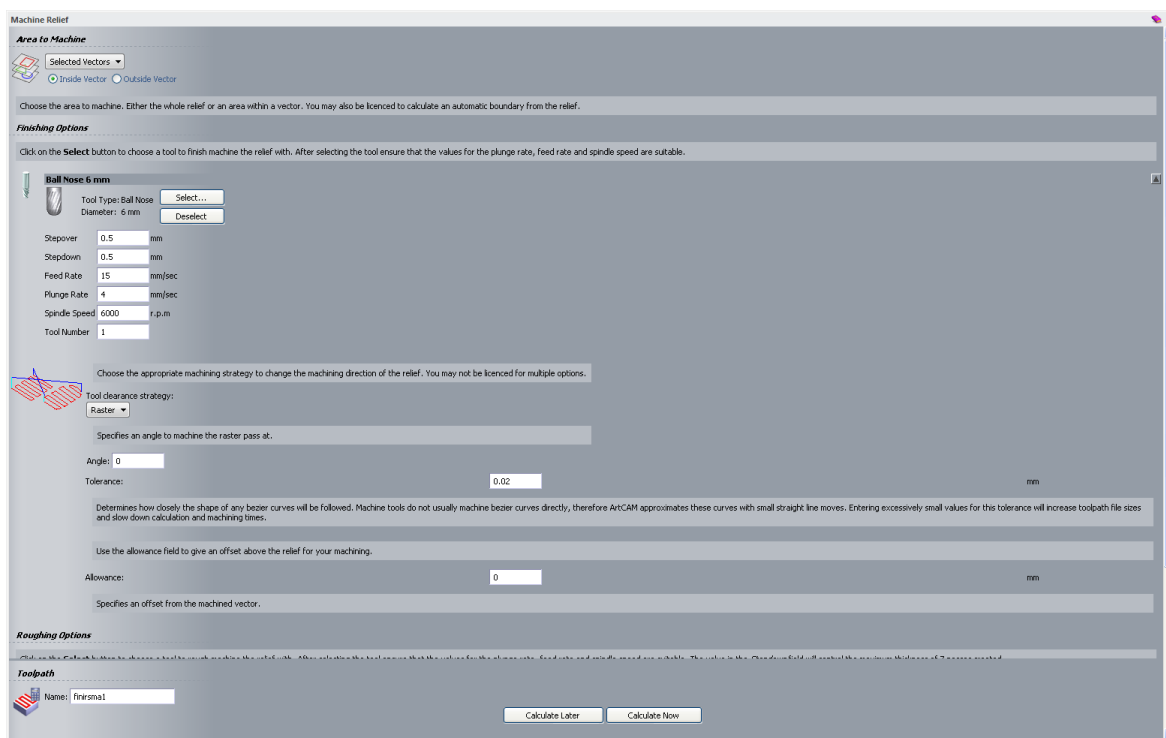


Σχήμα 4.32 : προσομοίωση εκχόνδρισης δοκιμίων για όλους τους νομούς – από πάνω προς τα κάτω Χανίων, Ρεθύμνου, Ηρακλείου, Λασιθίου

### 3. Φινίρισμα (Surface toolpath)

Στη συνέχεια δημιουργείται το toolpath που θα κόψει το δοκίμιο στην τελική του μορφή και θα χαράξει τις λεπτομέρειες. Το νέο αυτό toolpath (machine) ακολουθεί τις ήδη κομμένες καμπύλες και με συνεχόμενες αυξομειώσεις στο βάθος κοπής λειαίνει και διαμορφώνει λεπτομερώς το νομό.

Με τις εντολές **Toolpaths**→ **New 3d toolpath**→ **Machine relief**

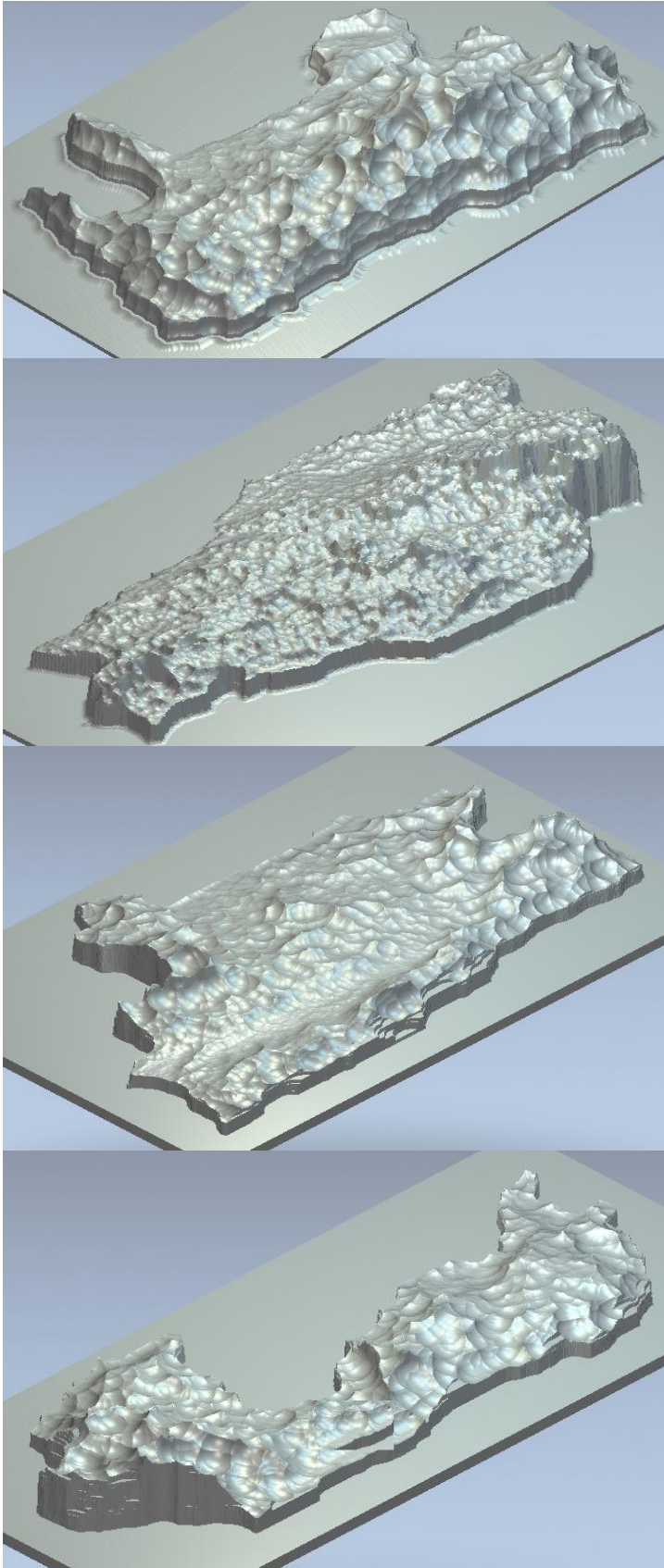


Σχέδιο 4.33 : surface machine toolpath

Από την παραπάνω εικόνα φαίνεται ότι επιλέχθηκε εργαλείο τύπου ball nose 6 mm με στρατηγική κοπής raster classic και ονομάστηκε surface1, υπολογίστηκε και αποθηκεύτηκε.

Η κατεργασία αυτή επιλέχθηκε να γίνει στο συγκεκριμένο διάνυσμα (vector) του νομού και όχι σε όλο το δοκίμιο από άκρη σε άκρη. Η επιλογή αυτή έγινε καθώς η κάτω επιφάνεια δε χρειάζεται περαιτέρω λείανση και έτσι εξοικονομείται χρόνος στην κατεργασία.

Ακολουθούν οι προσομοιωμένες εικόνες για κάθε νομό



Σχήμα 4.34 : προσομοίωση φινιρισμένων δοκιμίων για όλους τους νομούς – από πάνω προς τα κάτω Χανίων, Ρεθύμνου, Ηρακλείου, Λασιθίου

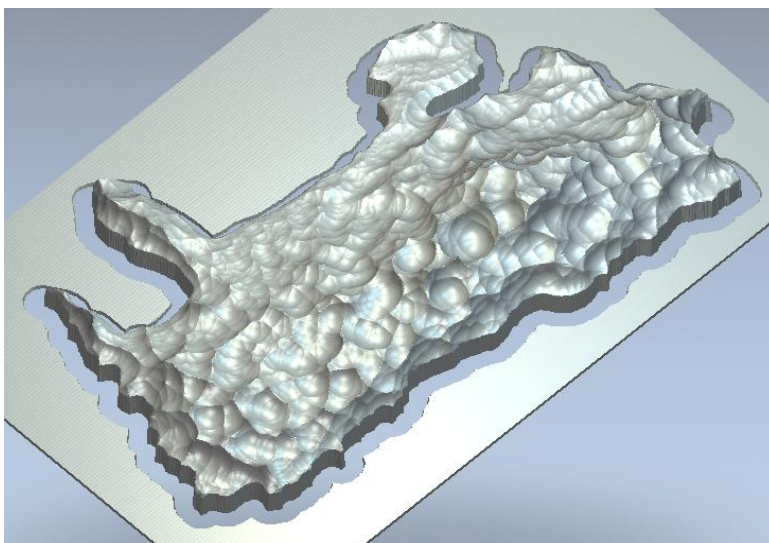
#### 4.Κόψιμο νομού σε βάθος (3d cutter tool)

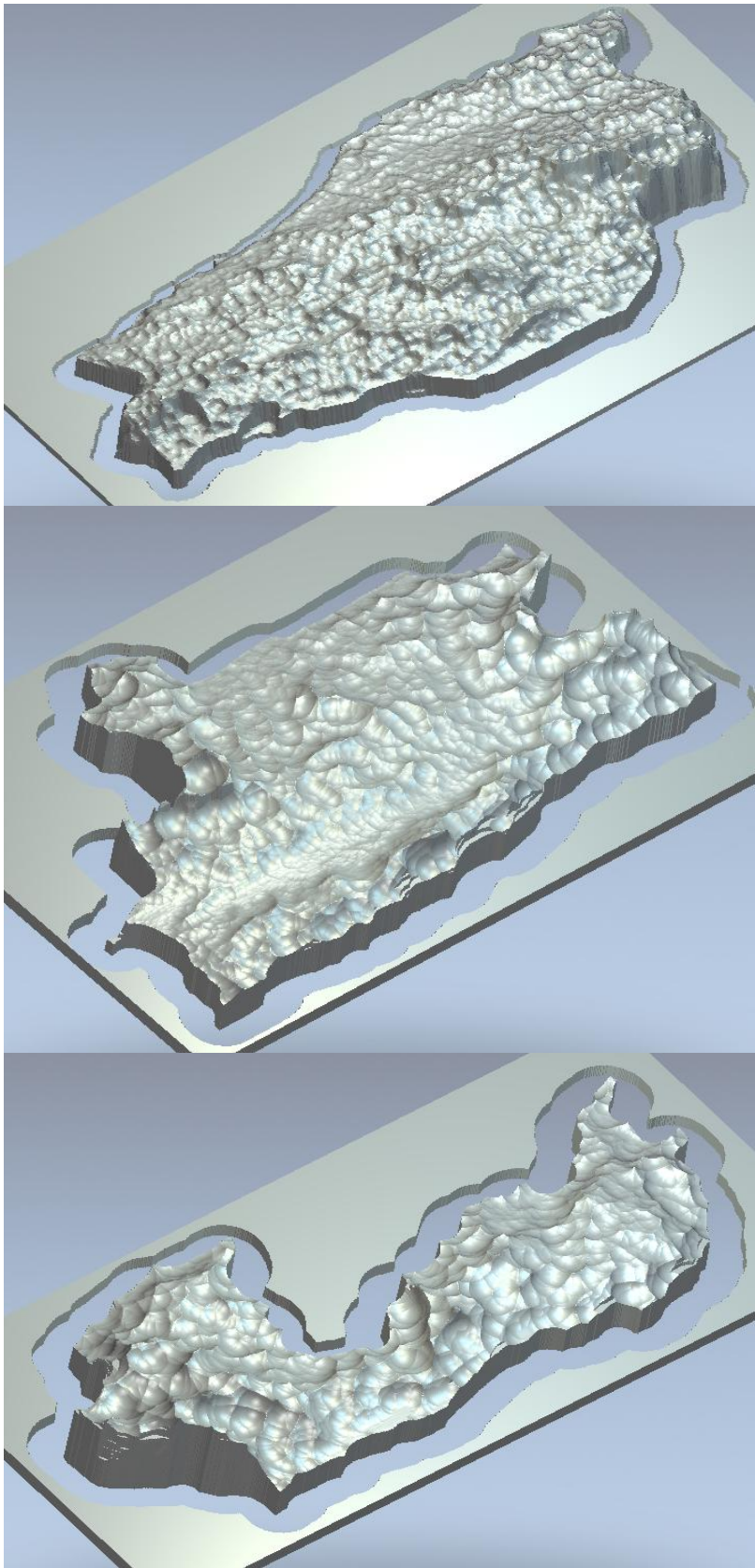
Το λογισμικό artCam Pro 2012 δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει ένα ανάγλυφο και να το κόψει σε όλο του το βάθος με τη δημιουργία ενός toolpath 3d cut out. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται ένα toolpath που αφαιρεί όλο το άχρηστο υλικό μέχρι τη βάση. Μια τέτοια επεξεργασία μπορεί να γίνει σε όλο το σύνθετο ανάγλυφο ή σε κάποιο επιλεγμένο διάνυσμα (vector). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε το κλειστό διάνυσμα που αντιστοιχεί στο περίγραμμα του εκάστοτε νομού και επιλέχθηκε τελικό βάθος κοπής τα 21 mm ώστε να αποκοπεί ολοκληρωτικά ο νομός από την αλουμινένια βάση. Ακόμη καθορίστηκε όπως φαίνεται παρακάτω η κοπή εξωτερικά από το επιλεγμένο διάνυσμα ώστε να διατηρηθούν οι διαστάσεις του νομού. Παρακάτω φαίνονται οι επιλογές που έγιναν για τη δημιουργία του toolpath στο νομό Χανίων. Με τις εντολές **Toolpaths**→ **New 3d toolpath**→ **Cut-Out (Profile)**



