

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ	ΑΝΤΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΙ	ΨΗΦΙΑΚΗ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	ΜΕ	ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ	ΣΑΡΩΣΗΣ	ΚΑΙ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	(ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ	ΣΧΕΔΙΑΣΗ	ΚΑΙ
ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ).			

ΓΙΩΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής: ΜΠΙΛΑΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

---

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:**

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ - ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	1
1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	2
1.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	4
1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ.....	5
1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ.....	7
<b>2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....</b>	<b>9</b>
2.1 MINOLTA VIVID 910 NON CONTACT 3D DIGITIZER.....	9
2.1.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΕ ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ.....	13
2.1.2 DELANAY ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΣΗ.....	14
2.2 POLYGON EDITING TOOL (PET).....	19
2.3 RAPIDFORM 2004.....	19
2.3.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	19
2.3.2 WORKING ENVIRONMENT.....	22
2.3.3 ΒΑΣΙΚΟ MENU.....	27
<b>3. ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ RAPIDFORM.....</b>	<b>30</b>
3.1 ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	30
3.2 SCAN WORKBENCH.....	31
3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.....	31
3.2.2 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ SHELLS.....	32
3.2.3 ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ SHELLS.....	34
3.3 POLYGON WORKBENCH.....	35
3.3.1 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ.....	35
3.3.2 ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΟΠΩΝ.....	37
3.3.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	40
3.3.4 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ.....	44
3.4 CURVE WORKBENCH.....	46
3.4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΜΠΥΛΩΝ.....	47
3.4.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ - ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	51
3.5 SURFACE WORKBENCH.....	54
3.5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	55
3.5.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	61
3.6 INSPECT WORKBENCH.....	63
3.7 FEATURE WORKBENCH.....	63
3.8 EXCHANGE WORKBENCH.....	64
3.9 3D IMAGING WORKBENCH.....	64

---

---

<b>4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΡΕΤ.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ RAPIDFORM.....</b>	<b>76</b>
4.2.1 SCAN WORKBENCH.....	76
4.2.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΛΕΓΜΑΤΩΝ.....	76
4.2.1.2 ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΩΝ ERRONEOUS DATA / ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ.....	79
4.2.1.3 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΕ WIREFRAME.....	83
4.2.1.4 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ 6 SHELLS ΣΕ 1.....	86
4.2.2 POLYGON WORKBENCH.....	90
4.2.2.1 ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΟΠΩΝ.....	90
4.2.2.2 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ.....	92
4.2.2.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	93
4.2.2.4 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	95
4.2.2.5 ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΤΟΠΤΡΙΣΜΟΣ.....	96
4.2.2.6 ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ.....	100
4.2.3 CURVE WORKBENCH.....	101
4.2.3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΜΠΥΛΩΝ.....	101
4.2.3.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΜΠΥΛΩΝ.....	112
4.2.3.3 ΤΕΛΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΜΠΥΛΩΝ.....	114
4.2.4 SURFACE WORKBENCH.....	127
4.2.4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	127
4.2.4.2 ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	137
4.2.4.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	144
4.2.4.4 ΤΕΛΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	148
4.2.5 INSPECT WORKBENCH.....	150
4.2.6 FEATURE WORKBENCH.....	150
<b>4.3 PRO – ENGINEER (WILDFIRE).....</b>	<b>151</b>
<b>5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>154</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>155</b>

---

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ - ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η παραγωγή προϊόντων σε βιομηχανική κλίμακα βασίζεται στην οπτική απεικόνιση με χρήση υπολογιστή για την αρχική σχεδίαση των προϊόντων. Το σύγχρονο ανταγωνιστικό πλαίσιο της αγοράς υποχρεώνει τις εταιρείες να εγκαταλείψουν τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδίασης και να στραφούν σε νέες τεχνολογίες, οι οποίες διαθέτουν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα και αποδίδουν αποτελέσματα καλύτερης ποιότητας. Μία από τις μεθόδους, η οποία συνεχώς κερδίζει έδαφος στη διαδικασία παραγωγής είναι η αντίστροφη σχεδίαση.

*Αντίστροφη σχεδίαση (reverse engineering)* γενικά, είναι η διαδικασία δημιουργίας ακριβούς αντίγραφου ενός προϊόντος ή τμήματός του χωρίς την χρήση γεωμετρικών σχεδίων ή μετρήσεων, εργαλεία τα οποία χρησιμοποιεί η συμβατική σχεδίαση. Στηρίζεται στην αποσυναρμολόγηση ενός προϊόντος στα επι μέρους συστατικά του τμήματα (components), προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος σχεδιασμού του από το αρχικό στάδιο μέχρι το τελικό προϊόν. Κύριος στόχος είναι η πλήρης κατανόηση της διαδικασίας, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ενός δεδομένου σχεδιασμού και στη συνέχεια η χρησιμοποίηση της αποκτούμενης γνώσης για μερικό ή ολικό επανασχεδιασμό του ίδιου προϊόντος ή μιας βελτιωμένης εκδοχής του.

Η διαδικασία επανασχεδιασμού ξεκινάει με την παρατήρηση του προϊόντος και τη δοκιμή του σε εργαστηριακές συνθήκες. Στη συνέχεια αποσυναρμολογείται και τα επιμέρους εξαρτήματα αναλύονται ως προς το σχήμα, τη μορφή, τη λειτουργικότητα, τις ανοχές συναρμολόγησης και τη μέθοδο κατασκευής τους. Η ανάλυση αυτή οδηγεί στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του προϊόντος και στην παραγωγή ενός βελτιωμένου αντιγράφου του, είτε στο επίπεδο υποσυστήματος (προσαρμοστικό) είτε στο επίπεδο του εξαρτήματος (διαφοροποίηση).

Η αντίστροφη σχεδίαση ξεκίνησε ως διαδικασία αντιγραφής προϊόντων και στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης της αντιμετωπίστηκε με μεγάλη δυσπιστία. Θεωρήθηκε ως μέθοδος η οποία εφαρμόζεται από σχεδιαστές εξαιτίας της έλλειψης έμπνευσης και πρωτοποριακών ιδεών για την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων και σχεδίων. Οι Ιάπωνες πρώτοι εισήγαγαν μεθόδους αντίστροφης σχεδίασης ώστε να βελτιώσουν τα προϊόντα των ανταγωνιστών τους και κατά συνέπεια να εξοικονομήσουν χρόνο και κόπο αποφεύγοντας την κανονική σχεδίαση και συμπιέζοντας τους κύκλους ανάπτυξης κατά την παραγωγή. Η επιτυχία τους στην παραγωγή νέων προϊόντων με τη χρήση της αντίστροφης σχεδίασης την ανάδειξε σε μια πλήρη, αυτόνομη και με άριστα αποτελέσματα σχεδιαστική υπό-επιστήμη και οδήγησε στην αποδοχή της από τον δυτικό κόσμο.

Ειδικότερα, η αντίστροφη σχεδίαση με τη χρήση υπολογιστή, αναφέρεται στη σύλληψη της γεωμετρίας φυσικών αντικειμένων με τη δημιουργία ενός συνόλου ψηφιοποιημένων δεδομένων και στην επεξεργασία των δεδομένων αυτών για τη δημιουργία ενός νέου σχεδιασμού. Το νέο σχέδιο μπορεί να είναι ένα πιστό αντίγραφο του αυθεντικού ή μια εντελώς διαφορετική προσαρμογή του. Κατά την αντίστροφη σχεδίαση έχουμε αντιστροφή της συμβατικής πορείας σχεδίασης από τη σύλληψη μιας ιδέας, στη δημιουργία ενός CAD μοντέλου και του τελικού προϊόντος. Εδώ αφετηρία είναι το τελικό προϊόν και βασική επιδίωξη να αποκαλυφθούν όσο το δυνατόν περισσότερες από τις ιδέες που οδήγησαν στη δημιουργία του. Με αυτό τον



τρόπο, το αρχικό προϊόν μετατρέπεται σε μοντέλο – οδηγό για τη δημιουργία ενός νέου.

Κάθε εφαρμογή αντίστροφης σχεδίασης περιλαμβάνει δύο στάδια: την ψηφιοποίηση και την επεξεργασία των δεδομένων. *Ψηφιοποίηση (digitization or 3 dimensional scanning)*, είναι η διαδικασία τρισδιάστατης σάρωσης φυσικών αντικειμένων για την εξαγωγή των απαιτούμενων δεδομένων με τη χρήση προηγμένων τεχνολογικά συστημάτων. Πολλές διαφορετικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της. Κυμαίνονται από μηχανικές και πολύ αργές, μέχρι υψηλά αυτοματοποιημένες βασισμένες στην εκπομπή ακτινοβολίας. Κάθε τεχνολογία έχει τα πλεονεκτήματά και τα μειονεκτήματά της και διαφορετικό εύρος εφαρμογών. Αυτό που τελικά εξάγεται σε κάθε περίπτωση είναι μια περιγραφή του φυσικού αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο, η οποία ονομάζεται νέφος σημείων.

Ως νέφος σημείων ορίζεται ένα σύνολο σημείων στον τρισδιάστατο χώρο και μπορεί να αποτελείται από ορισμένα μόνο σημεία ή αρκετά εκατομμύρια. Τυπικά ορίζει πολυάριθμα σημεία στην επιφάνεια ενός αντικειμένου υπό τη μορφή καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Κάθε συντεταγμένη  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ενός σημείου, αντιστοιχεί σε μια συντεταγμένη της επιφάνειας του αντικειμένου. Ωστόσο, μερικά scanners, όπως αυτά που εκπέμπουν ακτίνες  $X$ , μπορούν να αποτυπώσουν και το εσωτερικό του αντικειμένου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το νέφος σημείων καθορίζει και το εσωτερικό του αντικειμένου και μπορεί να περιγράψει και την πυκνότητά του.

Συνήθως, το συντομότερο στάδιο κατά την εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης είναι η ψηφιοποίηση. Αν και υπάρχουν εξαιρέσεις, για τη σάρωση ενός αντικειμένου απαιτούνται μόνο λίγα δευτερόλεπτα, ή λίγα λεπτά. Αντιθέτως, η επεξεργασία των data απαιτεί αρκετά μεγάλο χρόνο και είναι ιδιαίτερα επίπονη. Σε αρκετές περιπτώσεις απαιτούνται αρκετές μέρες ή και μήνες για την ολοκλήρωση αυτού του σταδίου.

## 1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Διάφορα εργαλεία διατίθενται για την ψηφιοποίηση αντικειμένων ποικίλων διαστάσεων (απο μικροσκοπικά εξαρτήματα μέχρι ολόκληρα κατασκευαστικά έργα). Τα βασικά προσδιοριστικά τους τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα τρία: η επιφάνεια σάρωσης (volume), η ακρίβεια (accuracy) και η ταχύτητα (speed).

- Η επιφάνεια σάρωσης ερμηνεύεται εξ' ορισμού. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί ότι για τις περισσότερες μεθόδους δεν καθιστά σημαντικό περιορισμό. Κι αυτό γιατί είναι δυνατή η συνένωση πολλαπλών ψηφιοποιήσεων με τη χρήση του λογισμικού αντίστροφης σχεδίασης, ώστε να διευθετηθούν αντικείμενα με διαστάσεις μεγαλύτερες από τη διαθέσιμη επιφάνεια σάρωσης. Στην περίπτωση αυτή βέβαια απαιτείται περισσότερος χρόνος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας και η ακρίβεια δεν είναι το ίδιο καλή.
- Η ακρίβεια συνδέεται με την ανάλυση (resolution) αλλά όχι ανάλογα. Η πρώτη αναφέρεται στο βαθμό τον οποίο προσεγγίζουν τα ψηφιοποιημένα δεδομένα τις διαστάσεις του αρχικού αντικειμένου. Η δεύτερη καθορίζει το μικρότερο βαθμό απόστασης ή επιφάνειας τον οποίο μπορεί να μετρήσει ένα εργαλείο. Είναι πιθανό ένα εργαλείο ψηφιοποίησης να έχει υψηλή ανάλυση αλλά χαμηλή ακρίβεια και το αντίστροφο. Η ακρίβεια και η ανάλυση είναι από τα πλέον αμφιλεγόμενα στοιχεία ενός εργαλείου

ψηφιοποίησης, καθώς οι προδιαγραφές του κατασκευαστή δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες.

- Η ταχύτητα αναφέρεται στο πόσο γρήγορος ή αργός είναι ο ρυθμός εξαγωγής των δεδομένων. Κυμαίνεται από μερικά σημεία μέχρι εκατομμύρια σημεία το δευτερόλεπτο.

Για την πραγματοποίηση της ψηφιοποίησης χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, οι οποίες διακρίνονται γενικά στις εξής δύο κατηγορίες: contact και non-contact. Οι πρώτες προϋποθέτουν την επαφή του αντικειμένου με τον σαρωτή (tactile), ενώ οι δεύτερες όχι (laser or optical).

Οι contact μέθοδοι αναφέρονται στη χρήση εργαλειομηχανών μέτρησης συντεταγμένων (CMM δηλαδή coordinate measuring machines). Μια τέτοια εργαλειομηχανή ουσιαστικά συνιστά ένα ρομποτικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από έναν ηλεκτρο-μηχανικό βραχίονα πολλαπλών αρθρώσεων και μια συσκευή ανίχνευσης σημείων (touch probe) προσαρμοσμένη στην επιφάνεια της αρπάγης. Με τη μετακίνηση του βραχίονα και την τοποθέτηση της συσκευής σε ένα σημείο του αντικειμένου, εκπέμπεται ένα σήμα όταν ασκηθεί πίεση στην απόληξη του βραχίονα από την επαφή του με το αντικείμενο. Το σήμα αυτό φέρει πληροφορίες για τις συντεταγμένες του σημείου στο χώρο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται με την επανατοποθέτηση της αρπάγης σε νέο σημείο και την ανάγνωση των συντεταγμένων του νέου σημείου. Στις αναλογικές CMM ακολουθείται αυτόματα το περίγραμμα του αντικειμένου για την ανίχνευση των σημείων, ενώ στις μη αναλογικές CMM (point to point CMM) πρέπει ο χρήστης να προσαρμόσει την αρπάγη στα διακεκριμένα σημεία.

Οι non-contact μέθοδοι ψηφιοποίησης αναφέρονται στη χρήση τρισδιάστατων σαρωτών (scanners). Τα 3D scanners εκπέμπουν διάφορους τύπους σημάτων (laser, λευκό φως, ακτινοβολία ακόμα και ηχητικά κύματα) προκειμένου να καθορίσουν με ακρίβεια τις αποστάσεις που καθορίζουν τη γεωμετρία του αντικειμένου που θα σαρωθεί. Με τον τρόπο αυτό, συλλέγουν ένα νέφος σημείων οργανωμένο σε τυχαία μορφή. Τα scanners που χρησιμοποιούνται ευρέως για την ψηφιοποίηση αντικειμένων είναι τα laser (εκπομπή κόκκινου φωτός) και τα optical (εκπομπή λευκού φωτός).

Τα laser scanners εκπέμπουν μια ακτίνα laser κατά μήκος της επιφάνειας του αντικειμένου και στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζουν γεωμετρική τριγωνοποίηση για να καθορίσουν τις συντεταγμένες τις επιφάνειάς του. Η εκπεμπόμενη ακτίνα laser τέμνει κατά μοναδικό τρόπο τα στοιχειώδη σημεία που συνθέτουν την επιφάνεια του αντικειμένου. Κάθε ένα από τα σημεία αυτά ανιχνεύονται από έναν αριθμό αισθητήρων, οι οποίοι δημιουργούν μια μοναδική απεικόνιση της συντεταγμένης του υπό μορφή εικόνας (image data). Οι αισθητήρες αυτοί είναι συνήθως διατεταγμένοι σε μορφή πλέγματος, διάταξη η οποία εξασφαλίζεται με τη χρήση μιας κάμερας CCD (charged couple device) στο εσωτερικό του σαρωτή. Με την εφαρμογή ενός αλγόριθμου τριγωνοποίησης οι διάφορες συντεταγμένες ενώνονται στο τελικό δικτυωτό πλέγμα.

Τα optical scanners εφαρμόζουν μια άλλη μέθοδο ψηφιοποίησης. Τα περισσότερα εκπέμπουν λευκό φως, ενώ άλλα κάνουν χρήση μιας ευρείας πηγής φωτός (λάμπα αλογόνου). Με αυτό τον τρόπο εκπέμπεται μια δέσμη φωτεινών ακτίνων υπό μορφή πλέγματος στην επιφάνεια του αντικειμένου προς ψηφιοποίηση. Το πλέγμα αντανακλάται από το αντικείμενο (εξαιτίας της τρισδιάστατης φύσης του) και η απόκλιση από το αυθεντικό πλέγμα μεταφράζεται σε μέτρηση επιφάνειας για κάθε σημείο του οπτικού πεδίου

του scanner. Όπως και στα laser scanners, έτσι και εδώ χρησιμοποιούνται αισθητήρες σταθερής απεικόνισης της μορφής CCD και εκτελείται τριγωνοποίηση για τα διάφορα σημεία. Η εκπομπή λευκού φωτός οδηγεί σε υψηλότερη ανάλυση του πλέγματος συγκριτικά με την εκπομπή κόκκινου φωτός, αλλά αυτό δε συνεπάγεται απαραίτητα και ποιοτικότερο αποτέλεσμα καθώς η υψηλότερη ανάλυση έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των παραμορφωμένων δεδομένων (noisy data ή θόρυβος).

Οι contact τεχνολογίες ήταν οι πρώτες που εφαρμόστηκαν για την ψηφιοποίηση αντικειμένων, καθώς προηγήθηκαν χρονικά των non-contact. Σταδιακά όμως αρχίζουν να εγκαταλείπονται. Αν και γενικά αποδίδουν δεδομένα υψηλής ακρίβειας και δεν επηρεάζονται από τη διάφανη και αντανακλαστική υφή ενός αντικειμένου, ή από το χρώμα του, απαιτείται αρκετός χρόνος και κόπος για την εξαγωγή των σημείων του περιγράμματός του. Επιπλέον, η ανάγκη επαφής με το αντικείμενο για την εξαγωγή των δεδομένων συνιστά από μόνη της ένα σημαντικό μειονέκτημα. Οι τεχνολογίες αυτής της μορφής δε μπορούν να εφαρμοστούν σε αντικείμενα από μαλακά υλικά, τα οποία θα παραμορφωθούν κατά την επαφή τους με την αρπάγη, ούτε σε αντικείμενα μικρότερων διαστάσεων από το μέγεθος της αρπάγης.

Αντιθέτως, η χρήση non-contact τεχνολογιών ανταπεξέρχεται με επιτυχία στα παραπάνω ζητήματα. Σε ελάχιστο χρόνο αποδίδονται υψηλής ποιότητας δεδομένα αποφέροντας την επαφή του σαρωτή με αυτά. Η προσέγγιση αυτή είναι περισσότερη αξιόπιστη και μπορεί να εφαρμοστεί σε πλήθος αντικειμένων κατασκευασμένα από ευπαραμόρφωτα υλικά όπως λάστιχο, πηλός, πλαστικό. Το μοναδικό τους μειονέκτημα είναι ότι τα laser scanners (σε αντίθεση με τα optical και contact scanners) επηρεάζονται από το χρώμα μιας επιφάνειας καθώς και από τη διάφανη ή αντανακλαστική υφή της και αποδίδουν δεδομένα χειρότερης ποιότητας. Παρά το τελευταίο μειονέκτημα των laser scanners, η απλότητα της τεχνικής που χρησιμοποιούν, η ευκολία στη χρήση τους καθώς και η προσιτή τιμή τους, έχουν παγιώσει τις non-contact τεχνολογίες ως το κατ' εξοχήν εργαλείο ψηφιακής σάρωσης κατά την εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης.

### **1.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

Μετά τη συλλογή των δεδομένων με μια από τις παραπάνω μεθόδους ψηφιοποίησης, ακολουθεί η επεξεργασία τους με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού. Το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να υποστηρίζει την απεικόνιση των δεδομένων σε τρισδιάστατο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας, στο οποίο είναι εφικτή η αλληλεπίδρασή τους με τον χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Η τρισδιάστατη απεικόνιση των δεδομένων διευκολύνει το έργο του χειριστή καθώς καθορίζει πλήρως τη μορφή του αντικειμένου και απαλείφει την ανάγκη για πολλαπλές απεικονίσεις του, όπως απαιτείται στα συμβατικά δυσδιάστατα συστήματα σχεδίασης.

Όπως αναφέρθηκε, τα ψηφιοποιημένα δεδομένα εισάγονται στο λογισμικό με τη μορφή πολλαπλών νέφων σημείων. Κάθε ένα από αυτά αντιπροσωπεύει μερικές απεικονίσεις του αντικειμένου από διαφορετική οπτική γωνία και σε κάθε ένα από αυτά αποδίδεται η συντεταγμένη του συστήματος του αισθητήρα. Τα νέφη σημείων εμφανίζονται παραμορφωμένα (ανεπιθύμητα σημεία, τεθλασμένες γραμμές, τα οποία αποκαλούνται θόρυβος) εξαιτίας αποτυχίας του συστήματος μέτρησης του σαρωτή. Προκειμένου να δημιουργήσουμε μια έγκυρη περιγραφή του τελικού αντικειμένου κατά την επανασχεδίασή του από αυτό το είδος των δεδομένων, προτείνεται η ακόλουθη αλληλεχούχια βημάτων:

1. Αφαίρεση των erroneous data από τα νέφη σημείων (cleaning).
2. Μετασχηματισμός των πολλαπλών νέφων σημείων σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων (transformation) με την ευθυγράμμιση και συνένωσή τους σε ένα τελικό νέφος (alignment and registration).
3. Μετατροπή του τελικού νέφους σε ένα τριγωνοποιημένο πολυγωνικό πλέγμα (triangular polygon mesh).
4. Χάραξη NURBS καμπύλων και δημιουργία ενός ενοποιημένου δικτύου καμπύλων στο τριγωνοποιημένο μοντέλο (curve network).
5. Προσαρμογή επιφανειών ελεύθερης μορφής τύπου NURBS στο δίκτυο καμπύλων και δημιουργία ενός δικτύου επιφανειών (surface model).
6. Μετατροπή του μοντέλου επιφανειών σε ένα στερεό μοντέλο. Η διαδικασία αυτή είναι εφικτή είτε στο ίδιο λογισμικό αντίστροφης σχεδίασης είτε σε μια CAD εφαρμογή όπως το Pro-Engineer.
7. Παρουσίαση του μοντέλου στο διαδίκτυο με χρήση της VRML (Virtual Reality Modeling Language).
8. Εξαγωγή του τελικού μοντέλου σε ένα σύστημα CAM για την παραγωγή του. Η παραγωγή του είναι εφικτή είτε με την εφαρμογή μιας παραδοσιακής μεθόδου σε μια εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου (CNC), είτε με την εφαρμογή μιας μεθόδου ταχείας πρωτοτυποποίησης, όπως η στερεολιθογραφία (τα αρχεία εξαγωγής του μοντέλου είναι της μορφής IGES και STL αντίστοιχα). Πριν την παραγωγή ενός πρωτοτύπου είναι εφικτή η δοκιμή της αποδοσης του μοντέλου, καθώς και η προσομοίωση της διαδικασίας παραγωγής και η εφαρμογή ελέγχου ποιότητας.

Αρκετά από τα παραπάνω βήματα μπορούν να παραληφθούν. Για παράδειγμα, ορισμένοι τρισδιάστατοι σαρωτές τριγωνοποιούν αυτόματα τα πολλαπλά νέφη σημείων, οπότε το τρίτο βήμα δεν είναι αναγκαίο. Σε κάθε περίπτωση, ο αριθμός των βημάτων καθορίζεται από τον τελικό στόχο της αντίστροφης σχεδίασης και την επιθυμητή ακρίβεια. Για παράδειγμα, αν επιθυμείται απλώς μια αναπαράσταση του μοντέλου σε τρισδιάστατο περιβάλλον, η διαδικασία ολοκληρώνεται με τη δημιουργία του τριγωνοποιημένου πλέγματος. Αν όμως απαιτείται η παραγωγή ενός πρωτοτύπου του αντικειμένου ή η εξαγωγή του σε ένα σύστημα CAD, είναι απαραίτητη η δημιουργία NURBS επιφανειών για την αναπαράσταση της τοπολογίας του και την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας.

#### **1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ**

Η αντίστροφη σχεδίαση εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδίασης.

Κατ' αρχην, η σχεδίαση σε συμβατικά δυσδιάστατα λογισμικά CAD προϋποθέτει τη χρήση γεωμετρικών οργάνων για την πραγματοποίηση υπολογισμών και μετρήσεων προκειμένου να υπολογιστούν με ακρίβεια οι διαστάσεις του αντικειμένου που πρόκειται να σχεδιαστεί. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις οι σχεδιαστές αναγκάζονται να δημιουργήσουν πρωτότυπα των αντικειμένων που θέλουν να σχεδιάσουν από διάφορα υλικά (όπως πηλός, ξύλο, καουτσούκ) ώστε να έχουν μια εποπτική εικόνα και να διευκολυνθούν κατά τη σχεδιάσή τους. Καθώς τα προϊόντα αποκτούν περισσότερο οργανικό και λεπτομερές σχήμα η πραγματοποίηση αξιόπιστων μετρήσεων και η δημιουργία ακριβούς πρωτοτύπου φαντάζουν αδύνατες. Εξ' άλλου, ακόμα και για απλά αντικείμενα είναι ιδιαίτερα δύσκολο το CAD μοντέλο να προσεγγίζει επακριβώς το πρωτοτυποποιημένο μοντέλο. Με την εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης όχι μόνο επιτυγχάνεται ικανοποιητική ακρίβεια στη

δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου και βελτιώνεται η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος, αλλά αποφεύγονται και αρκετές ώρες επίπονης εργασίας.

Ένα βασικό προτέρημα της αντίστροφης σχεδίασης είναι η συμπίεση των χρόνων ανάπτυξης κατά την παραγωγή. Στο έντονα ανταγωνιστικό πλαίσιο λειτουργίας της παγκοσμιοποιημένης αγοράς, οι κατασκευαστές συνεχώς αναζητούν νέους τρόπους για τη μείωση του χρόνου εισαγωγής των προϊόντων τους στην αγορά και την εξασφάλιση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών κατασκευής μοντέλων με τη χρήση της ταχείας πρωτοτυποποίησης (rapid prototyping) και συμπληρωματικά του rapid tooling μειώνει το χρόνο κατασκευής μοντέλων κάθε πολυπλοκότητας σε ελάχιστα ώρες. Οι μέθοδοι αυτές, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή, δημιουργούν σταδιακά το μοντέλο με τη μέθοδο στρώμα-στρώμα προσθέτοντας υλικό και όχι αφαιρώντας. Με τη χρήση αντίστροφης σχεδίασης, ένα προϊόν μπορεί πολύ γρήγορα να αποτυπωθεί σε ψηφιακή μορφή, να επανασχεδιαστεί υπό μορφή τρισδιάστατου μοντέλου και να εξαχθεί για rapid prototyping/tooling. Με τον τρόπο αυτό επιταχύνεται η παραγωγική διαδικασία και αυξάνεται η παραγωγικότητα, ενώ ταυτόχρονα η μείωση του χρόνου παραγωγής οδηγεί και σε μείωση του κόστους των νέων προϊόντων.

Σε αρκετές περιπτώσεις, ο χρόνος που εξοικονομείται με την εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης επιτρέπει την καθυστέρηση στην έναρξη παραγωγής ενός προϊόντος. Αυτό σημαίνει ότι οι εταιρίες έχουν την ικανότητα να ανταποκριθούν άμεσα σε αλλαγές ή διαφορετικές τάσεις που εκδηλώνονται στην αγορά. Επίσης σημαίνει ότι οι εταιρείες έχουν χρόνο για να επικοινωνήσουν με τους πελάτες. Με αυτό τον τρόπο, οι απαιτήσεις των πελατών λαμβάνονται υπ' όψη και ορισμένα από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των προϊόντων μεταβάλλονται πριν την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας.

Η επαλήθευση ενός προϊόντος είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα κατά την εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης. Τα αρχικά ψηφιοποιημένα σημεία αντιπαραβάλλονται με την τελική γεωμετρία του μοντέλου που παράγει το σύστημα και οι αποκλίσεις παρουσιάζονται σε γραφική μορφή. Η εξαγωγή πλάνων και διαγραμμάτων του μοντέλου σε όλη τη διάρκεια της αντίστροφης σχεδίασης καθιστούν εφικτή την αρχική επιθεώρηση ενός προϊόντος, τον έλεγχο της ποιότητάς του και την ανίχνευση ελαττωμάτων κατά τη διαδικασία παραγωγής του.

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι επιθυμητή η αναπαραγωγή ενός προϊόντος, για το οποίο δεν υπάρχει επαρκής τεκμηρίωση (τεχνικές προδιαγραφές, σχέδια), η χρήση της αντίστροφης σχεδίασης επιβάλλεται. Τυπικό παράδειγμα αυτής της περίπτωσης είναι ο κατασκευαστής ενός προϊόντος να μην το παράγει πλέον ή να μην υφίσταται, αλλά η ζήτηση του προϊόντος να είναι αρκετά υψηλή. Σε άλλες περιπτώσεις, ο εκσυγχρονισμός ξεπερασμένων προϊόντων καθιστά αναγκαία τη χρήση της αντίστροφης σχεδίασης.