Σχήμα 4.35 : παράθυρο δημιουργίας 3d cut out toolpath και εισαγωγή μεταβλητών κοπής

Στη συνέχεια προσομοιώνεται το κόψιμο των τεσσάρων δοκιμίων





Σχήμα 4.36 : προσομοίωση αποκομμένων δοκιμίων για όλους τους νομούς – από πάνω προς τα κάτω Χανίων, Ρεθύμνου, Ηρακλείου, Λασιθίου

Τέλος ακολουθεί ένας πίνακας για την κοπή του κάθε νομού που δείχνει τις τιμές των μεταβλητών κοπής που επιλέχθηκαν, τα αντίστοιχα εργαλεία και τους απαιτούμενους χρόνους κοπής.

Χανιά

toolpath	1.area clearance	2. rough εκχόνδριση	3. φινίρισμα	4. 3d cut κόψιμο
Μεταβλητές				
Εργαλείο	Endmill 6mm	Endmill 6mm	Ball nose 6mm	Endmill 6mm
Stepover (mm)	0.5	1.5	0.5	0.5
Stepdown (mm)	0.5	0.8	0.5	0.3
Feed rate (mm/min)	300	360	180-300	180-300
Plunge rate (mm/min)	180	120	100	100
Spindle speed (r.p.m.)	5000	5500	6000	6000
Χρόνος κατεργασίας (min)	260	378	80	65
Συνολικός χρόνος (min)	783			

Πίνακας 4.37 : στοιχεία κατεργασίας νομού Χανίων

Ρέθυμνο

toolpath	1. rough εκχόνδριση	2. φινίρισμα	3. 3d cut κόψιμο
Μεταβλητές			
Εργαλείο	Endmill 6mm	Ball nose 6mm	Endmill 6mm
Stepover (mm)	1.5	0.5	0.5
Stepdown (mm)	0.8	0.5	0.3
Feed rate (mm/min)	360	180-300	180-300
Plunge rate (mm/min)	180	100-180	100-180
Spindle speed (r.p.m.)	5500	6000	6000
Χρόνος κατεργασίας (min)	525	65	35
Συνολικός χρόνος (min)	625		

Πίνακας 4.38 : στοιχεία κατεργασίας νομού Ρεθύμνου

## Ηράκλειο

toolpath	1. rough εκχόνδριση	2. φινίρισμα	3. 3d cut κόψιμο
Μεταβλητές			
Εργαλείο	Endmill 6mm	Ball nose 6mm	Endmill 6mm
Stepover (mm)	1.5	0.5	0.5
Stepdown (mm)	0.8	0.5	0.3
Feed rate (mm/min)	360-400	180-300	180-300
Plunge rate (mm/min)	120-180	120-180	120-180
Spindle speed (r.p.m.)	6000	6000	6000
Χρόνος κατεργασίας (min)	525	65	25
Συνολικός χρόνος (min)	615		

Πίνακας 4.39 : στοιχεία κατεργασίας νομού Ηρακλείου

## Λασιθί

toolpath	1. rough εκχόνδριση	2. φινίρισμα	3. 3d cut κόψιμο
Μεταβλητές			
Εργαλείο	Endmill 6mm	Ball nose 6mm	Endmill 6mm
Stepover (mm)	1.5	0.5	0.5
Stepdown (mm)	0.8	0.5	0.3
Feed rate (mm/min)	360-400	180-300	180-300
Plunge rate (mm/min)	120-180	120-180	120-180
Spindle speed (r.p.m.)	6000	6000	6000
Χρόνος κατεργασίας (min)	326	54	20
Συνολικός χρόνος (min)	400		

Πίνακας 4.40 : στοιχεία κατεργασίας νομού Λασιθίου

### Παρατηρήσεις

1. Στους παραπάνω πίνακες οι ταχύτητες κυμαίνονται μέσα σε κάποια πλαίσια αλλά δεν είναι σταθερές και μεταβάλλονται χειροκίνητα και ποσοστιαία από τους διακόπτες της φραιζας ανάλογα με το σημείο κοπής, την κατάσταση του εργαλείου και άλλους παράγοντες.
2. Τα όρια για τις ταχύτητες προκύπτουν από τους παρακάτω τύπους που τις συνδέει με τη μορφολογία του εργαλείου

- Η πρόωση  $f$  ανά στροφή του κοπτικού εργαλείου και η πρόωση ανά οδόντα  $f_z$ , δηλαδή το μήκος της πρόωσης μεταξύ δύο επιφανειών κοπής που η μια δημιουργείται αμέσως μετά την άλλη συνδέονται με την παρακάτω σχέση. Εάν  $z$  είναι ο αριθμός των οδόντων του κοπτικού εργαλείου τότε:

- Η ταχύτητα κοπής  $v_c$

- 
- όπου  $D$  η εξωτερική διάμετρος του κοπτικού εργαλείου και  $n$  ο αριθμός των στροφών του.
  - Το βάθος (ή πλάτος) κοπής  $t$ , δηλαδή το μήκος της εισόδου της κύριας κόψης του εργαλείου στο κατεργασμένο τεμάχιο. Στο περιφερικό φραιζάρισμα αντιστοιχεί στο πλάτος κοπής ενώ στο μετωπικό στο αξονικό βάθος κοπής.

3. Ο χρόνος κοπής επηρεάζεται από όλες τις παραμέτρους κοπής.

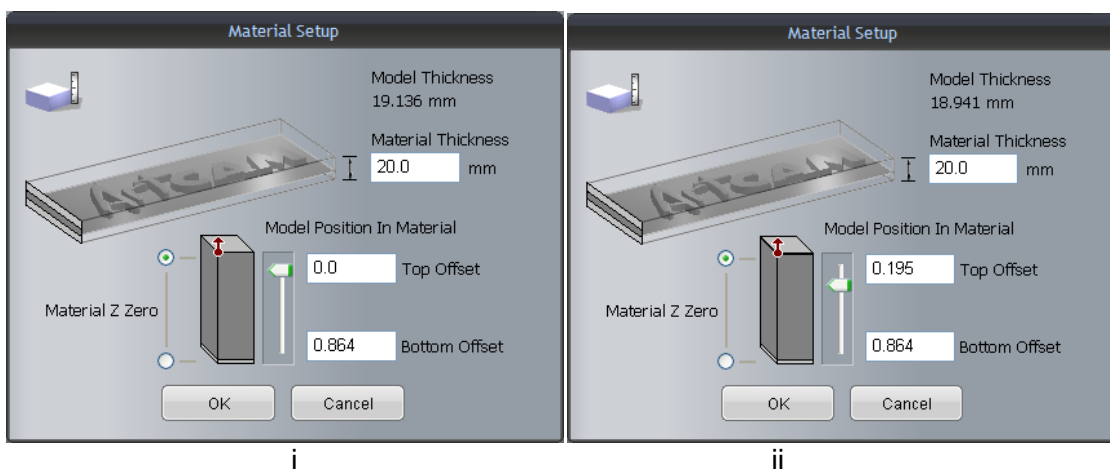
Συγκεκριμένα οι μεταβλητές *steeperover* και *steeperdown* είναι αντιστρόφως ανάλογες του χρόνου κατεργασίας. Δηλαδή όσο μεγαλύτερες τιμές παίρνουν τόσο μειώνεται ο χρόνος κοπής αλλά μειώνεται συγχρόνως και η ποιότητα της προκύπτουσας επιφάνειας (τραχύτητα, οπτικό αποτέλεσμα, κ.α.). Οι υπόλοιπες μεταβλητές, δηλαδή ταχύτητα πρόωσης βυθίσματος και περιστροφής ατράκτου επηρεάζουν αναλογικά το χρόνο κοπής. Όσο αυξάνονται δηλαδή μειώνεται ο χρόνος κατεργασίας.

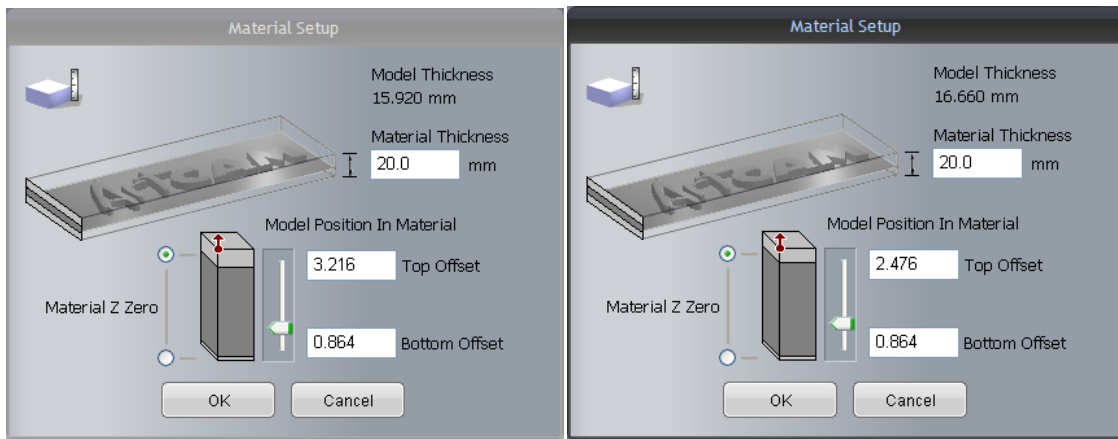
4. Παρατηρείται ότι ο χρόνος κοπής είναι διαφορετικός για κάθε νομό ως συνάρτηση των μεταβλητών κοπής όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αλλά και λόγω διαφορετικού μεγέθους του κάθε νομού σε όλες τις διαστάσεις (X, Y, Z).

5. Η σειρά κοπής των νομών παρουσιάζει και μια εμφανή μείωση του χρόνου κοπής ως αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης των σχεδίων.

### Ρυθμίσεις υλικού

Με τις εντολές **Toolpaths** → **Material setup** εμφανίζονται τα παρακάτω παράθυρα που ρυθμίζουν τη θέση του δοκιμίου μέσα στο μπλοκ του υλικού προς κατεργασία.





iii

iv

Σχήμα 4.41 : ρυθμίσεις υλικού για όλους τους νομούς – i. Χανίων, ii. Ρεθύμνου, iii. Ηρακλείου, iv. Λασιθίου

Από τις παραπάνω εικόνες για τη ρύθμιση του υλικού σε κάθε νομού φαίνεται η επιλογή του περιθωρίου στην κάτω μεριά του δοκιμίου με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ίδιο σε όλους τους νομούς ώστε οι βάσεις τους να έχουν το ίδιο ύψος. Ακόμη από το περιθώριο στο επάνω μέρος του δοκιμίου φαίνεται η διαφορά στο υψόμετρο των τεσσάρων νομών.

## 4.7 Κοπή στη CNC

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά με φωτογραφίες και σχόλια ολόκληρη η διαδικασία της κοπής στο εργαστήριο.

### 4.7.1 Υλικό κατεργασίας

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κοπή των δοκιμών είναι κράμα αλουμινίου με τύπο 5083 – H111.