Τέλος, ένα πλεονέκτημα από τη χρήση της αντίστροφης σχεδίασης, το οποίο δεν είναι ιδιαίτερα προφανές αλλά μπορεί να έχει μακροπρόθεσμα οφέλη για μια εταιρεία, είναι ότι με την τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου στον υπολογιστή, πολύπλοκες ιδέες αναπαριστούνται με ακρίβεια και ευκολία. Οι διαδικασίες παραγωγής ενός αντικειμένου διεκπεραιώνονται από πολλές ομάδες, συχνά εγκατεστημένες σε διαφορετικές περιοχές ανά τον κόσμο. Για παράδειγμα, το σχεδιαστικό τμήμα μιας πολυεθνικής εταιρείας είναι πιθανό

να βρίσκεται σε διαφορετική χώρα από ότι το κατασκευαστικό. Το αποτέλεσμα της συνεργασίας όλων αυτών των τμημάτων για την ανάπτυξη μιας ιδέας διευρύνει το πεδίο δράσης τους. Κατά την αντίστροφη σχεδίαση ενός προϊόντος ή ανάλυση, ο έλεγχος ποιότητας και διάφορες άλλες λειτουργίες οι οποίες μέχρι πρότινος εφαρμόζονταν ξεχωριστά, πλέον εξελίσσονται ταυτόχρονα, καθώς τα διάφορα τμήματα μπορούν να δουλέψουν από το ίδιο ψηφιοποιημένο αρχείο. Με αυτό τον τρόπο, η διάρθρωση της παραγωγικής διαδικασίας γίνεται περισσότερο εύκαμπτη και εξασφαλίζεται η άριστη συνεργασία μεταξύ των διαφόρων τμημάτων.

### **1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ**

Η αντίστροφη σχεδίαση εμφανίζει ένα αρκετά μεγάλο εύρος εφαρμογών σε αρκετούς τομείς της βιομηχανίας και της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Στον μηχανολογικό τομέα, πολύπλοκοι μηχανολογικοί εξοπλισμοί καθώς και εξαρτήματα ή συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην παραγωγή, αντιγράφονται ψηφιακά και επανασχεδιάζονται ώστε να βελτιωθεί η ποιότητά τους, αφού προηγουμένως καθοριστούν διάφορες χαρακτηριστικές τους ιδιότητες. Για παράδειγμα, ένα καλούπι χύτευσης δεν είναι απλώς το αρνητικό ενός προϊόντος που θα κατασκευαστεί στη συνέχεια. Κατά τη σχεδιάσή του πρέπει να συνυπολογιστούν διάφορες φυσικές του ιδιότητες, όπως η ελαστικότητά και η αντοχή του. Σε ένα καλούπι το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για τη χύτευση ενός προϊόντος, είναι εμφανή τα κακοσχεδιασμένα του τμήματα (στα οποία εμφανίζονται παραμορφώσεις και θραύσεις ή ρωγμές) καθώς και τα καλά σχεδιασμένα του τμήματα τα οποία έχουν διατηρηθεί ανέπαφα κατά την εφαρμογή της χύτευσης. Με την εφαρμογή αντίστροφης σχεδίασης, αναπαράγουμε όσα τμήματά του εμφανίζουν καλή σχεδίαση και αντικαθιστούμε τα κακοσχεδιασμένα με βελτιωμένες τους εκδοχές.

Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο ρόλος της αντίστροφης σχεδίασης στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροναυπηγική. Αρκετά τμήματα αυτοκινήτων ή αεροπλάνων δεν είναι πλέον διαθέσιμα στην αγορά. Τα πρωτότυπα τμήματα κατασκευάστηκαν αρκετές δεκαετίες πριν με χρήση δυσδιάστατων σχεδίων. Τα σχέδια αυτά σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι διαθέσιμα, αλλά ακόμη και όταν είναι η παραγωγή των τμημάτων με βάση αυτά είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία. Έτσι, τα τμήματα αυτά ψηφιοποιούνται και αναδημιουργούνται με τη χρήση αντίστροφης σχεδίασης. Είναι ακόμα δυνατή η κατασκευή φυσικών πρωτοτύπων αυτοκινήτων και των εσωτερικών τους χώρων υπό κλίμακα (scaling) ή στο πραγματικό τους μέγεθος.

Στην αρχιτεκτονική τα μοντέλα σχεδιάζονται αρχικά σε χαρτί, στη συνέχεια ψηφιοποιούνται στον υπολογιστή και παράγονται σε εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου. Προφανώς δε γίνεται λόγος για πλήρη ανακατασκευή ενός κτιρίου, αλλά για παραγωγή μικρών τμημάτων του. Στόχος είναι ο εντοπισμός ατελειών στα πρωτότυπα και η εξάλειψή τους με αναπροσαρμογή των σχεδίων πριν την τελική κατασκευή του μοντέλου. Στον τομέα των πολιτικών μηχανικών, η αντίστροφη σχεδίαση εφαρμόζεται για τη βελτίωση της ποιότητας των δομικών μερών των κατασκευών. Στην περίπτωση αυτή, όπως και στην περίπτωση μηχανολογικών εξοπλισμών, εντοπίζονται τα κακοσχεδιασμένα τμήματα τα οποία παραμορφώνονται από ασκούμενες φορτίσεις και επανασχεδιάζονται. Επιπλέον, επιτυχημένοι σχεδιασμοί γεφυρών και οικοδομημάτων του παρελθόντος αντιγράφονται προκειμένου να μειωθούν οι πιθανότητες κατάρρευσής.

Η αντίστροφη σχεδίαση εφαρμόζεται στην αρχαιολογία και την παλαιοντολογία για την τρισδιάστατη απεικόνιση ψηφιδωτών, τοιχογραφιών και μνημείων με ιδιαίτερα μεγάλη επιτυχία. Η ακριβής αναπαράστασή σε τρισδιάστατο περιβάλλον επιτρέπει την αποστολή τους υπό ψηφιακή μορφή σε διάφορους ειδικούς αναλυτές σε όλο τον κόσμο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη διαβρωτική επίδραση που ασκούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες και ο χρόνος. Με την αναδημιουργία άρτιων ψηφιακών μοντέλων διευκολύνεται το έργο των συντηρητών και είναι δυνατή η συμπλήρωση των ελλিপών κομματιών. Είναι επίσης εφικτή η δημιουργία εικονικών μουσείων καθώς και φωτορεαλιστικών τρισδιάστατων προβολών με κείμενο και ήχο. Το ψηφιακό υλικό που δημιουργείται μπορεί να προβληθεί στο διαδίκτυο και σε άλλα πολυμέσα. Στους τομείς της αρχαιολογίας και της παλαιοντολογίας εφαρμόζεται αποκλειστικά η χρήση non-contact σαρωτών για την ψηφιοποίηση, ώστε να αποφευχθεί η επαφή με τα ιδιαίτερα ευπαθή ευρήματα.

Η αντίστροφη σχεδίαση βρίσκει εφαρμογή και στην τέχνη. Αρκετοί καλλιτέχνες προτιμούν να δουλεύουν σε μικρότερο μέγεθος από αυτό της τελικής τους εφαρμογής και στη συνέχεια να ψηφιοποιούν τη δουλειά τους και να τη διαστασιολογούν στο επιθυμητό μέγεθος (scaling). Κατά τη μεγένθυσή του, το καλλιτεχνικό έργο (πίνακας ζωγραφικής, γλυπτό) διατηρεί τις ακριβείς λεπτομέρειες του αρχικού. Με τη χρήση μεθόδων ταχείας πρωτοτυποποίησης είναι εφικτή η παραγωγή του τελικού πρωτοτύπου. Η αντίστροφη σχεδίαση εφαρμόζεται και στο animation και την παραγωγή παιχνιδιών σε υπολογιστές.

Καθοριστικής σημασίας είναι η εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης στον τομέα της ιατρικής και της παραϊατρικής. Στην οδοντιατρική ψηφιοποιούνται οδοντοστοιχίες ασθενών οι οποίες τροποποιούνται κατάλληλα και εκτελούνται προσομοιώσεις για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου θεραπείας. Ανάλογες είναι και οι εφαρμογές στην ορθοδοντική για την αναπροσαρμογή οδοντοστοιχιών. Στον τομέα της προσθετικής, με χρήση αξονικών τομογράφων και ενός κατάλληλου λογισμικού αντίστροφης σχεδίασης, ψηφιοποιούνται ζωτικά όργανα του ανθρώπινου σώματος και επανασχεδιάζονται. Μέσω της διαδικασίας αυτής εξάγονται πολύτιμες πληροφορίες οι οποίες εφαρμόζονται για τη δημιουργία τεχνητών μελών. Στην πλαστική χειρουργική, εκτελούνται ψηφιοποιήσεις μελών του ανθρωπίνου σώματος πριν και μετά την εφαρμογή της. Με τη σύγκριση των δεδομένων εξάγονται πολύτιμα συμπεράσματα τα οποία επιτρέπουν τη βελτίωση των μεθόδων.

Τέλος, η εμπορική βιομηχανία έχει αρχίσει εδώ και λίγα χρόνια να αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα της αντίστροφης σχεδίασης. Τυπικά παραδείγματα είναι η βιομηχανία παραγωγής ρούχων και υποδημάτων, στις οποίες με τη χρήση οπτικών scanners καθορίζονται ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού. Με τον τρόπο αυτό, τα προϊόντα εφαρμόζουν καλύτερα στον άνθρωπο και αρκετά χαρακτηριστικά τους εμφανίζονται βελτιστοποιημένα (π.χ. στερεά γεωμετρία σόλας υποδήματος, γεωμετρία κράνους ποδηλάτη).

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

### 2.1 MINOLTA VIVID 910/VI-910 NON-CONTACT 3D DIGITIZER

Για την τρισδιάστατη σάρωση του αντικειμένου χρησιμοποιήθηκε το 3D scanner VI - 910 της Minolta. Πρόκειται για τρισδιάστατο non contact σαρωτή, ο οποίος αποτυπώνει τρισδιάστατη γεωμετρία και μια έγχρωμη απεικόνιση της επιφάνειας. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην οπτική τριγωνοποίηση, μέσω της οποίας τα αποτυπωμένα διακεκριμένα σημεία του τρισδιάστατου χώρου (νέφος σημείων) συνδέονται μεταξύ τους σε ένα τριγωνοποιημένο δικτυωτό πλέγμα.

Αναλυτικότερα, το αντικείμενο σαρώνεται από μια οριζόντια δέσμη laser φωτός, η οποία εκπέμπεται από το διάφραγμα ενός κυλινδρικού φακού στο κάτω μέρος του scanner. Το φως που αντανακλάται από την επιφάνεια του αντικειμένου ανιχνεύεται από τον φακό του scanner και μεταβιβάζεται σε μια CCD camera, μέσω της οποίας μετατρέπεται σε πληροφορία απόστασης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη δέσμη φωτός να σαρώνει κάθετα την επιφάνεια του αντικειμένου από την κορυφή προς τη βάση μέσω ενός καθρέφτη, ο οποίος περιστρέφεται με τη βοήθεια ενός γαλβανόμετρου ακριβείας. Με αυτό τον τρόπο, λαμβάνεται μια τρισδιάστατη απεικόνιση του αντικειμένου υπό μορφή νέφους σημείων και στη συνέχεια εφαρμόζεται Delaunay τριγωνοποίηση για την εξαγωγή του δικτυωτού πλέγματος. Η βασική θεωρία της Delaunay τριγωνοποίησης θα αναλυθεί σε ξεχωριστή παράγραφο. Κατά το χρονικό διάστημα που η ακτίνα φωτός δεν εκπέμπεται τα δεδομένα του CCD συστήματος διέρχονται από ένα RGB φίλτρο, οπότε λαμβάνουμε και μια έγχρωμη εικόνα του αντικειμένου (bitmap image). Η ψηφιακή σάρωση διαρκεί περίπου 2.5 δευτερόλεπτα.

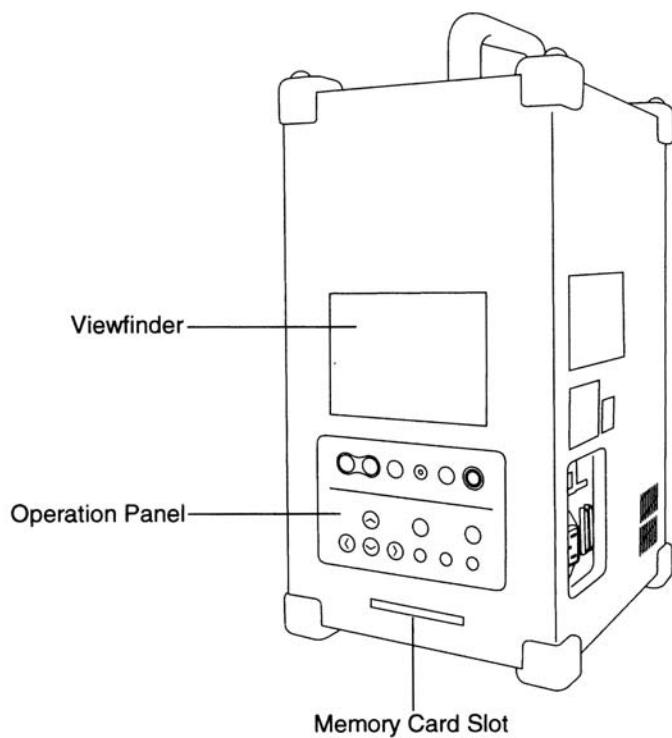
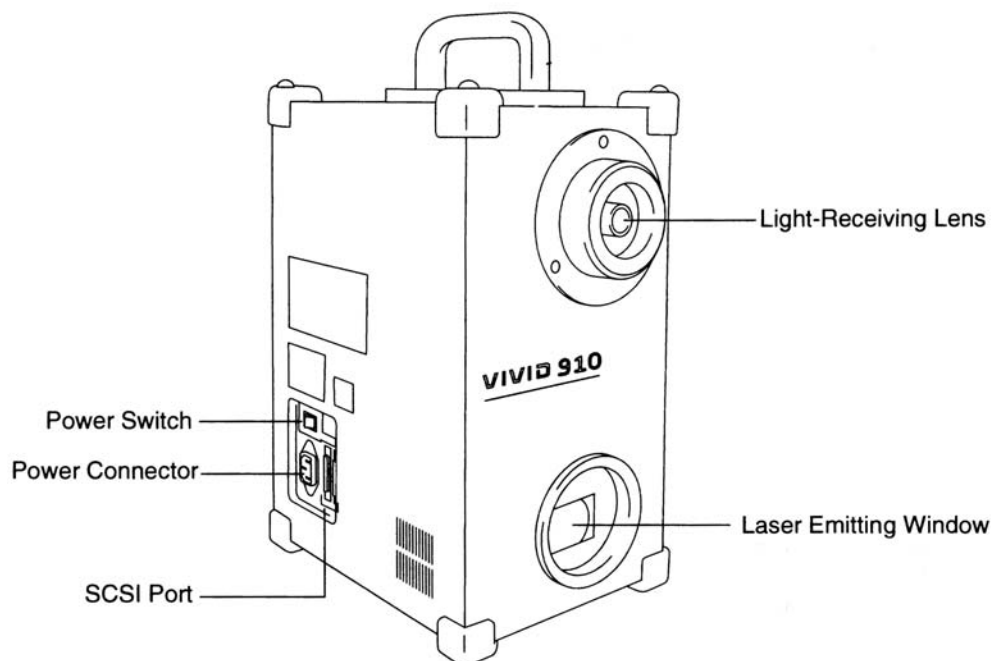


ΕΙΚΟΝΑ 2.1: Η VI-910.

Στην εικόνα 2.2 απεικονίζονται τα τμήματα της Minolta. Στην μπροστινή της όψη εμφανίζονται το παράθυρο εκπομπής του laser (Laser Emitting Window) και ο φακός για την αποτύπωση του αντικειμένου (Light Receiving Lens). Στην πλαϊνή της όψη, οι διακόπτες για την τροφοδοσία και η

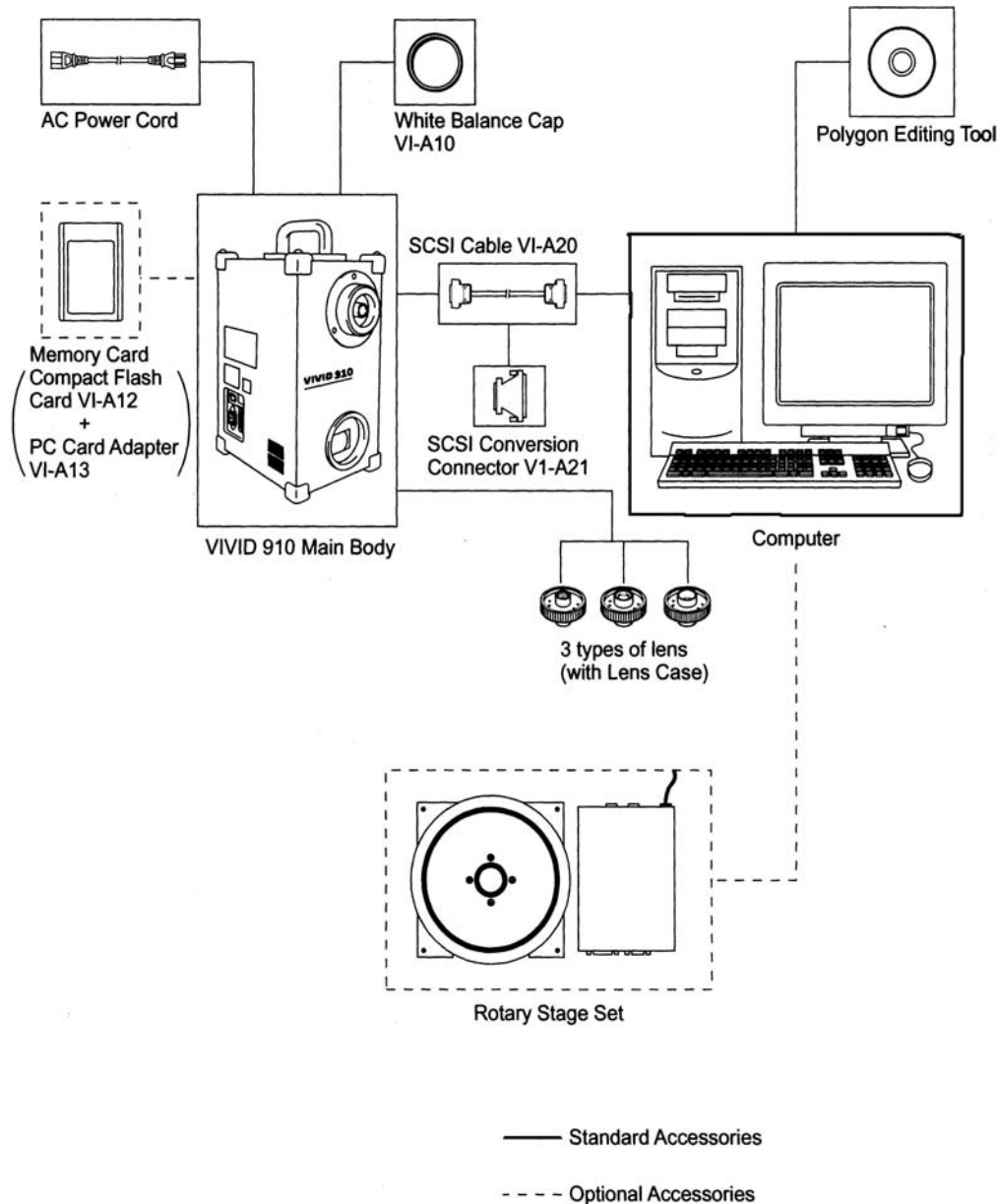


υποδοχή για ένα καλώδιο SCSI για την σύνδεσή της με τον υπολογιστή. Στην πίσω της όψη υπάρχουν το παράθυρο απεικόνισης του αντικειμένου (Viewfinder), ο πίνακας ελέγχου (Operation Panel) και η υποδοχή για μνήμη flash και την αποθήκευση των δεδομένων.



ΕΙΚΟΝΑ 2.2: ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΗΣ VIVID 910.

Στην εικόνα 2.3 εμφανίζεται η διάταξη του συστήματος που χρησιμοποιήσαμε κατά την εφαρμογή της ψηφιοποίησης. Ο απαραίτητος εξοπλισμός συμβολίζεται με συνεχή γραμμή, ενώ ο προαιρετικός με διακεκομμένη.



ΕΙΚΟΝΑ 2.3: ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η Minolta συνδέεται μέσω ενός SCSI καλωδίου με τον υπολογιστή. Στο βασικό της εξοπλισμό περιλαμβάνονται επίσης ένα λευκό διαφανές καπάκι (white balance cap), τρεις τύποι φακών και το μητρικό λογισμικό της (Polygon Editing Tool) για την επεξεργασία των δεδομένων. Προαιρετικά χρησιμοποιείται μια flash μνήμη για την αποθήκευση των δεδομένων καθώς και ένα περιστρεφόμενο πλατό για την τοποθέτηση του αντικειμένου που θα ψηφιοποιηθεί. Πρίν την έναρξη της ψηφιοποίησης, προσαρμόζουμε το white

balance cap στο scanner ώστε να βαθμονομηθεί το λευκό χρώμα. Η ρύθμιση αυτή πραγματοποιείται αυτόματα.

Η VI-910 μπορεί να ψηφιοποιήσει αντικείμενα διαφόρων διαστάσεων (οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από 110\*80\*40 mm μέχρι 1200\*900\*750 mm) χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους 3 φακούς:

- Έναν ευρυγώνιο φακό (WIDE LENS).
- Έναν μεσαίας γωνίας φακό (MIDDLE LENS).
- Έναν τηλεφακό (TELE LENS).

Ανάλογα με τις διαστάσεις του αντικειμένου επιλέγεται και ο κατάλληλος φακός. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται για τις οριακές τιμές της μετρούμενης απόστασης (0.6 και 2 m για τον ευρυγώνιο φακό – 0.6 και 2.5 m για τους άλλους δύο) και ενδιάμεσες τιμές τους, η μέγιστη τιμή της οριζόντιας και κάθετης διάστασης ενός αντικειμένου που μπορεί να αποτυπωθεί. Όλες οι τιμές εμφανίζονται σε χιλιοστά.

- **WIDE LENS** (εστιακή απόσταση  $f=8\text{mm}$ )

ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ		600	800	1000	1200	2000
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ	367.0	486.6	606.2	725.8	1204.2
	ΚΑΘΕΤΗ	275.2	364.9	454.6	544.4	903.2

- **MIDDLE LENS** (εστιακή απόσταση  $f=14\text{mm}$ )

ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ		600	800	1000	1200	2500
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ	204.7	270.6	336.5	402.4	830.6
	ΚΑΘΕΤΗ	153.6	203.0	252.4	301.8	622.9

- **TELE LENS** (εστιακή απόσταση  $f=25\text{ mm}$ )

ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ		600	800	1000	1200	2500
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ	113.9	151.0	188.0	225.1	465.9
	ΚΑΘΕΤΗ	85.4	113.2	141.0	168.8	349.4

Κατά την ψηφιοποίηση ενός αντικειμένου με τη χρήση του VI-910 είναι αδύνατη η αποτύπωση της συνολικής επιφάνειας του αντικειμένου με μια και μοναδική σάρωση. Επομένως, σαρώνω το αντικείμενο τμηματικά επιλέγοντας διάφορες όψεις του, τις οποίες στη συνέχεια θα ενοποιήσω στο αρχικό αντικείμενο με χρήση του Rapidform 2004. Η επιλογή των όψεων μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα, είτε αυτόματα με τη χρήση της περιστροφικής ιδιότητας του πλατό. Στη δεύτερη περίπτωση, καθορίζω τη γωνία περιστροφής του πλατό γύρω από τον άξονά του μέχρι να διαγραφεί ένας πλήρης κύκλος. Η τιμή της γωνίας καθορίζει και τον αριθμό των σαρώσεων που θα πραγματοποιηθούν. Για παράδειγμα, αν επιλέξω περιστροφή του πλατό ανά  $60^\circ$  θα εκτελεστούν 6 διαφορετικές ψηφιοποιήσεις. Όταν όλες οι σαρώσεις ολοκληρωθούν, προσαρμόζω ένα ειδικό αντικείμενο (calibration chart) στο turntable και εκτελώ μια ακόμη σάρωση. Ο λόγος είναι το καλιμπράρισμα του σαρωτή, ώστε κατά την περιστροφή του πλατό να αναγνωριστεί από το σύστημα η θέση κάθε ψηφιοποιημένης όψης στο χώρο. Κατά τη χειροκίνητη

ψηφιοποίηση δεν έχω περιστροφή, οπότε δεν απαιτείται η χρήση του calibration chart.

### 2.1.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΕ ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ

Τα δεδομένα που προκύπτουν κατά την τρισδιάστατη σάρωση ενός αντικειμένου με χρήση της VI - 910 επηρεάζονται από τους ακόλουθους παράγοντες:

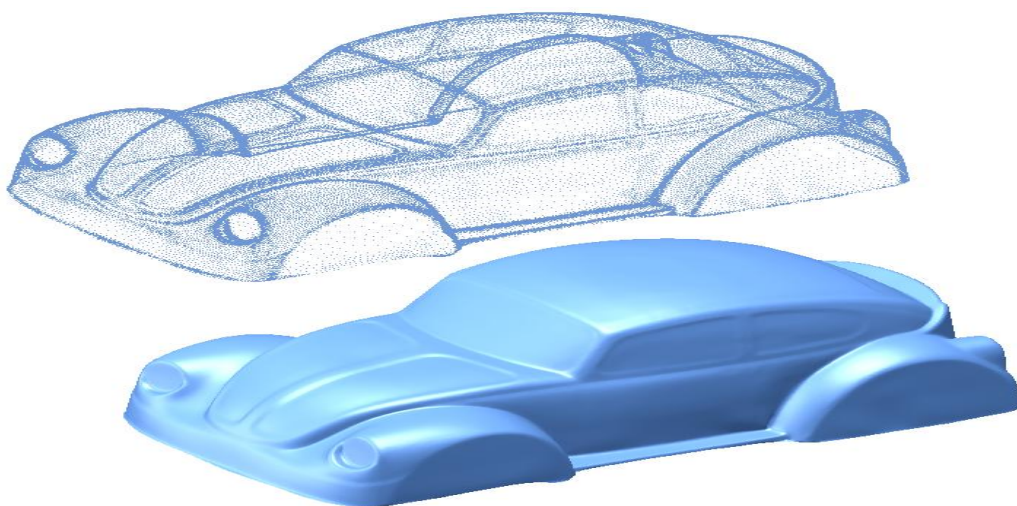
1. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ
2. ΦΩΤΙΣΜΟΣ
3. ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ
4. ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ
5. ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ

1. Εξαιτίας της μεγάλης ευαισθησίας της ακτίνας του laser είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μαύρων και κατά προτίμηση mat διαχωριστικών επιφανειών στο πίσω μέρος του αντικειμένου που πρόκειται να σαρωθεί. Οι επιφάνειες αυτές δεν έχουν φωτοανακλαστικές ιδιότητες και επομένως επιτρέπουν την ψηφιοποίηση αποκλειστικά του επιθυμητού αντικειμένου χωρίς την παρεμβολή ξένων σημείων του περιβάλλοντος χώρου. Αν και σπάνια επιτυγχάνεται η ψηφιοποίηση ενός αντικειμένου χωρίς την αποτύπωση ανεπιθύμητων σημείων από τις γειτονικές περιοχές, επιβάλλεται η χρήση επιφανειών χωρίς φωτοανακλαστικές ιδιότητες για τη μείωσή τους.
2. Το χρώμα του αντικειμένου που αποτυπώνεται κατά την ψηφιοποίηση ποικίλει ανάλογα με τον τύπο της φωτεινής πηγής που χρησιμοποιείται. Συνίσταται η χρήση σταθερής, χωρίς αναλαμπές φωτεινής πηγής (όπως για παράδειγμα οι υψηλής συχνότητας λαμπτήρες φθορίου). Ιδιαίτερα σημαντική είναι η κατάλληλη τοποθέτησή της φωτεινής πηγής στο χώρο, ώστε να αποφευχθούν αντανάκλασεις στο αντικείμενο οι οποίες θα αποτυπωθούν στα ψηφιοποιημένα δεδομένα.
3. Η ακριβής εστίαση του φακού του scanner στο αντικείμενο είναι ουσιαστική προϋπόθεση για την αποτύπωση ψηφιοποιημένων δεδομένων υψηλής ποιότητας. Η VI-910 παρέχει δύο δυνατότητες εστίασης: αυτόματη και χειροκίνητη (auto and manual focus αντίστοιχα). Η αυτόματη εστίαση εφαρμόζεται μέσω ανίχνευσης του contrast του αντικειμένου. Σε περιπτώσεις αντικειμένων τα οποία έχουν χαμηλό contrast ή contrast το οποίο είναι δύσκολο να ανιχνευθεί με ακρίβεια (όπως τα άσπρα και τα διαφανή αντικείμενα, ή αντικείμενα με επαναληπτικά μοτίβα -λαρίδες-) η λειτουργία αυτόματης εστίασης αδυνατεί να δώσει έγκυρα αποτελέσματα. Η εμπειρία όμως δείχνει ότι το manual focus δίνει **πάντοτε** καλύτερα αποτελέσματα από ότι το auto focus. Το auto focus είναι δυνατόν να χρησιμεύσει μόνο αρχικά σαν οδηγός για να προσεγγιστεί η εστίαση και στη συνέχεια να εφαρμοστεί manual focus για την επιθυμητή ακρίβεια.
4. Εφ' όσον γίνει χρήση της περιστροφικής ιδιότητας του πλατό, το αντικείμενο θα πρέπει να τοποθετηθεί στο κέντρο του. Σε κάθε περίπτωση, το αντικείμενο πρέπει να τοποθετείται στο ίδιο περίπου επίπεδο με τον φακό του scanner. Ενθαρρύνεται η χρήση διάφορων αντικειμένων ως βάσεις στήριξης για την ανύψωση του αντικειμένου στο επιθυμητό επίπεδο. Χρησιμοποιώντας το μητρικό software της Minolta Polygon Editing Tool (στο εξής PET) είναι απαραίτητο το αντικείμενο που θα σαρωθεί να εμφανίζεται στο κέντρο της οθόνης.