Το αλουμίνιο 5083 είναι γνωστό για την εξαιρετική απόδοση του σε ακραία περιβάλλοντα. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στο θαλασσινό νερό και σε βιομηχανικό χημικό περιβάλλον. Το κράμα 5083 διατηρεί επίσης εξαιρετική αντοχή μετά από συγκόλληση. Έχει την υψηλότερη αντοχή από τα υπόλοιπα μη θερμικά συμπεριφερόμενα κράματα, αλλά δεν συνιστάται για χρήση σε θερμοκρασίες άνω των 65 ° C. Συνήθως χρησιμοποιείται στη ναυπηγική, στην κατασκευή του αμαξώματος διαφόρων τύπων οχημάτων, στην κατασκευή περιβλημάτων για νάρκες και για δοχεία πιέσεων.

Element	% Present
Manganese (Mn)	0.40 - 1.00
Iron (Fe)	0.40 Typical
Copper (Cu)	0.10 Typical
Magnesium (Mg)	4.00 - 4.90
Silicon (Si)	0.40 Typical
Zinc (Zn)	0.25 Typical
Chromium (Cr)	0.05 - 0.25
Titanium (Ti)	0.15 Typical
Aluminium (Al)	Balance

Πίνακας 4.42 : χημική σύνθεση κράματος αλουμινίου 5083- H111

Property	Value
Density	2.65 g/cm <sup>3</sup>
Melting Point	570 °C
Thermal Expansion	25 x10 <sup>-6</sup> /K
Modulus of Elasticity	72 GPa
Thermal Conductivity	121 W/m.K
Electrical Resistivity	0.058 x10 <sup>-6</sup> Ω .m

Πίνακας 4.43 : φυσικές ιδιότητες κράματος αλουμινίου 5083- H111

Property	Value
Proof Stress	145 MPa
Tensile Strength	300 MPa
Elongation A5	23 %
Shear Strength	175 MPa
Hardness Vickers	75 HV

Πίνακας 4.44 : μηχανικές ιδιότητες κράματος αλουμινίου 5083- H111

## 4.7.2 Εξοπλισμός

Η φραιζα που διαθέτει το εργαστήριο και χρησιμοποιήθηκε για την κοπή των δοκιμών είναι η DMU 50 eco της εταιρίας DMG

Το κέντρο κατεργασίας γενικής χρήσης CNC DMU 50 eco είναι εξοπλισμένο με ισχυρή άτρακτο μέχρι 8.000 rpm, 83 Nm (40% ED), ισχύ άτράκτου 13 kW (40% ED) και 12 m/min γρήγορη μετατόπιση. Το περιστρεφόμενο τραπέζι του καθιστά εφικτή την κατασκευή πολύ σύνθετων τεμαχίων κατεργασίας. Η υδραυλική σύσφιξη εμπεριέχεται στο περιστρεφόμενο τραπέζι και η περιοχή περιστροφής μέχρι τις 115° (-5° / +110°) καθιστά εφικτές κλίσεις μέχρι 20°. Ο εργαλειοφορέας με 16 θέσεις και το αποσπώμενο χειριστήριο καθιστούν εφικτή την απλή και άνετη εκτέλεση των διαφόρων εργασιών φραιζαρίσματος. Η κατασκευή είναι με χυτοσίδηρο σκελετό, για μέγιστη ακρίβεια και ποιότητα επιφανειών. Το εργονομικό DMG SLIMline® Panel με οθόνη TFT 15", SIEMENS 810D powerline και λογισμικό ShopMill καθιστούν εφικτό τον απλό προγραμματισμό και την τρισδιάστατη προσομοίωση.



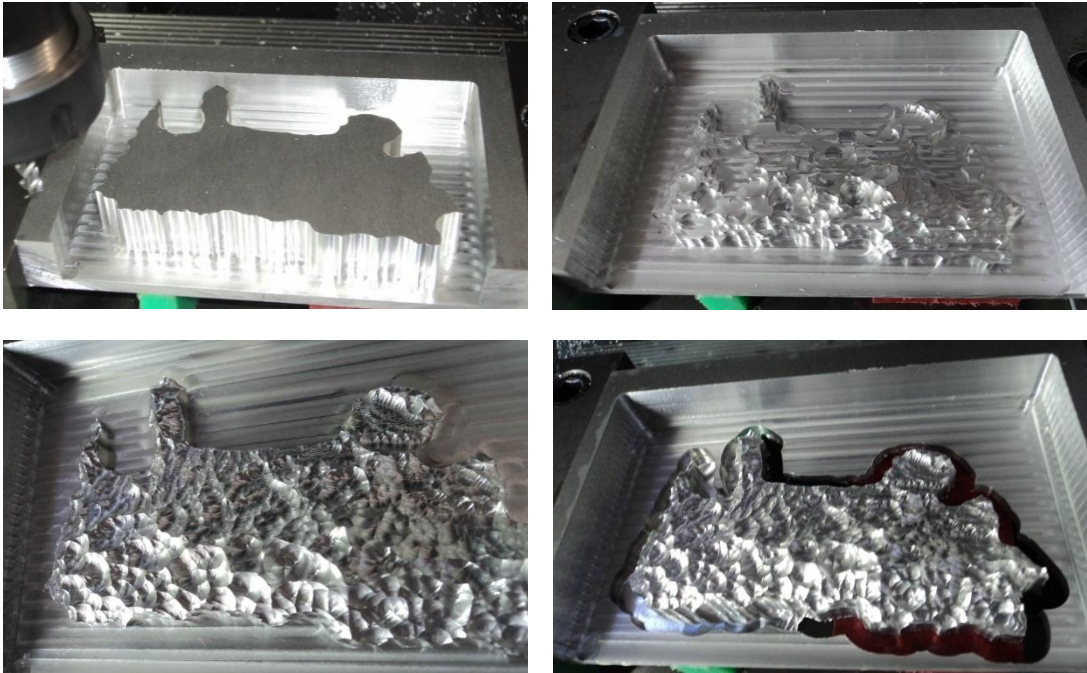
Η ρύθμισή των κοπτικών εργαλείων έγινε με τη Microset Uno 115 eco της DMG

Η συσκευή προρύθμισης εργαλείων DMG Microset προσφέρει σημαντική οικονομία χρόνου και ακρίβεια στις μετρήσεις των εργαλείων και την έγκαιρη αναγνώριση φθαρμένων εργαλείων. Η συσκευή εργάζεται με το λογισμικό Microvision II IT και διαθέτει: Edge finder για γρήγορο εντοπισμό της κοπτικής ακμής, στιβαρή κατασκευή της βάσης από χυτό, πνευματική σύσφιξη και στους 2 άξονες, ελεύθερα κινούμενους γραμμικούς οδηγούς και CMOS ψηφιακή κάμερα με τηλεσκοπικούς φάκους.

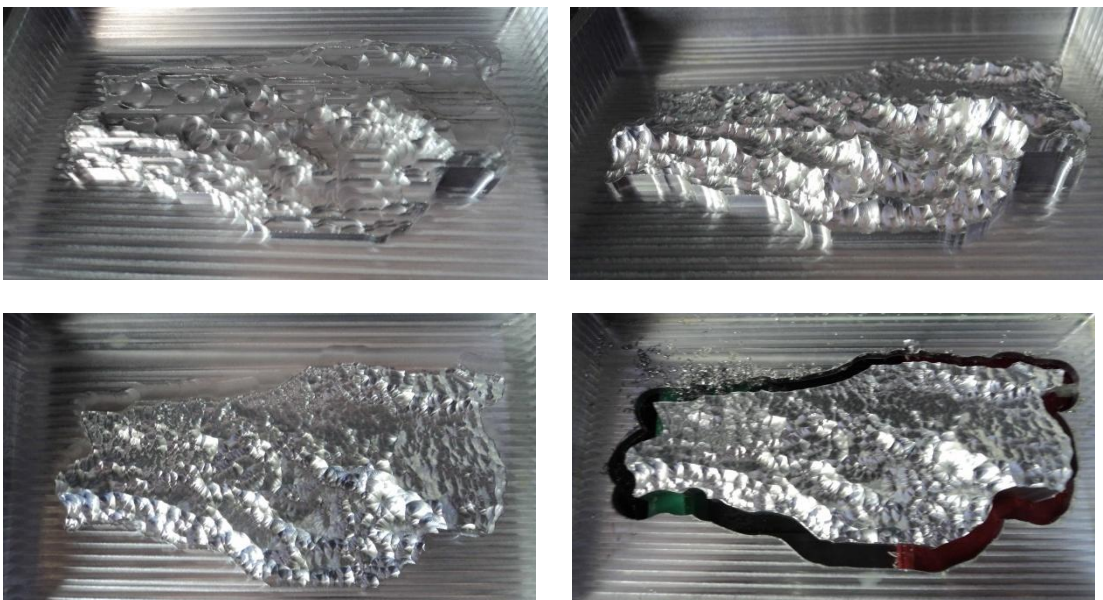


### 4.7.3 Φωτογραφίες δοκιμίων κατά την κατεργασία

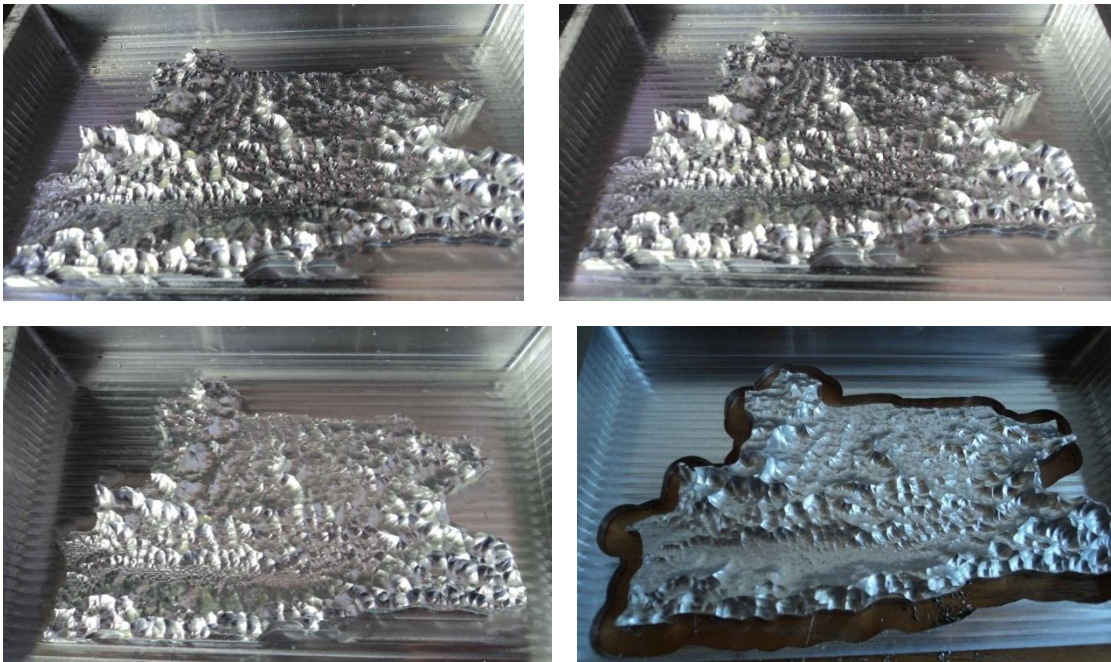
Παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες κατά την κατεργασία κοπής ανά δοκίμιο, δηλαδή νομό, και αναφέρεται σε ποιο toolpath αντιστοιχούν.