5. Η εμπειρία του χειριστή συμβάλλει καθοριστικά σε μια επιτυχημένη ψηφιοποίηση. Εξ' αιτίας της μεγάλης ευαισθησίας του laser, διάφορα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του αντικειμένου (όπως το χρώμα, η αντανakλαστικότητα και η διαφάνεια) παραμορφώνουν το αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης (εμφάνιση ανεπιθύμητων σημείων, τεθλασμένων γραμμών στο νέφος σημείων, γνωστά και ως θόρυβος ή noise). Ο χειριστής οφείλει να έχει ξεκάθαρη αντίληψη του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί το scanner και να μπορεί να προβλέψει το είδος των data το οποίο θα εξαχθεί κατά τη σάρωση. Είναι αναγκαίο να μπορεί να αναλύσει με ακρίβεια το νέφος σημείων και να διακρίνει τα επιθυμητά από τα ανεπιθύμητα data. Οι ανεξάρτητες ψηφιοποιήσεις των όψεων ενός αντικειμένου θα πρέπει να εξεταστούν προσεχτικά πριν τη συνένωσή τους, ώστε να αφαιρεθούν τα ανεπιθύμητα data. Κυριότερα απ' όλα, ο χειριστής οφείλει να γνωρίζει ότι συγκεντρώνοντας περισσότερα σημεία κατά τη σάρωση ενός αντικειμένου δε συνεπάγεται απαραίτητα μεγαλύτερη ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος. Αντίθετα, η συλλογή λιγότερων, καλύτερα τοποθετημένων σημείων, τα οποία προσεγγίζουν συνεπέστερα την επιφάνεια του αντικειμένου εξυπηρετούν καλύτερα τους σκοπούς της ψηφιοποίησης.

### 2.1.2 DELAUNAY ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΣΗ

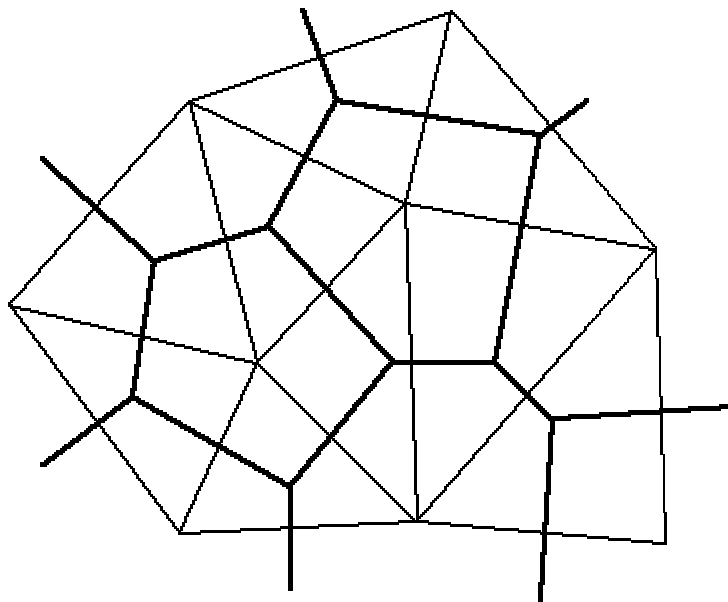
Η ανακατασκευή επιφανειών ακριβείας από ανοργάνωτα νέφη σημείων, τα οποία προκύπτουν από την ψηφιακή σάρωση ενός αντικειμένου, είναι ένα ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα το οποίο δεν έχει επιλυθεί πλήρως μέχρι σήμερα και γίνεται ακόμη οξύτερο στην περίπτωση ατελών ή αραιών δεδομένων. Η λύση η οποία εφαρμόζεται συνήθως είναι η μετατροπή του αδόμητου νέφους σημείων σε ένα συμπαγές τριγωνοποιημένο μοντέλο (mesh). Το τελευταίο αποτελείται από τριγωνικές, συνεχείς, μη επικαλυπτόμενες έδρες (faces), οι οποίες συνδέονται στις κοινές τους ακμές, και η διαδικασία δημιουργίας του ονομάζεται τριγωνοποίηση. Οι κορυφές των τριγώνων-εδρών είναι τα σημεία του εισαγόμενου νέφους. Αυτός είναι ο βασικός πυρήνας της τριγωνοποίησης.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ -POINT CLOUD- (ΠΑΝΩ) ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ -MESH- (ΚΑΤΩ).

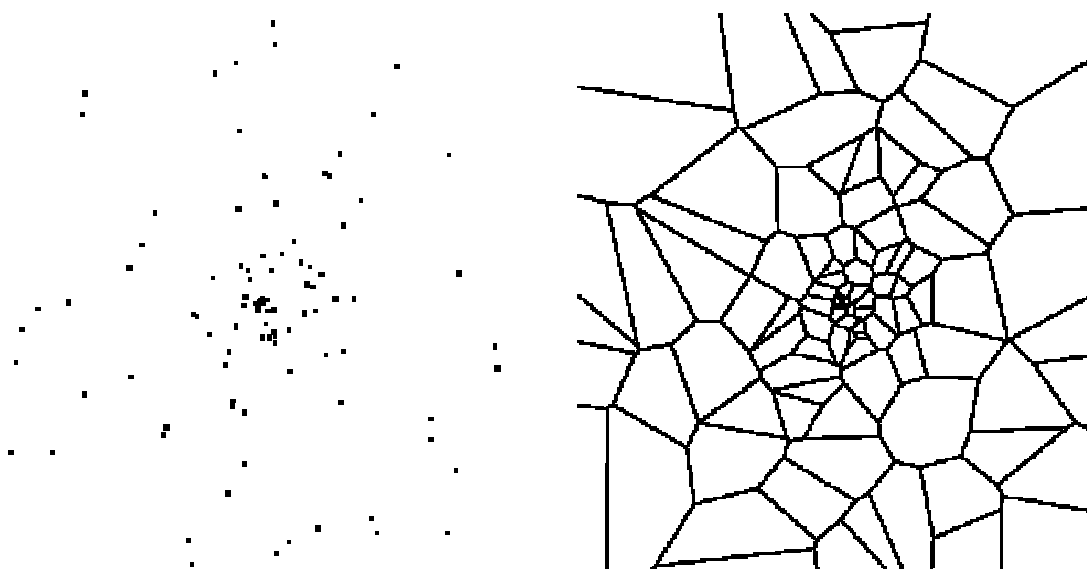
Μια από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους τριγωνοποίησης είναι η τριγωνοποίηση της μορφής 2D Surface, την οποία χρησιμοποιεί το PET. Κατά τη μέθοδο αυτή οι κορυφές - σημεία του νέφους στον τρισδιάστατο χώρο απεικονίζονται σε δυσδιάστατο επίπεδο και στη συνέχεια εφαρμόζεται Delaunay τριγωνοποίηση σε αυτές. Επομένως, για σωστή τριγωνοποίηση με χρήση αυτής της μεθόδου, θα πρέπει όλες οι κορυφές να προβάλλονται σε επίπεδο XY χωρίς αλληλοεπικάλυψη, διαδικασία η οποία πραγματοποιείται αυτόματα από το πρόγραμμα.

Η Delaunay τριγωνοποίηση συγγενεύει γεωμετρικά με τα Dirichlet ή Voronoi διαγράμματα. Στα διαγράμματα αυτά το επίπεδο χωρίζεται σε έναν αριθμό κλειστών πολυγωνικών περιοχών, οι οποίες ονομάζονται κελιά (cells). Κάθε κελί έχει ένα σημείο του νέφους στο εσωτερικό του το οποίο θεωρείται γεννήτρια δημιουργίας του κελιού. Όλα τα υπόλοιπα σημεία στο εσωτερικό του συγκεκριμένου κελιού είναι πιο κοντά στη γεννήτρια δημιουργίας από οποιαδήποτε άλλη γεννήτρια. Με αυτό τον τρόπο καθορίζονται τα όρια κάθε κελιού. Κάθε πλευρά ενός κελιού είναι η διχοτόμος του τμήματος που ενώνει τη γεννήτρια με την αντίστοιχη γειτονική της. Κάθε τομή πλευρών Voronoi ανήκει το λιγότερο σε τρία κελιά Voronoi. Η τομή αυτή είναι το κέντρο του κύκλου που περιβάλλει τις γεννήτριες των τριών αυτών κελιών. Αυτές οι τρεις γεννήτριες σχηματίζουν ένα Delaunay τρίγωνο, το οποίο είναι εγγεγραμμένο στον προηγούμενο κύκλο. Με αυτόν τον τρόπο, οι πλευρές κάθε Delaunay τριγώνου διχοτομούν κατακόρυφα τις πλευρές των Voronoi κελιών.

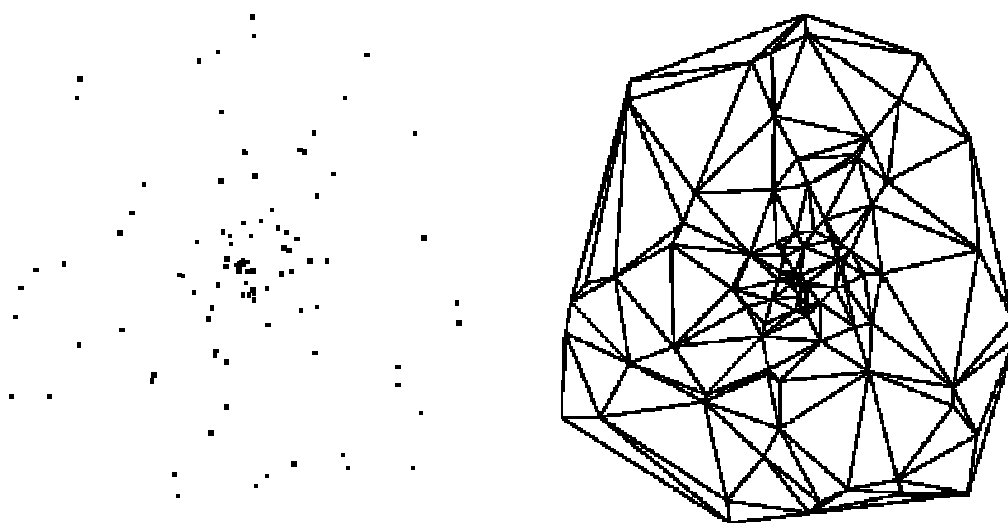


ΕΙΚΟΝΑ 2.5: DELAUNAY ΤΡΙΓΩΝΑ (ΛΕΠΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ) ΚΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ VORONOI ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ (ΕΝΤΟΝΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ) ΓΙΑ 9 ΣΗΜΕΙΑ - ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.

Τα Voronoi πολύγωνα (cells) είναι δυϊκά των τριγώνων που προκύπτουν με Delaunay τριγωνοποίηση (υπό την έννοια ότι αν τα πρώτα είναι γνωστά μπορούμε να ορίσουμε τα δεύτερα και αντίστροφα). Η σημαντική αυτή ιδιότητα εμφανίζεται στις εικόνες 2.5 και 2.6.



ΕΙΚΟΝΑ 2.6: ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ VORONOI (ΔΕΞΙΑ).

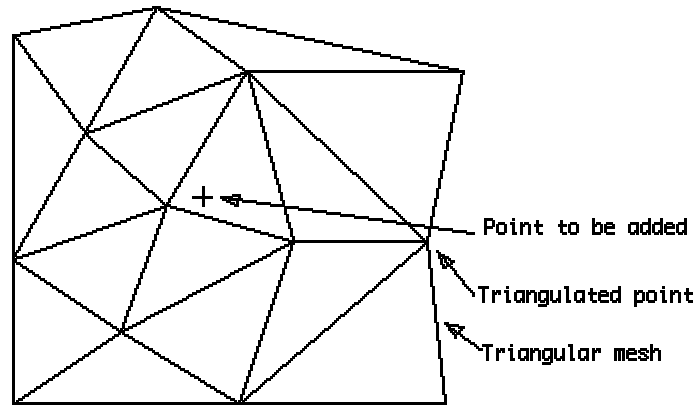


ΕΙΚΟΝΑ 2.7: ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΚΑΤΑ DELAUNAY ΠΛΕΓΜΑ (ΔΕΞΙΑ) ΓΙΑ ΤΟ ΙΔΙΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.6 (ΑΡΙΣΤΕΡΑ).

Η Delaunay τριγωνοποίηση ενός νέφους σημείων είναι ένα σύνολο πλευρών το οποίο ικανοποιεί την ιδιότητα του άδειου κύκλου: για κάθε πλευρά μπορούμε να βρούμε έναν κύκλο ο οποίος περιλαμβάνει τα ακραία σημεία της πλευράς αλλά δεν περιλαμβάνει άλλα σημεία. Με άλλα λόγια, ο κύκλος ο οποίος διέρχεται από τις κορυφές κάθε τριγώνου (από 3 δηλαδή σημεία του νέφους) δεν περιλαμβάνει άλλα σημεία στο εσωτερικό του. Επιπλέον, από τις κορυφές κάθε τέτοιου τριγώνου δε διέρχεται άλλος κύκλος με μεγαλύτερη ακτίνα. Ο κύκλος αυτός αναφέρεται και ως *circumcircle*.

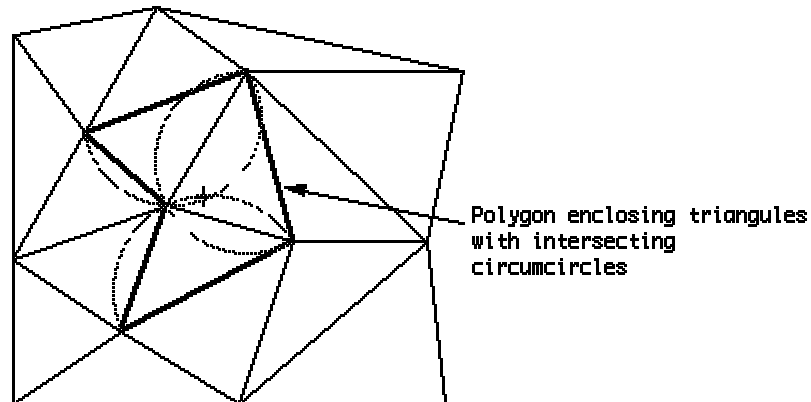
Η Delaunay τριγωνοποίηση ξεκινά με τη δημιουργία ενός υπερτριγώνου, ενός δηλαδή πλαστού τριγώνου, το οποίο περιβάλλει όλα τα σημεία του νέφους. Σε κάθε στάδιο της διαδικασίας υπάρχει ένα σημείο το οποίο πρέπει να

προστεθεί στο ήδη υπάρχον τριγωνοποιημένο πλέγμα. Στο τέλος της τριγωνοποίησης, όσα τρίγωνα μοιράζονται ακμές με το υπερτρίγωνο διαγράφονται από την τελική λίστα τριγώνων.



ΕΙΚΟΝΑ 2.8: ΝΕΟ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΘΑ ΠΡΟΣΤΕΘΕΙ ΣΤΟ ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ.