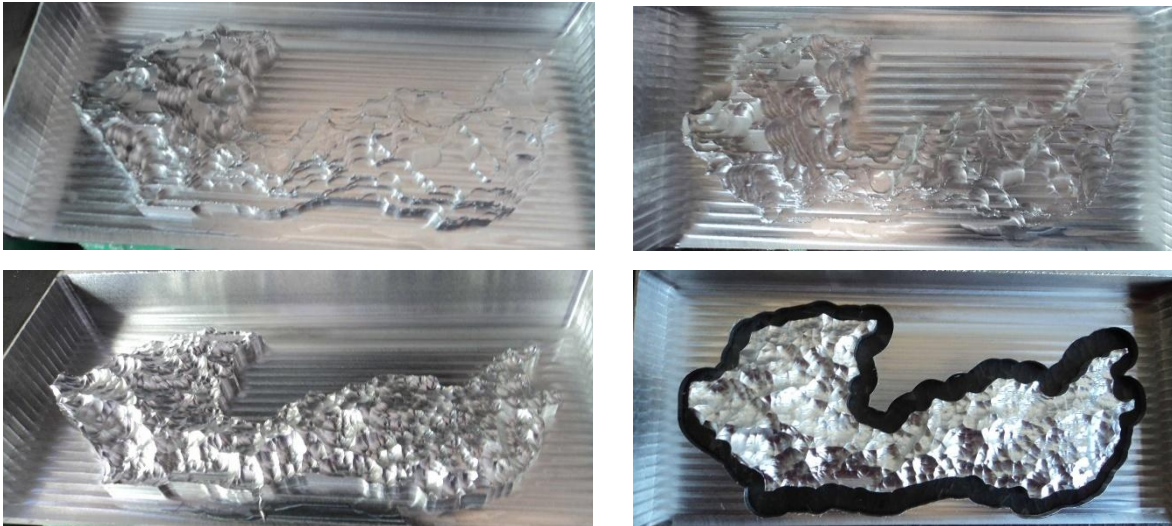
Φωτογραφία 4.45 : Στο νομό Χανίων χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα toolpaths (κεφάλαιο 4.6)  
Το 1° για εκχόνδριση υλικού γύρω από το νομό(endmill 6mm)  
Το 2° για εκχόνδριση στα όρια του νομού (endmill 6mm)  
Το 3° για φινίρισμα επιφάνειας (ballnose 6mm)  
Το 4° για κόψιμο σε βάθος και αποκόλληση από το μπλοκ(endmill 6mm)



Φωτογραφία 4.46 : Στο νομό Ρεθύμνου χρησιμοποιήθηκαν τρία toolpaths (κεφάλαιο 4.6)  
Το 1° για εκχόνδριση στα όρια του νομού (endmill 6mm)  
Το 2° για φινίρισμα επιφάνειας (ballnose 6mm)  
Το 3° για κόψιμο σε βάθος και αποκόλληση από το μπλοκ(endmill 6mm)

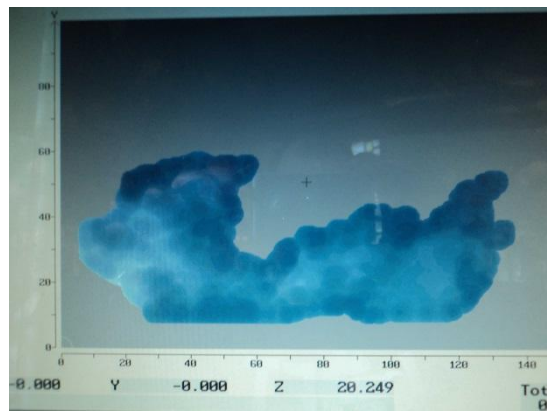
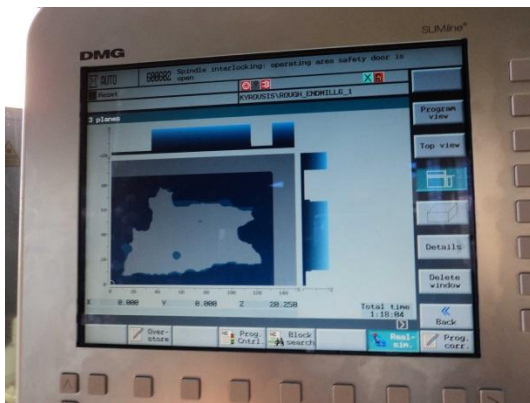


Φωτογραφία 4.47 : Στο νομό Ηρακλείου χρησιμοποιήθηκαν τρία toolpaths (κεφάλαιο 4.6)  
 Το 1° για εκχόνδριση στα όρια του νομού (endmill 6mm)  
 Το 2° για φινίρισμα επιφάνειας (ballnose 6mm)  
 Το 3° για κόψιμο σε βάθος και αποκόλληση από το μπλοκ (endmill 6mm)

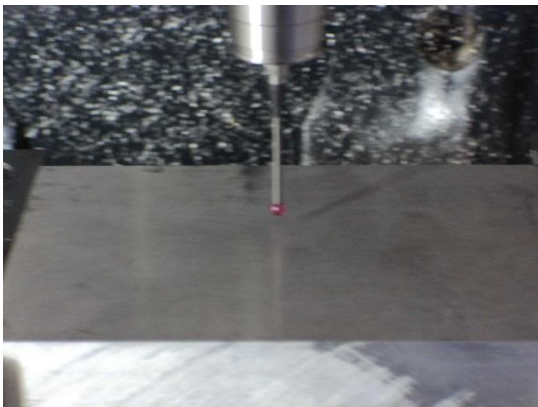


Φωτογραφία 4.48 : Στο νομό Λασιθίου χρησιμοποιήθηκαν τρία toolpaths (κεφάλαιο 4.6)  
 Το 1° για εκχόνδριση στα όρια του νομού (endmill 6mm)  
 Το 2° για φινίρισμα επιφάνειας (ballnose 6mm)  
 Το 3° για κόψιμο σε βάθος και αποκόλληση από το μπλοκ (endmill 6mm)

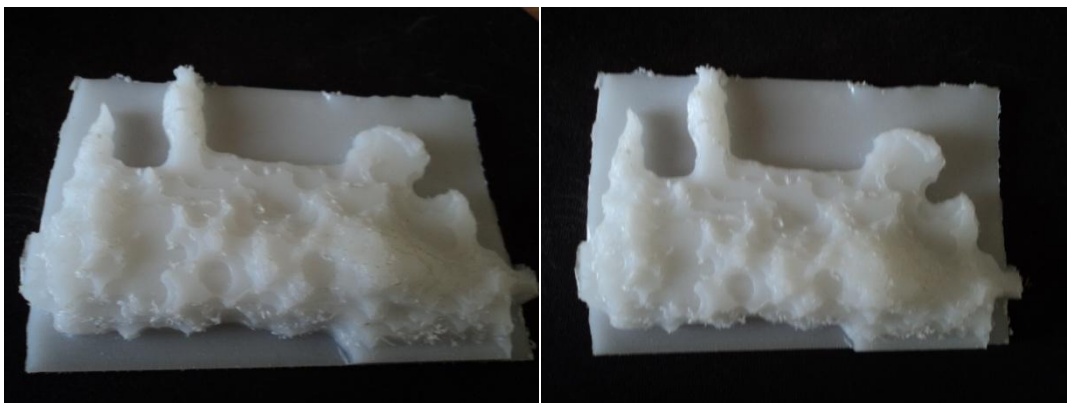
Ακολουθούν κάποιες φωτογραφίες από τη διαδικασία της κατεργασίας που δείχνουν την εργαλειομηχανή και τις λειτουργίες της.



Φωτογραφία 4.49 : στις φωτογραφίες αυτές φαίνεται η κονσόλα της εργαλειομηχανής και συγκεκριμένα το live simulation κατά την κοπή



Φωτογραφία 4.50 : το εργαλείο Ανιχνευτής ακμών Heidenhain TS 642 με αισθητήρες που χρησιμοποιείται για το μηδενισμό των συντεταγμένων



Φωτογραφία 4.51 : κοπή δοκιμαστικού δοκιμίου σε πλαστικό

## 4.8 Συμπεράσματα – μελλοντική εργασία

Τέλος αξίζει να αναφερθούμε πιο αναλυτικά στο χρόνο κατεργασίας των δοκιμίων και στη διερεύνηση τρόπων μείωσης του.

Όπως φαίνεται στους πίνακες 4.37 – 4.40 ο χρόνος κατεργασίας αποτελεί συνάρτηση των παραμέτρων κοπής, του πλήθους και της πολυπλοκότητας των toolpaths που επιλέγονται.

Η συγκεκριμένη κατεργασία ήταν χρονοβόρα γιατί επιλέχθηκε να παρουσιαστούν όσο το δυνατόν περισσότερες λεπτομέρειες στο ανάγλυφο του χάρτη και συνεπώς χρησιμοποιήθηκαν μικρά εργαλεία κοπής 6 mm.

Μία μελλοντική βελτιστοποίηση θα πρέπει να μπορεί να ισοσταθμίσει την ποιότητα του κατεργασμένου δοκιμίου και τον απαιτούμενο χρόνο κοπής.

Πιθανές δοκιμές για μείωση χρόνου κατεργασίας:

1. Χρήση ελάχιστου αριθμού toolpaths (στο συγκεκριμένο δοκίμιο δύο ένα για εκχόνδριση με endmill 6mm και ένα σύντομο για αποκοπή από το καλούπι)
2. Μέγιστος ορισμός μεταβλητών κοπής σύμφωνα με τους τύπους του 4.6
3. Αποσφαλματοποίηση και βελτιστοποίηση του κώδικα ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε επικάλυψη ή επανάληψη κοπής σημείων

Παρόλα αυτά οι παραπάνω αλλαγές είναι αναπόφευκτο να μην προκαλέσουν κάποιες ποιοτικές αλλαγές. Συγκεκριμένα για κάθε πιθανή δοκιμή από τις παραπάνω:

1. Στην περίπτωση ελάχιστων toolpaths υπάρχει σίγουρα αντίκτυπο στην ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος. Αυτό μπορεί να μεταφράζεται σε έλλειψη λεπτομέρειας, σε ασυνέχειες και σημεία που δεν καλύπτονται από το toolpath, ακόμα και σε καταστροφή των εργαλείων από απότομη και μη σταδιακή χρήση πάχους εργαλείων (π.χ. για να γίνει κατεργασία με ballnose 6mm πρέπει να προηγηθεί πέρασμα με endmill 10mm ή 6mm).
2. Αν οι μεταβλητές κοπής τεθούν εκτός από τα όρια που ορίζουν οι σχέσεις τότε η φθορά τους θα είναι πολύ μεγαλύτερη και πιθανόν και ολέθρια. Αν για παράδειγμα η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου είναι μικρότερη από ότι θα έπρεπε σε σχέση με την ταχύτητα πρόωσης τότε πιθανόν να σπάσει το εργαλείο ή να μην προλάβει να κόψει σωστά στο συγκεκριμένο σημείο. Ακόμη αν θέσουμε πολύ μεγαλύτερο ακτινικό ή αξονικό βάθος σε σχέση με τη διάμετρο του χρησιμοποιούμενου εργαλείου θα παρουσιαστούν αστοχίες στο αποτέλεσμα της κατεργασίας (εμφάνιση ανεπιθύμητων γραμμών ή «σκαλοπατιών» αντίστοιχα).
3. Τέλος η πιο ενδιαφέρουσα προσπάθεια βελτιστοποίησης βασίζεται στον κώδικα – toolpath που ακολουθεί το εργαλείο κατά την κατεργασία. Ο σχεδιαστής πρέπει να μπορεί να ελέγξει τη διαδρομή του εργαλείου με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι βέλτιστος για τη συγκεκριμένη κατεργασία. Το παραπάνω εγχείρημα είναι αρκετά πολύπλοκο καθώς όταν σχεδιάζονται σύνθετα ανάγλυφα, όπως στην περίπτωση μας, είναι δύσκολο να γίνει πλήρως κατανοητός και να τροποποιηθεί ο g κώδικας που παράγει το λογισμικό CAD καθώς το σχέδιο μεταφράζεται με «κλειστό» τρόπο σε απλοϊκές εντολές μετάβασης σε συντεταγμένες.

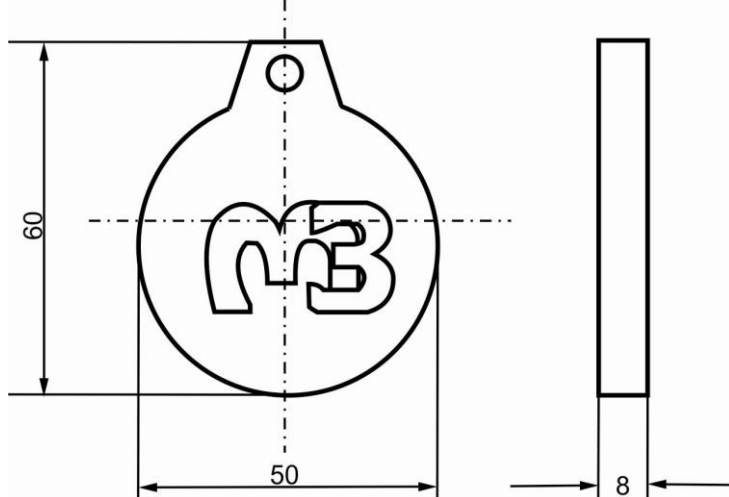
## 5. ΜΕΤΑΛΛΙΟ

Στο κεφάλαιο αυτό σχεδιάζεται στο artCam και κατασκευάζεται ένα αναμνηστικό μέταλλο του πολυτεχνείου και του εργαστηρίου m3. Συμβολικά επιλέχθηκαν το λογότυπο του πολυτεχνείου με το Δαίδαλο και η συντομογραφία TUC για την αγγλική ονομασία του ιδρύματος Technical University of Crete και το λογότυπο του εργαστηρίου για την άλλη πλευρά του μεταλλίου.

Για να γίνει επίδειξη των σχεδιαστικών εργαλείων του artCam το σχέδιο πραγματοποιείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου μέσα στο ίδιο λογισμικό.