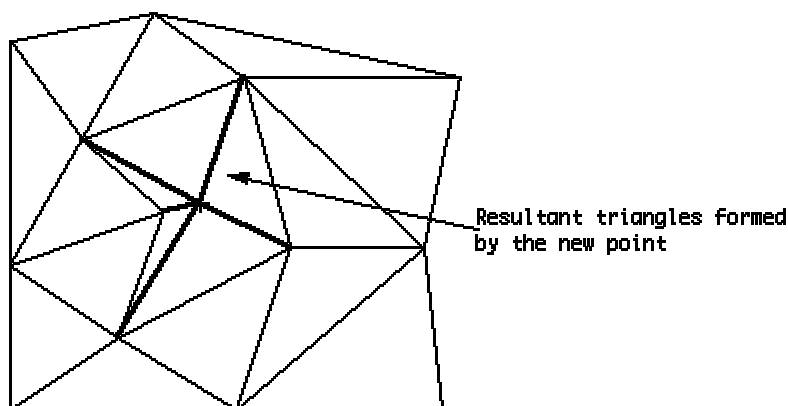
Από τα τρίγωνα της γειτονικής περιοχής του σημείου το οποίο πρόκειται να προστεθεί χαράσσω τους κύκλους οι οποίοι διέρχονται από τις κορυφές τους. Επιλέγονται όσοι από αυτούς περιβάλλουν το σημείο και από τις εξωτερικές πλευρές των αντίστοιχων τριγώνων δημιουργείται ένα κλειστό πολύγωνο (στην εικόνα 2.9 απεικονίζεται με έντονη μαύρη γραμμή).



ΕΙΚΟΝΑ 2.9: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ ΑΠΟ ΤΡΙΓΩΝΑ ΤΩΝ ΟΠΟΙΩΝ ΟΙ CIRCUMCIRCLES ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΝ ΤΟ ΝΕΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Τα τρίγωνα στο εσωτερικό του κλειστού πολυγώνου διαγράφονται και νέα τρίγωνα δημιουργούνται ανάμεσα στο νέο σημείο και κάθε μια από τις κορυφές του κλειστού πολυγώνου.





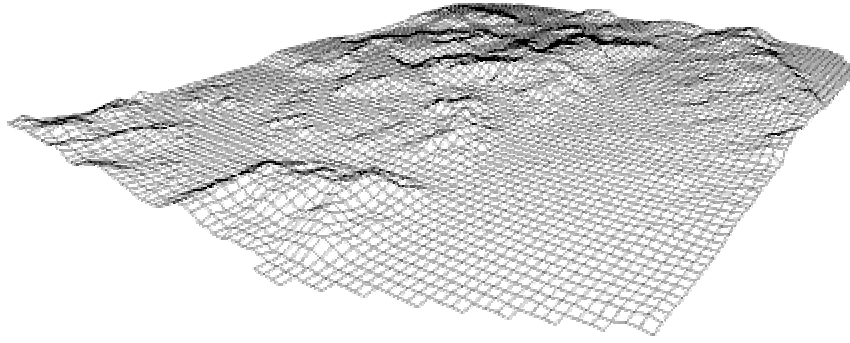
ΕΙΚΟΝΑ 2.10: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΝΕΩΝ ΤΡΙΓΩΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΟ ΣΗΜΕΙΟ ΚΑΙ ΤΙΣ ΚΟΡΥΦΕΣ ΤΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ.

Μετά την προσθήκη κάθε νέου σημείου στο τριγωνοποιημένο πλέγμα σχηματίζονται δύο επιπλέον τρίγωνα. Επομένως, θα πρέπει ο συνολικός αριθμός τριγώνων να είναι διπλάσιος του αριθμού των σημείων τα οποία αποτελούν το νέφος. Επειδή όμως στο τέλος της τριγωνοποίησης διαγράφονται όσα τρίγωνα έχουν κοινές ακμές με το υπερτρίγωνο, τελικά ο ακριβής αριθμός των τριγώνων θα είναι μικρότερος από το διπλάσιο του αριθμού των σημείων του νέφους.

Η Delaunay τριγωνοποίηση εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα:

- Το πολυγωνικό μοντέλο που προκύπτει αποτελείται από ισόπλευρα τρίγωνα και η εσωτερική γωνία μεταξύ δύο γειτονικών τριγώνων είναι πολύ μικρότερη από εκείνη που θα προέκυπτε αν ακολουθούσαμε διαφορετικού είδους τριγωνοποίηση.
- Προσφέρει μοναδική τριγωνοποίηση (ανεξάρτητα δηλαδή από την ταξινόμηση του νέφους σημείων στο χώρο) εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις. Μία από αυτές είναι όταν 4 σημεία του νέφους διατάσσονται στο χώρο υπό μορφή τετραγώνου. Στην περίπτωση αυτή η τριγωνοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Αν και συναντάται σπάνια σε ψηφιοποιημένα δεδομένα, προκειμένου να εξασφαλίσουμε τη μοναδικότητα της τριγωνοποίησης μετακινούμε μία ή περισσότερες κορυφές ώστε να αλλοιώσουμε την τετραγωνική διάταξη.
- Σε γενικές γραμμές αποδίδει τριγωνοποιημένα πλέγματα πολύ καλής ποιότητας ακόμα και σε περιπτώσεις που άλλες μέθοδοι τριγωνοποίησης αποδίδουν φτωχά αποτελέσματα. Η πιο συνηθισμένη είναι εκείνη κατά την οποία το νέφος σημείων αποτελείται από περιοχές υψηλής και χαμηλής πυκνότητας. Η Delaunay τριγωνοποίηση αποδίδει ιδιαίτερα ποιότητα πλέγματα και για τις δύο αυτές περιοχές. Αντιθέτως, άλλες μέθοδοι τριγωνοποίησης αποδίδουν ένα μεγάλο αριθμό τριγώνων και μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις περιοχές υψηλής πυκνότητας του νέφους και μεγαλύτερα τρίγωνα (άρα και μικρότερη λεπτομέρεια) στις περιοχές χαμηλής πυκνότητας του νέφους.

Στην εικόνα 2.11 εμφανίζεται μια πλεγματοποιημένη επιφάνεια, η οποία έχει δημιουργηθεί από ένα τριγωνοποιημένο κατά Delaunay πλέγμα.



ΕΙΚΟΝΑ 2.11: ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΠΟ ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΚΑΤΑ DELAUNAY ΠΛΕΓΜΑ.

## 2.2 POLYGON EDITING TOOL (PET)

Πρόκειται για το μητρικό λογισμικό της Minolta. Σε αυτή τη διπλωματική το PET χρησιμοποιήθηκε μόνο για την απεικόνιση των ψηφιοποιημένων δεδομένων στον υπολογιστή, καθώς η επεξεργασία τους πραγματοποιείται στο κατά πολύ περισσότερο επαγγελματικό περιβάλλον του Rapidform 2004. Για το λόγο αυτό, θα γίνει μόνο μια σύντομη αναφορά στο βασικό περιβάλλον του PET στο κεφάλαιο της εφαρμογής.

## 2.3 RAPIDFORM 2004

Το Rapidform είναι ένα λογισμικό εικονικής πραγματικότητας, καθώς υποστηρίζει τρισδιάστατες απεικονίσεις εικονικών αντικειμένων και παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης και χειρισμού τους σε πραγματικό χρόνο. Η βασική του εφαρμογή είναι η μετατροπή νέφων σημείων (τα οποία ψηφιοποιήθηκαν από υπαρκτά φυσικά αντικείμενα) σε στερεά CAD μοντέλα, τα οποία αποτελούνται από υψηλής ποιότητας NURBS επιφάνειες. Περιλαμβάνει ένα σύνολο εκλεπτυσμένων λειτουργιών για την επεξεργασία του αρχικού νέφους σημείων ή του τριγωνοποιημένου πλέγματος και αποτελεί μια από τις πλέον σύγχρονες και πλήρεις λύσεις για την προσαρμογή υδατοστεγών (watertight) επιφανειών σε αυτά.

### 2.3.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Αναλύεται η βασική ορολογία που χρησιμοποιείται στο Rapidform:

- **Point Cloud (Νέφος σημείων)**

Ένα σύνολο από σημεία στον τρισδιάστατο χώρο, κάθε ένα από τα οποία απεικονίζεται με συντεταγμένες ως προς τους τρεις άξονες X, Y, Z. Αποτελείται από ένα σημείο ή αρκετά εκατομμύρια σημεία ανάλογα με τους περιορισμούς μνήμης που θέτει ο υπολογιστής.

- **Vertex (Κορυφή)**

Είναι κάθε σημείο του νέφους, το οποίο εμφανίζεται με καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) στον τρισδιάστατο χώρο.

- **Edge (Ακμή)**

Είναι το ευθύγραμμο τμήμα το οποίο ενώνει δύο κορυφές. Από την τομή δύο ή και περισσότερων ακμών ορίζεται μια κορυφή.

- **Face (Έδρα)**

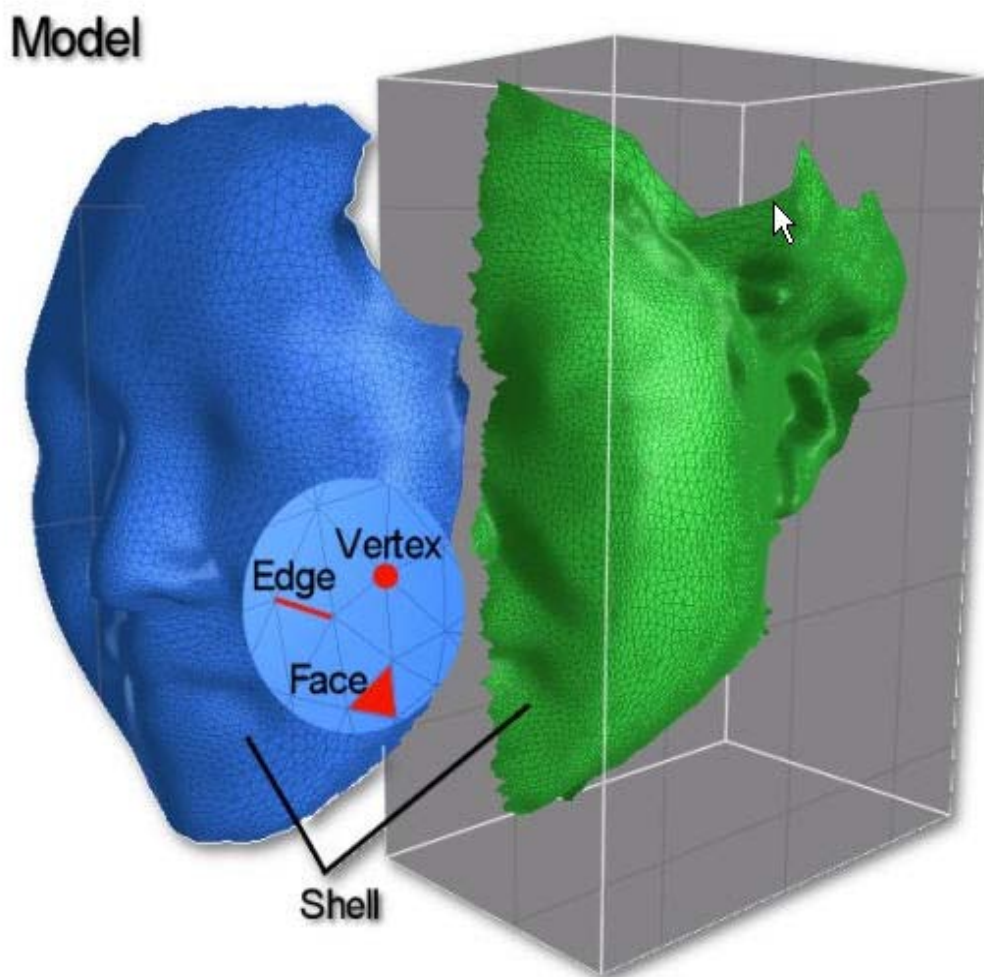
Είναι ένα τρίγωνο το οποίο αποτελείται από τρεις κορυφές και ορίζεται ως τρεις πλευρές οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. Οι έδρες οι οποίες μοιράζονται μια κορυφή ή την ακμή μιας έδρας χαρακτηρίζονται ως γειτονικές (adjacent faces).

- **Shell (Κέλυφος)**

Είναι ένα σύνολο από διάφορες έδρες οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους.

- **Model (Μοντέλο)**

Είναι ένα σύνολο από διάφορα κελύφη.



ΕΙΚΟΝΑ 2.12: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ RAPIDFORM ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΔΥΟ SHELLS. ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΜΙΑ ΤΥΧΑΙΑ ΚΟΡΥΦΗ, ΜΙΑ ΑΚΜΗ ΚΑΙ ΜΙΑ ΕΔΡΑ.

- **Boundary (Όρια)**

Είναι τα όρια ενός shell. Μια ακμή η οποία έχει μόνο μια γειτονική έδρα χαρακτηρίζεται ως οριακή (boundary edge). Η ακμή αυτή προφανώς δε μοιράζεται με άλλη έδρα.

- **Reference Geometry (Γεωμετρία Αναφοράς)**

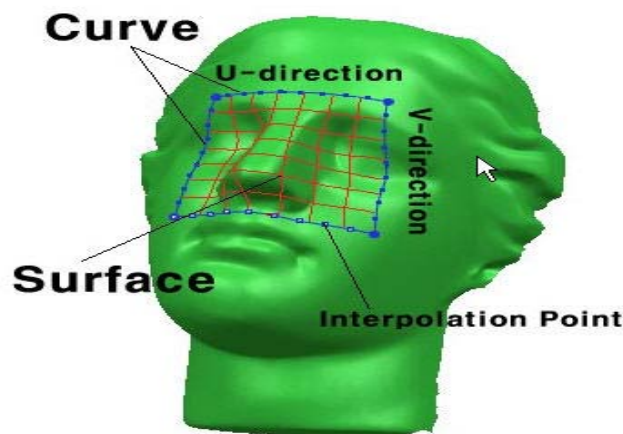
Είναι ένα από τα ακόλουθα γεωμετρικά στοιχεία: σημείο, διάνυσμα, επιφάνεια, κύκλος, σφαίρα, συντεταγμένη. Ορίζονται από το χρήστη για τη διευκόλυνσή του.