### 5.1 Διαστάσεις μοντέλου

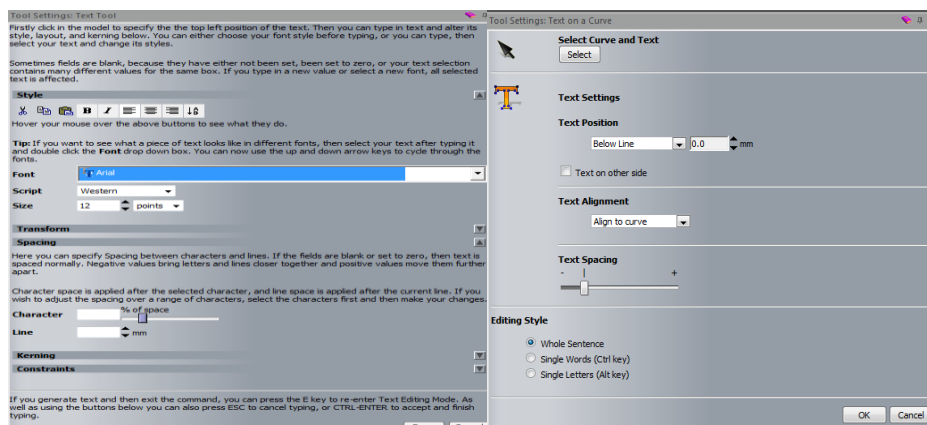
Οι διαστάσεις που επιλέχθηκαν είναι περίπου 50 x 60 mm ώστε να μπορεί να λειτουργήσει σαν μπρελόκ. Ενώ για το πάχος του χρησιμοποιήθηκε δοκίμιο 8 mm.



Σχήμα 5.1 : διαστάσεις μεταλλίου

### 5.2 Σχεδιασμός πλευράς Α

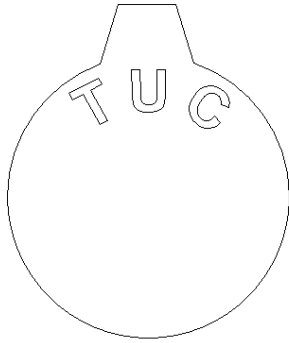
Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη δημιουργία της ανάστροφης πλευράς του μεταλλίου. Το σχέδιο του περιγράμματος παρέμεινε το ίδιο ενώ χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο εισαγωγής κειμένου (create vector text) από τα εργαλεία διανύσματος. Στη συνέχεια έγινε χρήση του εργαλείου wrap text around a curve από την κατηγορία position, combine, trim vectors.



Σχήμα 5.2 : εργαλεία εισαγωγής κειμένου και τυλίγματος γύρω από καμπύλη

Για τη χρήση αυτού του εργαλείου απαιτείται όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα η χρήση ενός καμπύλου διανύσματος ως οδηγού για το κείμενο. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε το περίγραμμα του μεταλλίου και το πλαίσιο κειμένου ενώ επιλέχθηκε text

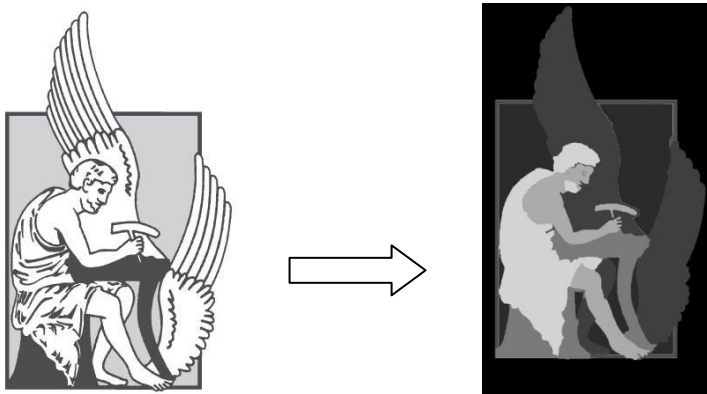
position below line και text alignment align to curve. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο



Σχήμα 5.3: εισαγωγή και επεξεργασία κειμένου

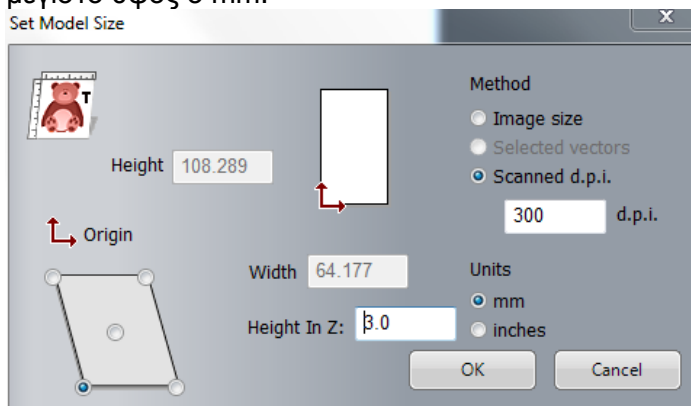
#### *Δημιουργία τρισδιάστατου ανάγλυφου για το λογότυπο του πολυτεχνείου*

Για να γίνει πιο εύκολη η μετατροπή της εικόνας του λογότυπου σε τρισδιάστατο ανάγλυφο και για να δημιουργηθούν με ευδιάκριτο τρόπο τα επίπεδα και κατά τον επιθυμητό τρόπο έγινε επεξεργασία της εικόνας σε λογισμικό επεξεργασίας εικόνας και σύμφωνα με τα πρότυπα ενός heightmap με τους κανόνες που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Έτσι η εικόνα χωρίστηκε σε 6 αποχρώσεις του γκρι προκειμένου να δημιουργηθούν τα αντίστοιχα επίπεδα.



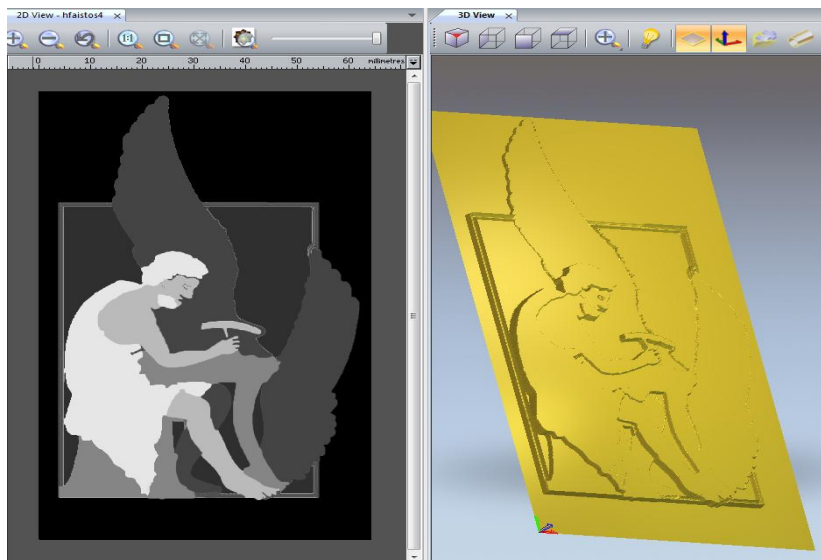
Σχήμα 5.4 : μετατροπή σε heightmap εικόνα με 6 αποχρώσεις

Με τις εντολές **File→New→ From image file** επιλέγουμε να γίνει αρχικά εισαγωγή του λογότυπου του και δημιουργείται αυτόματα από το λογισμικό ένα ανάγλυφο με επιλεγμένο μέγιστο ύψος 3 mm.



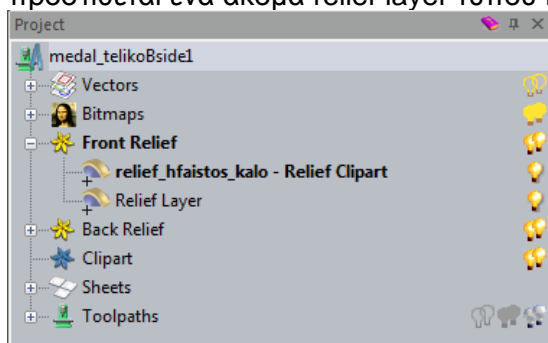
Σχήμα 5.5 : εισαγωγή εικόνας για δημιουργία ανάγλυφου

οπότε και δημιουργείται το παρακάτω ανάγλυφο



Σχήμα 5.6 : δισδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση λογότυπου

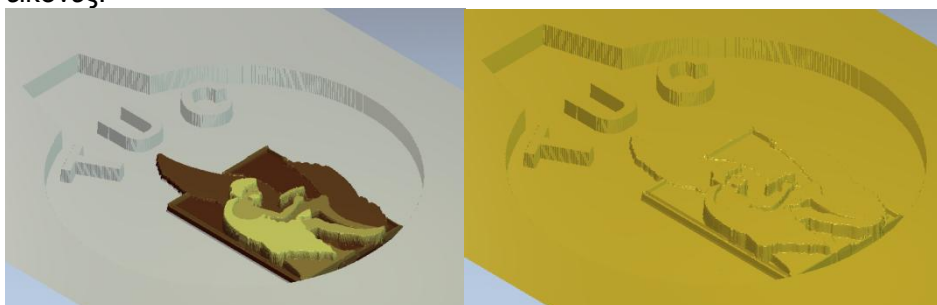
Για να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο ανάγλυφο στα πλαίσια του μεταλλίου επιλέγεται η αποθήκευση του με τις εντολές **Reliefs→Save Layer** και αποθηκεύεται σε μορφή \*.rlf. Στη συνέχεια εισάγεται το συγκεκριμένο ανάγλυφο στο σχέδιο της α' πλευράς του μεταλλίου με τις εντολές **Reliefs→Import** και εμφανίζεται ένα σύνθετο παράθυρο μορφοποίησης το οποίο εκτός από τις γεωμετρικές μεταβλητές δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει τον τρόπο συνδυασμού του ανάγλυφου με τα ήδη υπάρχοντα. Κάνοντας λοιπόν paste to new Layer παρατηρείται από το παράθυρο του project να προστίθεται ένα ακόμα relief layer τύπου relief clipart. Επιλέγεται ο συνδυασμός add



Σχήμα 5.7 : εισαγωγή νέου επιπέδου με το ανάγλυφο και εμφάνιση στο project tree. Τέλος από τον shape editor επιλέχθηκαν να κατασκευαστούν τα παρακάτω τρισδιάστατα σχήματα:

- Ενωμένο διάνυσμα περιγράμματος μεταλλίου → αφαίρεση από το ανάγλυφο κατά 3 mm
- Χαρακτήρες κειμένου TUC → πρόσθεση κατά 2 mm
- Έτοιμο relief δαίδαλου → πρόσθεση κατά 3mm

Με τις παραπάνω επιλογές δημιουργείται το ανάγλυφο όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Σχήμα 5.8 : τρισδιάστατη απεικόνιση ανάγλυφου α' πλευράς

### 5.3 Σχεδιασμός πλευράς Β

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η διαδικασία σχεδιασμού και γίνεται αναφορά στα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν.

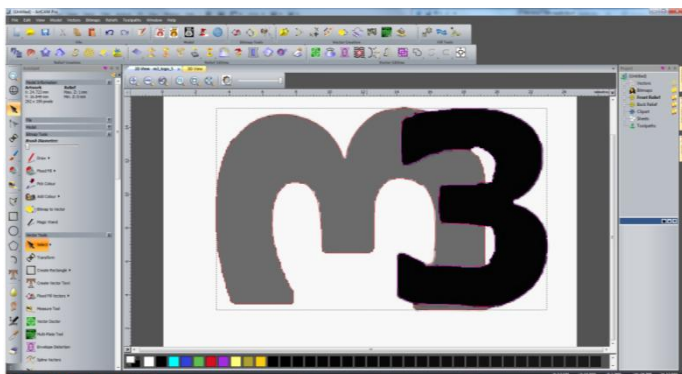
Με τις εντολές **File→New→ From image file** επιλέγουμε να γίνει αρχικά εισαγωγή του λογότυπου του εργαστηρίου m3



Σχήμα 5.9 :λογότυπο εργαστηρίου

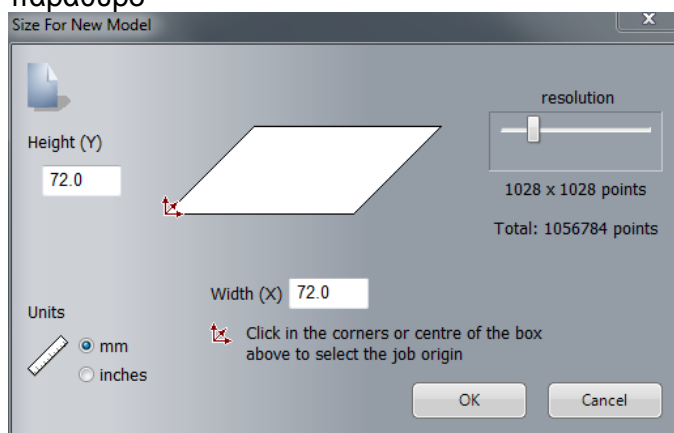
Στο σημείο αυτό δεν είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός ακριβών διαστάσεων καθώς θα γίνει απλά δημιουργία και επιλογή των επιθυμητών vectors. Αφού έχει εισαχθεί η εικόνα και βρίσκεται σε μορφή bitmap θα χρησιμοποιηθούν και τα αντίστοιχα εργαλεία (bitmap tools).

Στην οθόνη δισδιάστατης απεικόνισης και από το αριστερό assistant toolbar επιλέγονται τα bitmap tools και συγκεκριμένα το εργαλείο magic wand. Στα tool settings που εμφανίζονται δεξιά επιλέγεται select region using image color και στο tolerance περίπου 20 ενώ επιλέγεται ακόμα το create smooth boundaries. Το λογισμικό με κριτήριο το χρώμα σε κάθε pixel δημιουργεί ένα κλειστό διάνυσμα που θα αποτελέσει το vector που θα χρησιμοποιηθεί στον shape editor. Έτσι με το παραπάνω εργαλείο δημιουργούνται τα απαραίτητα διανύσματα πάνω στο λογότυπο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 5.10 :επιλογή διανυσμάτων

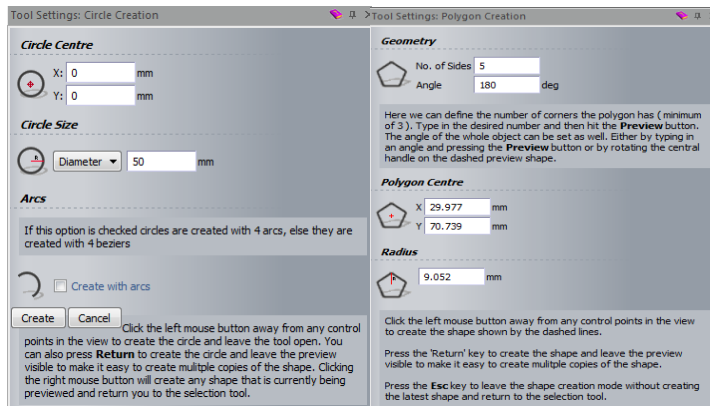
Στη συνέχεια αντιγράφονται τα συγκεκριμένα διανύσματα και με τις εντολές **File→New→ model** δημιουργείται ένα νέο μοντέλο με τις επιθυμητές διαστάσεις από το παρακάτω παράθυρο



Σχήμα 5.11 : επιλογή διαστάσεων μοντέλου

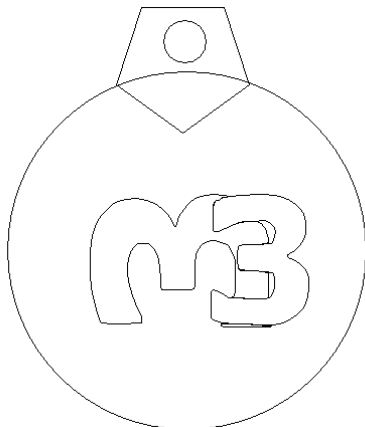
Τέλος επικολλούνται τα διανύσματα που είχαν αντιγραφεί.

Στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν εργαλεία σχεδιασμού vector για να παραχθούν τα υπόλοιπα σχήματα σε δισδιάστατη αρχικά μορφή. Με το εργαλείο δημιουργίας κύκλου δημιουργούνται 2 κύκλοι ένας μεγάλος διαμέτρου 50 mm για το περίγραμμα του μεταλλίου και ένα μικρότερος 6mm για να δημιουργηθεί μία τρύπα. Ακόμη δημιουργείται ένα πολύγωνο αντιστραμμένο κατά 180° μοίρες.



Σχήμα 5.12 :δημιουργία διανύσματος κύκλου και πολυγώνου

Τα σχήματα αυτά τοποθετούνται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο και παίρνουν τη μορφή ενός κυκλικού μεταλλίου.



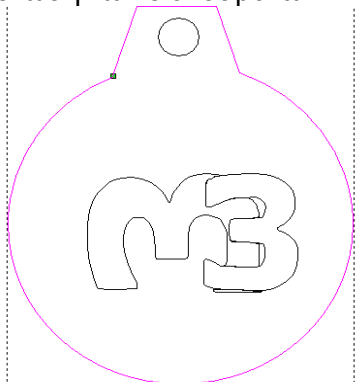
Σχήμα 5.13 : ταξινόμηση διανυσμάτων

Να σημειωθεί ότι κάθε διάνυσμα μπορεί να τροποποιηθεί ως προς τη γεωμετρία του με το εργαλείο transform στην αριστερή κάθετη μπάρα εργαλείων σχεδιασμού.



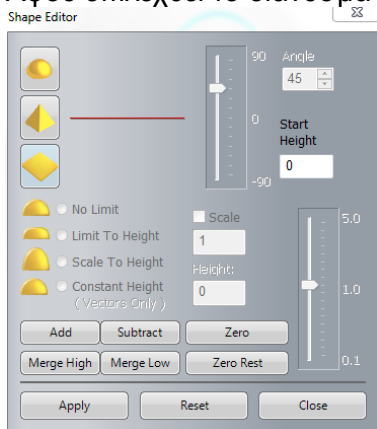
Σχήμα 5.14 :μετασχηματισμός διανυσμάτων

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστεί ένα ακόμα εργαλείο συνδυασμού διανυσμάτων. Από τον assistant στην κατηγορία position,combine,trim vectors και αφού επιλεγθούν τα δύο σχετικά διανύσματα (κύκλος και πεντάγωνο), επιλέγεται weld vectors και προκύπτει η ένωση των διανυσμάτων.



Σχήμα 5.15 : ένωση δύο διανυσμάτων

Αφού επιλεγθεί το διάνυσμα που θα δημιουργήσει το σχήμα με F12 ανοίγει ο shape editor

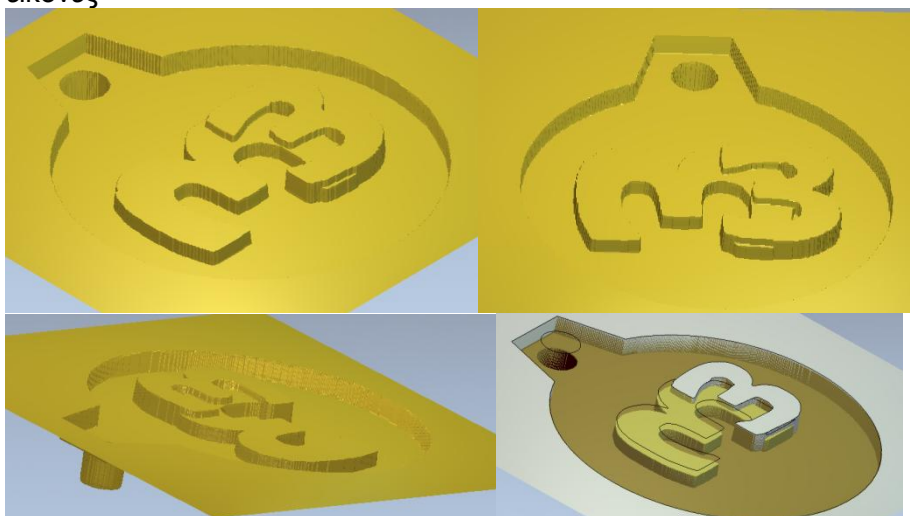


Σχήμα 5.16 : επιλογές shape editor

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκαν τα παρακάτω τρισδιάστατα σχήματα :

- Ενωμένο διάνυσμα περιγράμματος μεταλλίου → αφαίρεση από το ανάγλυφο κατά 3mm
- Μικρή κυκλική οπή → αφαίρεση σε βάθος 8 mm
- Χαρακτήρας m από λογότυπο → πρόσθεση κατά 2 mm
- Χαρακτήρας 3 από λογότυπο → πρόσθεση κατά 2.5 mm

Με τις παραπάνω επιλογές δημιουργείται το ανάγλυφο όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες



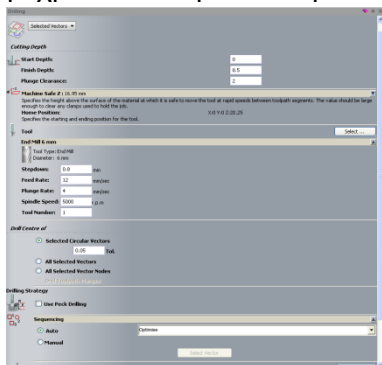
Σχήμα 5.17 : όψεις του αναγλύφου της β' πλευράς

## 5.4 Δημιουργία toolpaths και προσομοίωση

Για την κοπή του μεταλλίου και από τις 2 πλευρές σχεδιάστηκαν τα παρακάτω toolpaths και εφαρμόστηκαν οι τιμές που φαίνονται στους παρακάτω πίνακες στις μεταβλητές της κοπής.

Σημείωση:

1. Αρχικά σχεδιάστηκαν 3 toolpaths αλλά το 3<sup>ο</sup> και τελευταίο που επεξεργαζόταν το ανάγλυφο με εργαλείο ball nose 0.5 mm κρίθηκε περιττό.
2. Η οπή τρυπήθηκε με τη δημιουργία ειδικού toolpath drilling και μόνο από την β' πλευρά μέχρι να διαπεράσει το μπλοκ του υλικού.

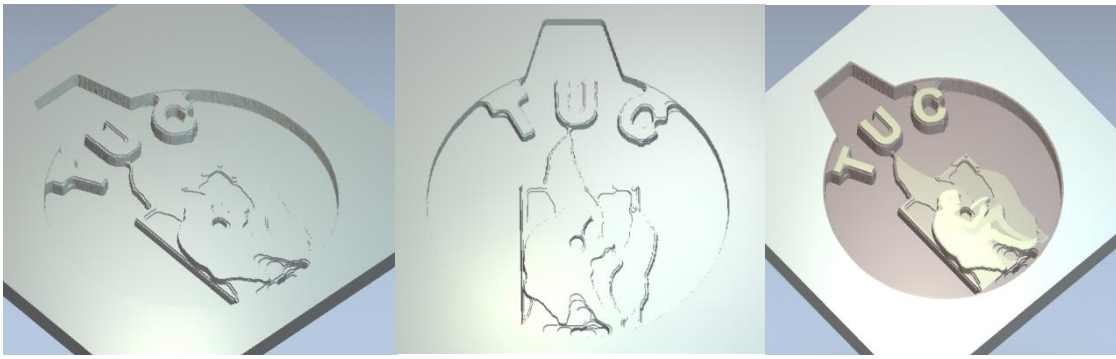


3. Δημιουργήθηκε ένα ακόμα toolpath γύρω από το περίγραμμα του μεταλλίου με εργαλείο 6 mm που κόπηκε σε 2 φάσεις. Στην αρχή μέχρι 3mm βάθος και από τις δύο πλευρές ώστε να διευκολυνθεί το μικρότερο εργαλείο των 2 mm να εισέλθει στο μέταλλο. Στη συνέχεια από την πλευρά β' κόπηκε μέχρι τα 9 mm για να «ξεκουφώσει» το μέταλλο από το μπλοκ του υλικού.