- **Curve (Καμπύλη)**

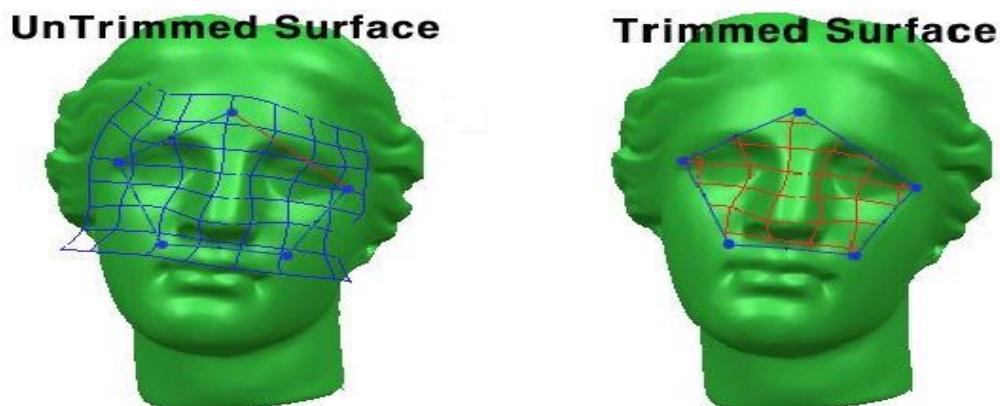
Είναι μια μαθηματική συνάρτηση η οποία περιγράφει τη διαδρομή ενός σημείου καθώς αυτό κινείται στο χώρο. Το Rapidform υποστηρίζει καμπύλες NURBS (Non Uniform Rational B-Splines). Πρόκειται για καμπύλες ελεύθερης μορφής, οι οποίες χωρίζονται σε μια σειρά από τμήματα τα οποία σχεδιάζονται ανεξάρτητα και στη συνέχεια ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν σύνθετες καμπύλες. Έτσι, έχω δυνατότητα τοπικού ελέγχου των καμπύλων αυτών (μετατοπίζοντας δηλαδή ορισμένα σημεία τους επηρεάζεται μόνο ένας αριθμός τμημάτων της καμπύλης, η οποία δε μετακινείται συνολικά). Καμπύλες αυτής της μορφής προσδιορίζονται από έναν αριθμό σημείων τα οποία προσδιορίζει ο χρήστης (σημεία ελέγχου της καμπύλης). Τα σημεία αυτά σχηματίζουν ένα πολύγωνο το οποίο και προσδιορίζει τα όρια της καμπύλης (η καμπύλη διέρχεται μόνο από τα ακραία σημεία ελέγχου και εφάπτεται στα ακραία τμήματα). Για τον ορισμό των καμπύλων αυτών χρησιμοποιείται μια παράμετρος, η οποία ονομάζεται  $u$  και η τιμή της μεταβάλλεται από 0 στο ένα άκρο της καμπύλης σε 1 στο άλλο της άκρο.

- **Surface-Patch (Επιφάνεια)**

Είναι μια μαθηματική συνάρτηση η οποία περιγράφει τη γεωμετρία που εφαρμόζει στα διάφορα πολυγωνικά μοντέλα. Το Rapidform υποστηρίζει επιφάνειες NURBS, οι οποίες δημιουργούνται από καμπύλες NURBS και έχουν ανάλογες ιδιότητες. Ορίζονται από ένα πλέγμα σημείων, τα σημεία ελέγχου που ορίζουν το πολύεδρο ελέγχου. Τα σημεία ελέγχου εκτείνονται σε δύο διευθύνσεις τις  $U$  και  $V$ . Οι επιφάνειες προσεγγίζουν τα σημεία αυτά (κορυφές πολύεδρου) και μεταβάλλοντας τις θέσεις των σημείων ελέγχου μεταβάλλουμε και τη μορφή της επιφάνειας. Το πλέγμα των σημείων είναι οργανωμένο σε μορφή γραμμών και στηλών. Οι διευθύνσεις  $U$  και  $V$  αντιστοιχούν στις διευθύνσεις των γραμμών και των στηλών δίχως να έχει σημασία η σειρά. Οι επιφάνειες ταξινομούνται σε δύο τύπους: *untrimmed* και *trimmed*, δηλαδή αποκομμένες και μή αποκομμένες αντίστοιχα. Οι *untrimmed* ορίζονται από 4 οριακές καμπύλες (boundary curves), ενώ οι *trimmed* από 2, 3, ή πάνω από 4 καμπύλες. Οι *trimmed* δημιουργούνται από τις *untrimmed* ύστερα από κατάλληλη επιλογή των καμπύλων στις οποίες θα βασιστεί η αποκοπή. Για τον ορισμό των *untrimmed surfaces* κάνουμε χρήση δύο παραμέτρων: της  $u$  για τη διεύθυνση  $U$  και της  $v$  για τη διεύθυνση  $V$ .



ΕΙΚΟΝΑ 2.13: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ, ΜΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΤΩΝ U ΚΑΙ V ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ.



ΕΙΚΟΝΑ 2.14: UNTRIMMED ΚΑΙ TRIMMED SURFACES.

- **Solid (Στερεό)**

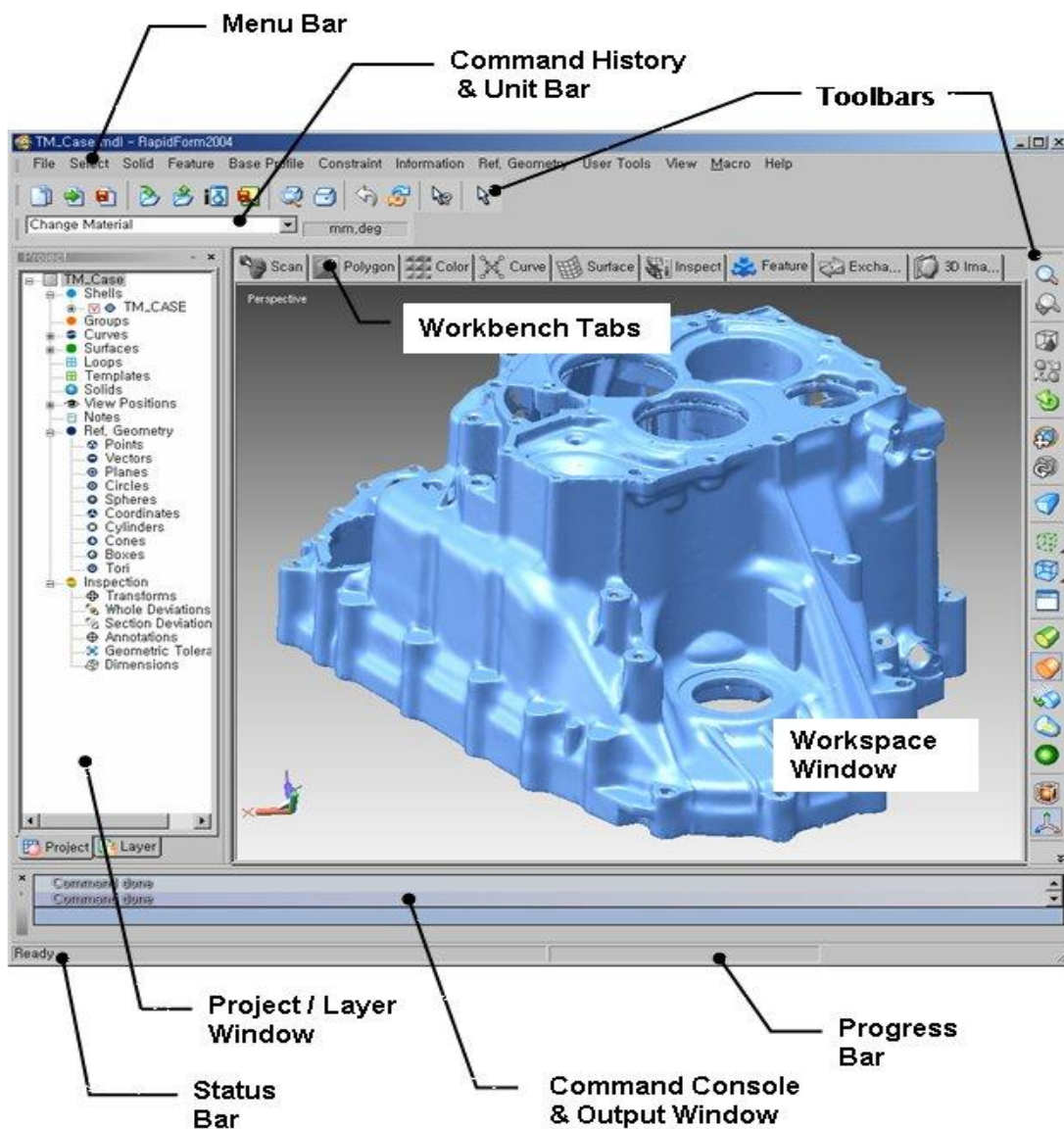
Για τα στερεά μοντέλα το Rapidform χρησιμοποιεί τη μέθοδο της οριακής αναπαράστασης (Boundary Representation), περιγράφοντας το σύνολο των σημείων που τα περιβάλλει. Η περιβάλλουσα επιφάνεια αποτελείται από επιμέρους έδρες. Οι επιμέρους αυτές έδρες περιβάλλονται από μονοδιάστατες καμπύλες τις ακμές.

### 2.3.2 WORKING ENVIRONMENT

Στην εικόνα 2.15 φαίνεται το παράθυρο εργασίας του Rapidform, στο οποίο περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- ✓ Το **Menu Bar** περιέχει ένα σύνολο εντολών και από αυτό ξεκινάει κάθε λειτουργία.
- ✓ Οι **Workbench Tabs** απεικονίζουν το παρών περιβάλλον εργασίας. Το Rapidform δεν είναι μια μονοδιάστατη εφαρμογή, αλλά αποτελείται από 9 Workbenches (περιβάλλοντα εργασίας) με διαφορετικά χαρακτηριστικά λειτουργιών. Ειδικότερα:
  1. Το **Scan Workbench** παρέχει λειτουργίες για την επεξεργασία του νέφους σημείων και την τριγωνποίησή του.
  2. Το **Polygon Workbench** παρέχει λειτουργίες για τη βελτιστοποίηση του τριγωνοποιημένου μοντέλου.
  3. Το **Color Workbench** παρέχει λειτουργίες για τη δημιουργία υφής (texture) και το χρωματισμό του μοντέλου.
  4. Το **Curve Workbench** παρέχει λειτουργίες για τη δημιουργία καμπύλων και τη βελτιστοποίησή τους.
  5. Το **Surface Workbench** παρέχει λειτουργίες για τη δημιουργία επιφανειών και τη βελτιστοποίησή τους.
  6. Το **Inspect Workbench** παρέχει λειτουργίες για τη σύγκριση του αρχικού νέφους σημείων με το τελικά παραγόμενο μοντέλο.
  7. Το **Feature Workbench** παρέχει λειτουργίες για τη δημιουργία στερεών και αντίστροφη σχεδίαση βασισμένη σε Features.

8. Το **Exchange Workbench** επιτρέπει την εισαγωγή διάφορων CAD μοντέλων από άλλα λογισμικά (όπως το Catia, το SolidWork ή το Pro-Engineer) στο Rapidform.
9. Το **3D Imaging Workbench** παρέχει λειτουργίες για την ανακατασκευή πολυγωνικών μοντέλων από διάφορα Dicom data, δεδομένα δηλαδή τα οποία προέρχονται από αξονικούς και υπερηχητικούς τομογράφους. Όταν ο χρήστης αλλάζει workbench, οι εντολές του Menu Bar προσαρμόζονται αυτόματα στο νέο workbench.

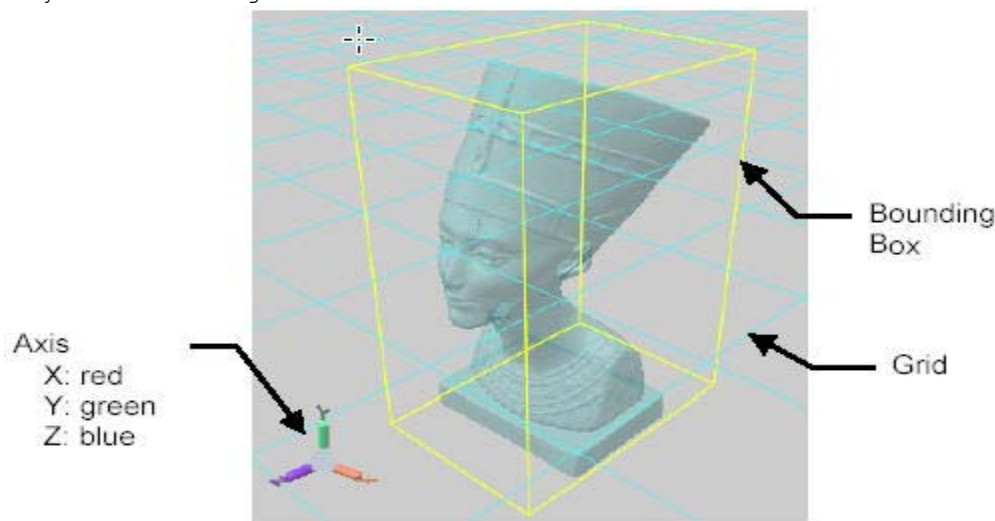


ΕΙΚΟΝΑ 2.15: ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

- ✓ Στο **Command History and Unit Bar** ταξινομούνται σε μια λίστα όλες οι εντολές τις οποίες εκτέλεσε ο χρήστης με τη σειρά (οι εντολές οι οποίες αναφέρονται σε μήκος και γωνία απεικονίζονται μαζί).
- ✓ Στα **Toolbars** εμφανίζονται εικονίδια για τις λειτουργίες οι οποίες εφαρμόζονται συχνά, ώστε να εκτελούνται πιο γρήγορα.



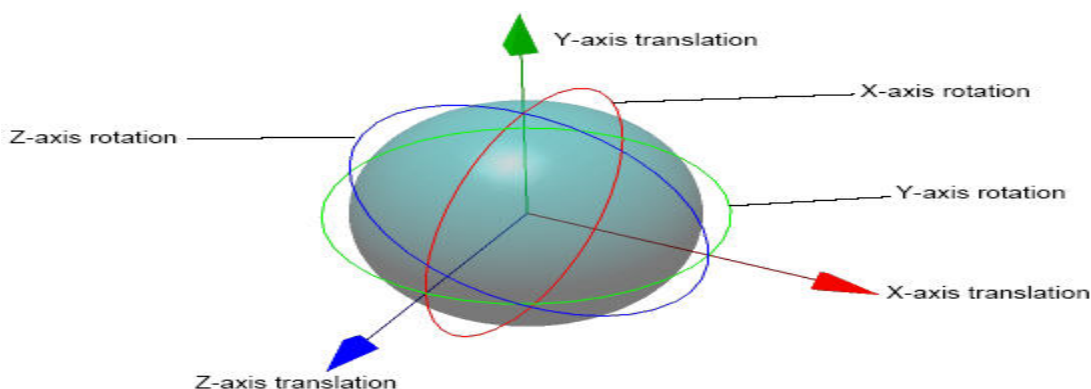
- ✓ Το **Workspace Window** είναι το κύριο παράθυρο για την απεικόνιση και το χειρισμό του μοντέλου. Περιλαμβάνει ακόμη το πλέγμα (grid), το bounding box και τον άξονα συντεταγμένων (axis). Με την επιλογή *Grid* ένα πλέγμα εμφανίζεται στο παράθυρο για τη διευκόλυνση του χρήστη. Το *Bounding Box* αποτελείται από 3 ζευγάρια ορθογωνίων παραλληλογράμμων ή τετραγώνων διατεταγμένων παράλληλα και συνδεδεμένων στα άκρα τους, ώστε να σχηματίζουν ένα κλειστό κουτί. Το κουτί αυτό περικλείει το κέλυφος του παραθύρου εργασίας. Ο *Axis* απλώς βοηθάει στον προσανατολισμό ενός κελύφους και **δεν** είναι η αρχή του συστήματος συντεταγμένων. Η αρχή του συστήματος συντεταγμένων ορίζεται αυτόματα από το Rapidform στο κέντρο του bounding box. Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί, αν το επιθυμεί, να καθορίσει ως αρχή του συστήματος συντεταγμένων οποιοδήποτε σημείο εντός του bounding box.