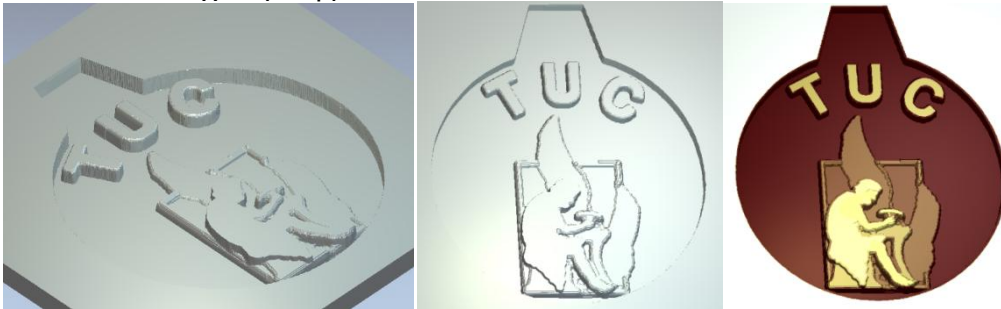
### Πλευρά A / ηφαιστος TUC

toolpath	1. rough εκχόνδριση	2. φινίρισμα
Μεταβλητές		
Εργαλείο	Endmill 2mm	Endmill 0.5mm
Stepover (mm)	0.5	0.12
Stepdown (mm)	0.3	0.1
Feed rate (mm/min)	200-400	180-300
Plunge rate (mm/min)	100	100-180
Spindle speed (r.p.m.)	6000	6000
Χρόνος κατεργασίας (min)	173	100
Συνολικός χρόνος (min)	273	

Πίνακας 5.18 : Πλευρά A - μεταβλητές κοπής και χρόνοι κατεργασίας



Σχήμα 5.19 :προσομοιωμένες όψεις του ανάγλυφου της α' πλευράς για το 1<sup>ο</sup> toolpath – εκχόνδριση με endmill 2mm



Σχήμα 5.20 :προσομοιωμένες όψεις του ανάγλυφου της α' πλευράς για το 2<sup>ο</sup> toolpath – εκχόνδριση με endmill 0.5 mm

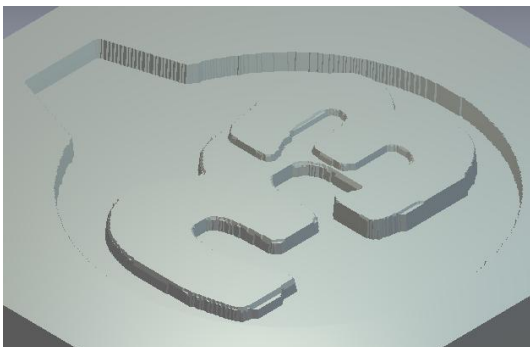


Φωτογραφία 5.21: α' πλευρά μεταλλίου. Αρχικά έγινε η 1<sup>η</sup> εκχόνδριση με (endmill 2mm), στη συνέχεια αφαιρέθηκε υλικό γύρω από το πλαίσιο για προστασία του μικρότερου εργαλείου (endmill 0.5 mm) , και αφού έγινε το φινίρισμα παρουσιάζεται η τελική του μορφή.

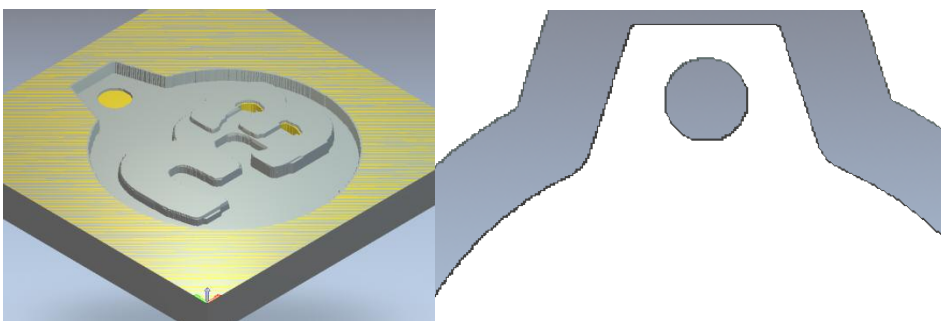
Πλευρά Β / m3 , οπή

toolpath Μεταβλητές	1. rough εκχόνδριση	2. φινίρισμα	3. τρύπημα οπής	4. ξεκούφωμα
Εργαλείο	Endmill 2mm	Endmill 0.5mm	Endmill 6mm	Endmill 6mm
Stepover (mm)	0.5	0.12	-	0.8
Stepdown (mm)	0.3	0.1	0.5	0.8
Feed rate (mm/min)	200 - 400	180-300	200	200-400
Plunge rate (mm/min)	100	100-180	100	100-200
Spindle speed (r.p.m.)	6000	6000	6000	6000
Χρόν. Κατεργασίας (min)	184	105	1	8
Συνολικός χρόνος (min)	298			

Πίνακας 5.22 : Πλευρά Β - μεταβλητές κοπής και χρόνοι κατεργασίας



Σχήμα 5.23 :προσομοιωμένη όψη του ανάγλυφου της β' πλευράς για το 1<sup>ο</sup> toolpath – εκχόνδριση με endmill 2 mm



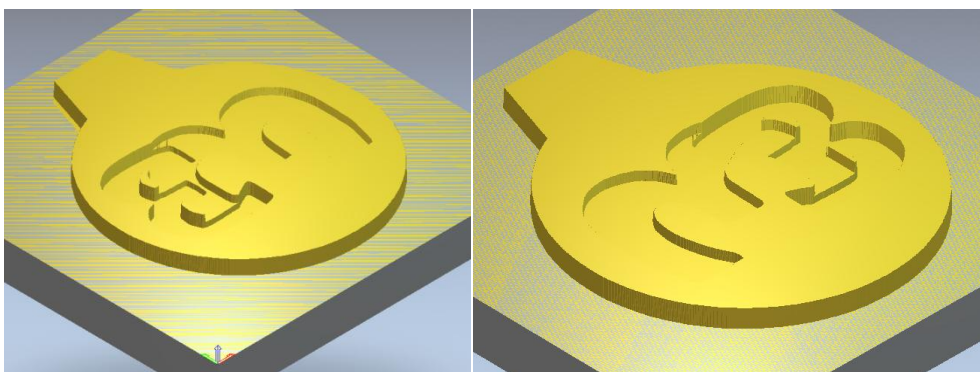
Σχήμα 5.24 :προσομοιωμένες όψεις του ανάγλυφου της β' πλευράς για το 3<sup>ο</sup> toolpath – τρύπημα οπής με endmill 6 mm και το 4<sup>ο</sup> toolpath – ξεκαλούπωμα με endmill 6 mm



Φωτογραφία 5.25 : β' πλευρά μεταλλίου. Το δοκίμιο αναστράφηκε και επεξεργάστηκε η β' πλευρά. Αρχικά αφαιρέθηκε υλικό περιμετρικά, στη συνέχεια κόπηκε το σχέδιο και φινιρίστηκε. Τέλος έγινε διάτρηση της οπής και αποκόπηκε από το υλικό το μέταλλο

## 5.5 Δημιουργία καλουπιού

Τέλος διερευνήθηκαν τρόποι μέσω του λογισμικού για να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί στη φραίζα μία αλουμινένια μήτρα η οποία μπορεί να δημιουργήσει ένα καλούπι από εύχρηστο υλικό (σιλικόνη , υγρό γυαλί, πλαστικό ) ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή πολλαπλών μεταλλίων από το εργαστήριο m3. Ακολουθούν εικόνες του σχεδίου αυτού



Σχήμα 5.26: δυνατότητα αντιστροφής σε θηλυκό ή αντιστροφή ως προς Z

## 6.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 6.1 Συνοτμεύσεις πληκτρολογίου

Παρακάτω παραθέτονται τα πλήκτρα συνοτμεύσεων για τον οδηγό του λογισμικού artCam Pro 2012 από το πληκτρολόγιο και ποιες λειτουργίες εκτελούν :

F1 : εμφάνιση βοήθειας και ευρετηρίου

F2 : εμφάνιση παραθύρου 2 διαστάσεων

F3 : εμφάνιση παραθύρου3 διαστάσεων

F4 : εναλλαγή ορατότητας πίνακα project

F6 : εναλλαγή ορατότητας πίνακα ρυθμίσεων εργαλείων

F9 : κεντράρισμα μοντέλου στην οθόνη

F10 : εμφάνιση ενεργού/ τρέχοντος επιπέδου(layer) του ανάγλυφου

F12 : εμφάνιση επεξεργασίας σχήματος (shape editor)

Alt+C : εμφάνιση πληροφορίας κέρσορα

Alt+V : εναλλαγή ορατότητας όλων των επιπέδων (layers) ενός διανύσματος (vector)

Alt+B : εμφάνιση ενεργού/ τρέχοντος επιπέδου(layer) bitmap

Alt+G : δημιουργία ασπρόμαυρου (grayscale) από ένα σύνθετο ανάγλυφο

Alt+N : εμφάνιση σημειώσεων

#### Επιλογές μοντέλου:

Ctrl + C : αντιγραφή στο clipboard

Ctrl + V : επικόλληση στο clipboard

Ctrl + X : αποκοπή στο clipboard

Ctrl + Z : αναίρεση τελευταίας ενέργειας

Ctrl + Y : επανεκτέλεση τελευταίας ενέργειας

#### Σχεδίαση διανύσματος (vector):

Return or spacebar : δημιουργία διανύσματος και συνέχεια

Esc : εργαλείο επιλογής

Shift : για τη δημιουργία παραλληλόγραμμου κρατάει την αναλογία των πλευρών

Tab : κλείσιμο πολύγραμμης για δημιουργία πολύγωνου

#### Επεξεργασία διανύσματος (vector):

Ctrl + A: επιλογή όλων των διανυσμάτων

E : επεξεργασία επιλεγμένου διανύσματος

N : επεξεργασία κόμβων

A : μετατροπή «καμάρας» σε τόξο

B : μετατροπή «καμάρας» σε Bezier

L : μετατροπή «καμάρας» σε γραμμή

C : αποκοπή καμάρας

R : διαγραφή καμάρας

I : εισαγωγή κόμβου

P : εισαγωγή / μετατροπή αρχικού κόμβου

S : εναλλαγή λείανσης (smoothing)

D : διαγραφή κόμβου

X : ευθυγράμμιση στον άξονα των X

T : εργαλείο μετασχηματισμού (transform)

M : εργαλείο μέτρησης

#### Ομαδοποίηση διανυσμάτων:

Ctrl + G : ομαδοποίηση επιλεγμένων διανυσμάτων

Ctrl + U : κατάργηση ομαδοποίησης επιλεγμένων διανυσμάτων

## Χρώματα bitmap

Ctrl + L : εναλλαγή σύνδεσης μεταξύ πρωτεύοντων και δευτερευόντων χρωμάτων

Ctrl + K : σύνδεση όλων των χρωμάτων

Ctrl + R : επαναφορά όλων των συνδέσεων χρωμάτων

## Επεξεργασία ανάγλυφου

Shift+delete : επαναφορά τρέχοντος ενεργού επιπέδου ανάγλυφου

Ctrl+Shift+C : αντιγραφή ανάγλυφου

Ctrl+Alt+Shift+O : εμφάνιση επιλογής offset ανάγλυφου

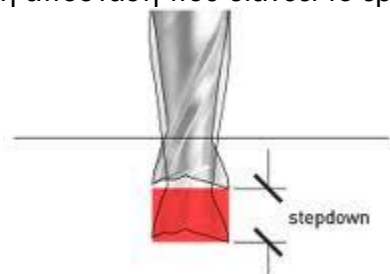
Ctrl+Alt+Shift+R : επιλογή εργαλείου παραμόρφωσης φακέλου ανάγλυφου

Αξίζει να σημειωθεί ότι το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αλλάξει τις συντόμευσης κατά βούληση από το μενού **Window→Toolbars and Docking Windows→Customise**

## 6.2 Ορολογία

**Stepdown** ή Αξονικό βάθος κοπής ( $a_p$  ή  $t_z$ ) π.χ.0.8 mm

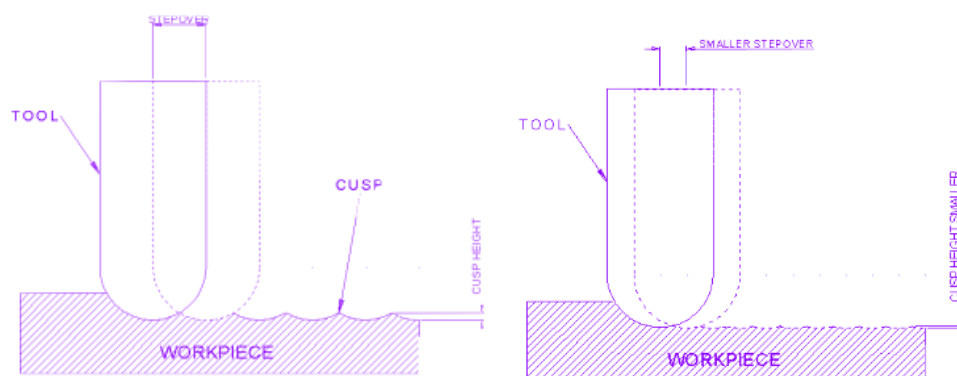
η απόσταση που διανύει το εργαλείο κάθετα σε κάθε βήμα στον z άξονα



**stepover** ή Ακτινικό βάθος κοπής ( $a_e$  ή  $t_{xy}$ ) π.χ.0.5 mm

η απόσταση που διανύει το εργαλείο οριζοντίως στο επόμενο πέρασμα. Πρόκειται στην πραγματικότητα για το τμήμα της διαμέτρου του εργαλείου που «παίρνει μέρος» στην κοπή. Η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ του 70-80% της διαμέτρου του εργαλείου κοπής.

Η επιλογή του επηρεάζει την ποιότητα κοπής όπως φαίνεται παρακάτω



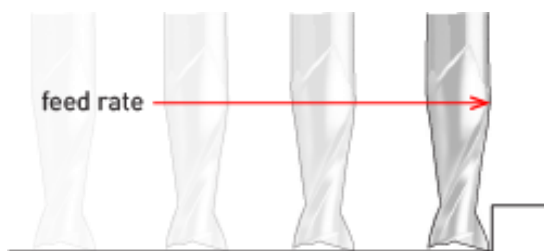
Σχήμα 6.1 : επίπτωση stepover στην κοπή

**spindle speed** π.χ.1000 rpm

η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου

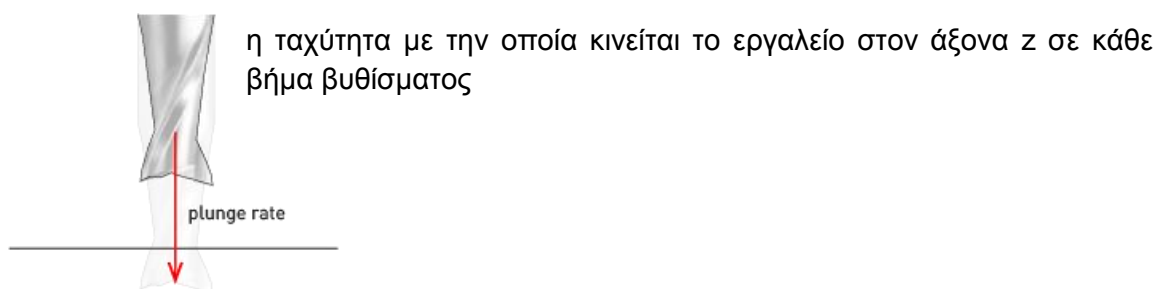
**feed rate** π.χ. 300 mm/min

η πρόωση δηλαδή η ταχύτητα που κινείται το εργαλείο στον άξονα Y



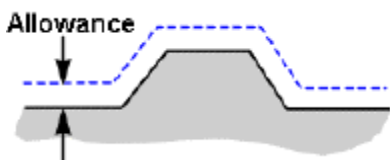
Σχήμα 6.2 : ταχύτητα πρόωσης

**plunge rate** π.χ. 100 mm/min



Σχήμα 6.3 : ταχύτητα βύθισης

**allowance**



η απόσταση μεταξύ των ορίων του επιλεγμένου διανύσματος και του εργαλείου κοπής

Σχήμα 6.4 : allowance

### 6.3 G - code και M - Code

Μία CNC παράγει συνήθως G - κώδικα, με τη βοήθεια ενός CAM λογισμικού . Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιεί τη γεωμετρία από το σχέδιο ή μέρος του σχεδίου . Αξιοποιεί τις διαστάσεις στο σχέδιο και δημιουργεί 2D ή 3D γεωμετρία στο τμήμα . Αυτή η γεωμετρία στη συνέχεια χρησιμοποιείται από το λογισμικό CAM . Ο προγραμματιστής CAM αναθέτει μια ομάδα μηχανουργικών κατεργασιών , όπως διάτρηση , επιφανειακή κατεργασία , διάνοιξη οπών , κλπ. για τη γεωμετρία στο σχέδιο . Μόλις γίνει αυτό , το λογισμικό γρήγορα και αυτόματα δημιουργεί τον G- κώδικα προγράμματος που χρησιμοποιείται στην μηχανή CNC . Συχνά, αυτό το πρόγραμμα μπορεί να είναι αρκετές χιλιάδες γραμμές. Συνήθως ένα πρόγραμμα CNC κυμαίνεται από μερικές γραμμές κώδικα για μια απλή δουλειά , σε χιλιάδες γραμμές κώδικα για ένα μεγαλύτερο έργο.

Συνήθως ένα πρόγραμμα CNC θα έχει N λέξεις στην αρχή των γραμμών στο πρόγραμμα. Ο σκοπός της λέξης N είναι απλά να αριθμήσει τη γραμμή ή το μπλοκ του κώδικα . Έχει ως στόχο να βοηθήσει στον εντοπισμό μιας συγκεκριμένης γραμμής κώδικα ή ενός μπλοκ κώδικα . Οι λέξεις N αγνοούνται από το μηχάνημα CNC . Σκοπός τους είναι απλώς να είναι μια μέθοδος εντοπισμού όπου και αν βρίσκεστε στο πρόγραμμα . Συχνά μπορείτε να

δείτε μια G00 ή G0 εναλλακτικά . Ακολουθεί μια βασική λίστα από τις πιο κοινές εντολές G - με μια σύντομη επεξήγηση της χρήσης τους

G01 κίνηση σε ευθεία  
G02 κίνηση σε ένα τόξο προς τα δεξιά  
G03 κίνηση αριστερόστροφα  
G04 αναμονή  
G08 εξομάλυνση  
G09 Ακριβής στάση ελέγχου, τέλος εξομάλυνσης  
G10 στάση με μια γραμμική ελεγχόμενη κίνηση με επιβράδυνση  
G17 επιλογή επίπεδο XY  
G18 επιλογή επίπεδο XZ  
G19 επιλογή επίπεδο YZ  
G28 Επιστροφή στο μηδέν  
G28 Επιστροφή στο αεροπλάνο κάθαρση  
G33 Threading (τόρνος)  
G35 παράκαμψη ελέγχου λάθους στην επόμενη γραμμή  
G40 αντιστάθμιση Ακύρωση  
G41 αντιστάθμιση Αριστερά  
G42 αντιστάθμισης δεξιά  
G43 αντιστάθμιση μήκους εργαλείου (προσθέστε στο μήκος εργαλείου offset)  
G44 αντιστάθμισης μήκους εργαλείου ( αφαιρέστε μήκος εργαλείου offset )  
G49 ακυρώνει G43 G44  
G50 θέτει ένα όριο ταχύτητας για σταθερή ταχύτητα επιφάνειας  
G52 Εργασία σύνολο συντεταγμένων του συστήματος  
G54 Εργασία σύστημα συντεταγμένων # 1  
G55 Εργασία σύστημα συντεταγμένων # 2  
G56 Εργασία σύστημα συντεταγμένων # 3  
G57 Εργασία σύστημα συντεταγμένων # 4  
G58 Εργασία σύστημα συντεταγμένων # 5  
G59 Εργασία σύστημα συντεταγμένων # 6  
G65 κλήση υπορουτίνας Macro  
G70 Circle Hole Bolt  
G71 Arc Hole Bolt  
G72 τρύπες Bolt κατά μήκος μιας γωνίας  
G73 High Speed Peck Drilling  
G74 Αγγίζοντας αντίστροφη  
G80 Σβήνει όλους τους κύκλους  
G81 τρυπήματα  
G82 τρυπήματα Spot  
G83 πεταχτή γεώτρηση  
G84 άγγιγμα του κύκλου  
G90 καλεί μία απόλυτη θέση  
G91 καλεί μία σχετική θέση  
G92 επανάληψη ανάθεσης σημείου εκκίνησης  
G94 Feed ανά λεπτό λειτουργίας  
G95 Feed ανά περιστροφή  
G96 ενεργοποιεί στροφές για σταθερή ταχύτητα επιφάνειας ( ρινίσματα )  
G97 Σβήνει σταθερή ταχύτητα επιφάνειας ( ρινίσματα )  
G98 ρύθμιση αρχικών επιπέδων  
G99 επιστροφή σε R επίπεδο  
M00 στάση Πρόγραμμα - Λέει στο CNC μηχάνημα να σταματήσει στη μέση του προγράμματος .  
M01 προαιρετική στάση Πρόγραμμα - Λέει στο CNC μηχάνημα να σταματήσει μόνο αν ο προαιρετικός διακόπτης διακοπής είναι ενεργή



## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ismail Rakip Karas, Ibrahim Baz, Mehmet Ermurat, Mehmet Selcuk, "Usage Of CAD/CAM Systems For Manufacturing Of Solid Relief Maps", Fifth International Symposium, Turkish-German Joint Geodetic Days, 29-31 March 2006, Berlin
2. Nikolakopoulos, K. G., E. K. Kamaratakis, and N. Chrysoulaki (2006). SRTM vs ASTER Elevation Products: Comparison for Two Regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing* 27(21): 4819-4838.
3. Esri, Inc. "Esri grid format". *ArcGIS Desktop 10.0 Help*. Retrieved 4/3/2012.
4. Mansour, S., 2002, 'Automatic generation of part programs for milling sculptured surfaces', *Journal of Materials processing Technology*, ,127, 31-39.
5. Chen, S. L., Wang, W. T., 2001, 'Computer Aided Manufacturing Technologies for Centrifugal Compressor Impellers', *Journal of Materials Processing Technology*, 115, 284-293.
6. Delcam, ArtCAM Pro 8.0 Reference Manual Issue: 8.003 Released: 20/07/05
7. Delcam plc, ArtCAM Pro Tutorials Issue: 7.0 Date: 24/03/04
8. Kristi Markham and William Morris. A Comparison Of Radar Altimetry And Repeat Pass Interferometry As Methods Of Producing Digital Terrain Elevation Models. In *Inter. Geoscience and Remote Sensing Symp., IGARSS'02, Toronto, June 24-28, 2002*.
9. Thomas Gloor, OCAD Inc, Integrating LiDAR data into the workflow of cartographic representation
10. Geostatistical modeling of topography using auxiliary maps, Tomislav engla, Branislav Bajatb, Dragan Blagojevićb, Hannes I. Reuterc,
11. Carlos Henrique Grohmann A very brief introduction to GRASS-GIS using the fishcamp dataset
12. Li Huang, Dishan QiU, Feng Wang, The Representing Method of DEM in GIS, *Computer and information technology*, 1992, No2.
13. Shaomei Li, Qun Sun, Yinghong Yan. Methods and Practice in Computer Hill Shading, *Transaction of mapping and surveying College*, 2002.3, volume 19, No1.
14. Lars Eklundh, Ulrik Martensson. Rapid generation of Digital Models from topographic maps [J]. *IJ GIS*, 1995, 9(3).
15. Mark de Berg, Katr in T G Dobrindt. On Levels of Detail in terrain [J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1998, 60(1).
16. Renzhong Guo, Space Analysis [M], Book Concern of Wuhan university of Mapping and Surveying, 1997.
17. Tian-Xiang Yuea, Dun-Jiang Songb, Zheng-Ping Dua & Wei Wangc High-accuracy surface modelling and its application to DEM generation, *International Journal of Remote Sensing*, Volume 31, Issue 8, 2010, pages 2205-2226
18. Scott Hensley ; Paul A. Rosen and Eric Gurrola "Topographic map generation from the Shuttle Radar Topography Mission C-band SCANSAR interferometry", *Proc. SPIE 4152, Microwave Remote Sensing of the Atmosphere and Environment II*, 179 (December 21, 2000);

19. P.J. Hickman, E.N. Suleimani, and D.J. Nicolsky "DIGITAL ELEVATION MODEL OF SITKA HARBOR AND THE CITY OF SITKA, ALASKA: PROCEDURES, DATA SOURCES, AND QUALITY ASSESSMENT", July 2012
20. Dimov S.S, Matthews C.W, Glanfield A, Dorrington P 2006 A roadmapping study in Multi-Material Micro Manufacture, 4M 2006, Grenoble, France
21. Huo D.H, Cheng K 2006 A dynamics-driven approach to precision machines design for micro-manufacturing and its implementation perspectives, 4M 2006, Grenoble, France
22. Παπαμάρκος Ν. , Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας, Β. Γκιούρδας Εκδοτική 2005.
23. Sonka, M., Hlavac, V., Boyle R., Image Processing Analysis and Machine Vision, 2<sup>nd</sup> Edition, Brooks/Cole Publishing Company, 1999.
24. Ritter, G.X., Wilson J.N., Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra, CRC Press, 1996.
25. Vogler M.P. 2003 Modelling and analysis of machining performance in micro-end milling, Phd Thesis, University of Illinois
26. Lucca D.A, Seo Y.W 1993 Effect of tool edge geometry on energy dissipation in ultra-precision machining, Annals of the CIRP, 42/1:83-86
27. E. Brinksmeier, R. Gläbe, O. Riemer, S. Twardy, Potentials of precision machining processes for the manufacture of micro forming molds, Microsyst Technol (2008) 14: 1983-1987
28. S.Sreeram, A. Senthil Kumar, M. Rahman, M.T. Zaman, Optimization of cutting parameters in micro end milling operations under dry cutting conditions using genetic algorithms, , Int J Adv Manuf Technol (2006) 30: 1030-1039
29. M.T. Zaman, A. Senthil Kumar, M. Rahman, S. Sreeram, A three-dimensional analytical cutting force model for micro end milling operation, International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 353-366
30. <http://www.m3.tuc.gr/>
31. <http://www.mikrotools.com>
32. <http://www.ipet.gr/digitech2/>
33. <http://www.cnccookbook.com>
34. <http://www.shadedrelief.com/dem/dem.html>