ΕΙΚΟΝΑ 2.16: ΤΟ WORKSPACE WINDOW.

- ✓ Στο **Project Window** τα δεδομένα του Workspace window απεικονίζονται με τη δομή ενός δέντρου. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η διαχείρισή τους (επιλογή, διαγραφή, εμφάνιση, απόκρυψη κτλ).
- ✓ Στο **Layer Window** οι καμπύλες, οι επιφάνειες και οι διάφορες γεωμετρικές αναφορές απεικονίζονται με τη δομή δέντρου για την ευκολότερη διαχείρισή τους.
- ✓ Στο **Status Bar** απεικονίζονται η κατάσταση του προγράμματος και μια αναλυτική περιγραφή του εκάστοτε επιλεγμένου menu, ενώ στο **Progress Bar** φαίνεται ο χρόνος (%) που απομένει για την ολοκλήρωση μιας εντολής.
- ✓ Τέλος, στην **Command Console** αναγράφεται η εντολή η οποία εκτελείται. Ακόμη παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να πληκτρολογήσει τη συντόμευση μιας εντολής αντί να την επιλέξει από το menu bar.
- Ο χειρισμός του μοντέλου γίνεται με αριστερό click του mouse (στο εξής θα αναφέρεται ως LMB). Έτσι, με LMB περιστρέφω το μοντέλο ως προς τους άξονες συντεταγμένων (rotation), με LMB και Shift εκτελώ Zoom, ενώ με LMB και Ctrl εκτελώ Pan (δηλαδή μετατοπίζω το μοντέλο ως προς το επίπεδο απεικόνισης χωρίς να το περιστρέψω).

Για τον ακριβέστερο μετασχηματισμό του μοντέλου χρησιμοποιείται το Virtual Trackball, το οποίο προσαρμόζεται στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων του μοντέλου. Πρόκειται για μια σφαίρα η οποία περικλείει τρεις επίπεδες και τρεις σφαιρικές συντεταγμένες.



EIKONA 2.17: VIRTUAL TRACKBALL.

Οι άξονες X, Y, Z απεικονίζονται με κόκκινο, πράσινο και μπλέ χρώμα αντίστοιχα. Επιλέγω ένα από τα βέλη για τη μετατόπιση του μοντέλου ως προς τον επιθυμητό άξονα (translate) ή έναν από τους κύκλους για την περιστροφή του ως προς τον αντίστοιχο άξονα (rotate).

Για να μετακινήσω ή να περιστρέψω το μοντέλο κατά τη θετική διεύθυνση μετακινώ το δείκτη του mouse στη δεξιά διεύθυνση και πατώ LMB. Για την αρνητική διεύθυνση μετακινώ το δείκτη στην αριστερή διεύθυνση και πατώ LMB. Οι τρεις σφαιρικές συντεταγμένες υπακούουν στον κανόνα του δεξιού χεριού. Για παράδειγμα, αν επιλέξω τον κόκκινο κύκλο και τη δεξιά διεύθυνση, το trackball άρα και το μοντέλο θα περιστραφούν κατά τη δεξιά διεύθυνση.

- Το μοντέλο είναι δυνατό να απεικονιστεί υπό τις 7 οπτικές γωνίες (Viewpoint) που φαίνονται στην εικόνα 2.18

View point	Icon
Front	
Back	
Left	
Right	
Top	
Bottom	
Iso	

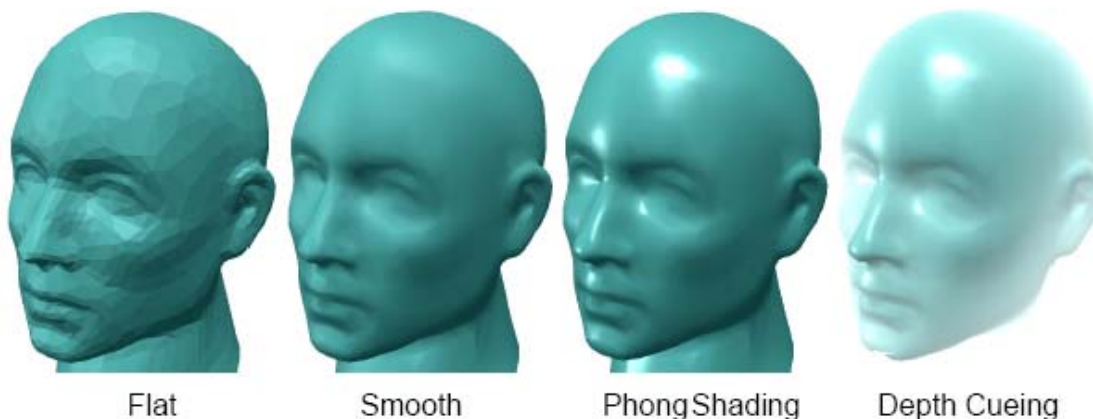
EIKONA 2.18: VIEWPOINTS.

- Για τη σκίαση (Shading) του μοντέλου υποστηρίζονται οι εξής μέθοδοι:
  - ✓ **Flat Shading:** Καθορίζει ένα ομοιόμορφο χρώμα σε όλο το μοντέλο, χωρίς να λειαίνει καθόλου τις έδρες του. Αποδίδει τα χειρότερης ποιότητας αποτελέσματα συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους.
  - ✓ **Smooth Shading:** Σκιαάζει το μοντέλο με ομαλό τρόπο, λαμβάνοντας υπ'όψη τη σύνδεση ανάμεσα στις έδρες του.
  - ✓ **Phong Shading:** Αποδίδει εξαιρετική ρεαλιστικότητα στο μοντέλο υπολογίζοντας τη φωτεινότητα σε κάθε στοιχειώδες τμήμα (pixel) της επιφάνειας του μοντέλου. Σε κάθε ένα από αυτά τα pixels αποδίδεται



ένα ξεχωριστό χρώμα με βάση τη φωτεινότητά του και το συνολικό μοντέλο απεικονίζεται ιδιαίτερα λαμπερό.

- ✓ **Depth Cueing:** Προσαρμόζει το χρώμα σε σχέση με την απόστασή του μοντέλου από το viewpoint. Η ένταση του χρωματισμού μειώνεται καθώς το μοντέλο απομακρύνεται από αυτό.



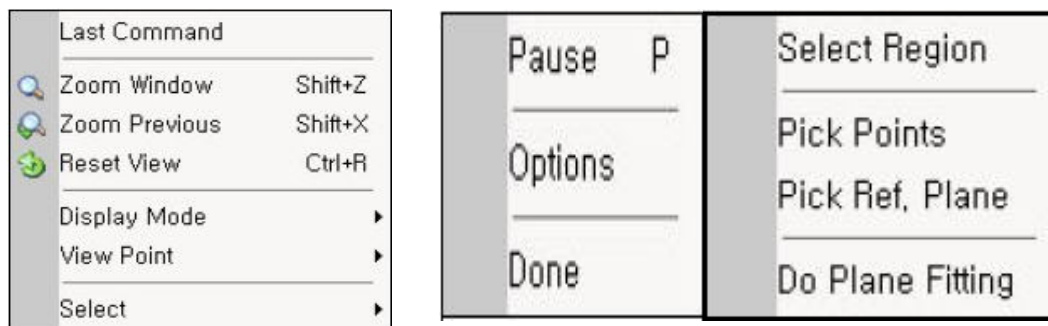
ΕΙΚΟΝΑ 2.19: ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΚΙΑΣΗΣ.

- ✓ Ειδικά για την περίπτωση νέφους σημείων, το οποίο δεν έχει τριγωνοποιηθεί, υπάρχει η επιλογή του **Point Shading** η οποία αποδίδει το βάθος μεταξύ αυτών των σημείων. Για την επιλογή μιάς από τις παραπάνω μεθόδους σκίασης, αρκεί ο χρήστης να επιλέξει το αντίστοιχο εικονίδιο στο Toolbar.
- Το Rapidform υποστηρίζει τους ακόλουθους 7 τρόπους απεικόνισης του μοντέλου (Display Modes):
- ✓ Point Set (Νέφος σημείων): Απεικονίζονται μόνο οι κορυφές.
- ✓ Wireframe: Απεικονίζονται μόνο οι ακμές.
- ✓ Hidden Line: Απεικονίζονται μόνο οι ορατές ακμές από το συγκεκριμένο viewpoint.
- ✓ Shaded: Απεικονίζονται οι έδρες σκιασμένες.
- ✓ Shaded with Edges: Απεικονίζονται σκιασμένες οι έδρες και οι ακμές του μοντέλου.
- ✓ Transparent: Απεικονίζονται σκιασμένες οι έδρες με διαφανή τρόπο.
- ✓ Textured: Απεικονίζονται οι έδρες του μοντέλου με υφή (texture). Προϋποθέτει την πληροφορία υφής κατά την ψηφιοποίηση των δεδομένων.

Mode	Icon	Explanation
Point Set		Draw only vertices
Wireframe		Draw edges of faces
Hidden Line		Draw edges visible from the current viewpoint
Shaded		Draw shaded faces
Shaded with Edges		Draw shaded faces with edges
Transparent		Draw shaded faces with transparency
Textured		Draw texture mapped faces if the texture information is available

ΕΙΚΟΝΑ 2.20: DISPLAY MODES.

- Κάνοντας δεξί click στο Workspace Window (στο εξής RMB) προκύπτουν τα ακόλουθα menu διαλόγου:



ΕΙΚΟΝΑ 2.21: ΤΥΧΑΙΑ MENU ΔΙΑΛΟΓΟΥ.

Το αριστερά εικονιζόμενο menu προκύπτει κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε εντολής. Ο χρήστης μπορεί να επαναλάβει την τελευταία εντολή, να καθορίσει τα Display Mode και View Point και να επιλέξει έδρες ή ακμές του μοντέλου μέσω του Select menu.

Τα menu στα δεξιά αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη εντολή για την οποία πρέπει να οριστούν αρκετές επιλογές.

### 2.3.3 ΒΑΣΙΚΟ MENU

Περιγράφεται η λειτουργία κάποιων από τις βασικές εντολές του Menu Bar, οι οποίες εφαρμόζονται σε καθένα από τα 9 workbenches. Για τις περισσότερες από αυτές ακολουθούν παραδείγματα κατά την εφαρμογή.

- **File**

Με την File >> New δημιουργώ ένα καινούριο workspace window.

Με την File >> Open ανοίγω ένα προηγούμενο μοντέλο, επιλέγοντας το αντίστοιχο αρχείο μορφής \*.mdl.

Με την File >> Save αποθηκεύω ένα μοντέλο σε μορφή αρχείου \*.mdl.



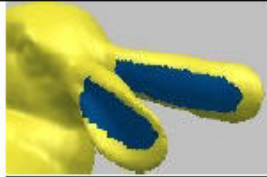
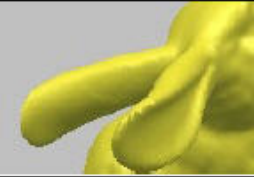


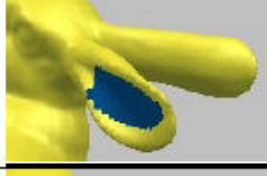
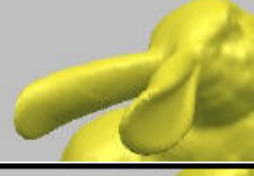


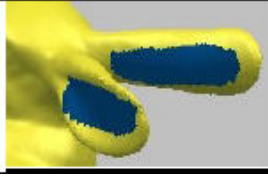
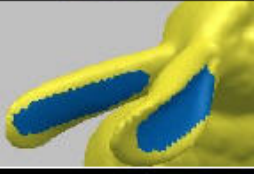
Με την File >> Import εισάγω νέα μοντέλα στο workspace window τα οποία τοποθετούνται στο Layer Window ως νέα shells.

Με την File >> Save As Bitmap αποθηκεύω το περιεχόμενο του workspace window υπό μορφή bitmap image.

- **Select**

Με την Select >> Entities >> Vertex / Face / Shell επιλέγω κορυφές, έδρες ή κελύφη από το workspace window. Μπορώ να καθορίσω τη μέθοδο επιλογής με χρήση της Select >> Mode >> Line / Rectangle / Circle / PolyLine / Freehand / Paint Brush, χρησιμοποιώντας αντίστοιχα γραμμή, τετράγωνο, κύκλο, πολύγωνο και επιφάνεια ελεύθερης μορφής για την επιλογή κορυφών ή εδρών (ένα κέλυφος επιλέγεται με μοναδικό τρόπο).

Κατά την επιλογή εδρών μπορώ να καθορίσω αν θα επιλέξω έδρες μόνο στην ορατή επιφάνεια του shell ή και στη μη ορατή επιφάνεια (αυτό γίνεται με χρήση της Select >> Option - Visible Only ή Select Through- αντίστοιχα). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το αποτέλεσμα των επιλογών Visible Only και Select Through κατά την επιλογή εδρών σε ένα μοντέλο.

Option	Menu	Selection Result	
No option	 Select Visible Only  Select Through		
Visible Only	 Select Visible Only  Select Through		
Through	 Select Visible Only  Select Through		

ΕΙΚΟΝΑ 2.22: ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΡΩΝ.

Με την `Select >> Entities >> Curve / Surface` επιλέγω καμπύλες ή επιφάνειες, ενώ με τις `Select All` και `Select None` επιλέγω όλες τις έδρες και τις κορυφές του μοντέλου και καμία αντίστοιχα.

Με τις εντολές `Select >> Boundary Vertices` και `Select >> Boundary Faces` επιλέγω τις οριακές κορυφές και τις οριακές ακμές αντίστοιχα.

Τέλος, με τις `Select >> Vertices Around >> Curves` και `Select >> Faces Around >> Curves` επιλέγω κορυφές και ακμές γύρω από προεπιλεγμένες καμπύλες.

#### • Edit

Με την `Edit >> Undo` ακυρώνω εντολές οι οποίες μόλις εκτελέστηκαν και επαναφέρω το μοντέλο στην προηγούμενη κατάσταση. Η λειτουργία αυτή μπορεί να εκτελεστεί και από το Toolbar με επιλογή του αντίστοιχου εικονιδίου.

Με την `Edit >> Add >> Vertex >> Input Coordinate` προσθέτω κορυφές στο κέλυφος εισάγοντας τις συντεταγμένες τους ως προς τους 3 άξονες.

Με την `Edit >> Add >> Face` προσθέτω έδρες στο κέλυφος επιλέγοντας μία προς μία τις κορυφές που τις αποτελούν.

Με την `Edit >> Delete >> Vertex/Face/Shell` διαγράφω κορυφές, ακμές και κελύφη αντίστοιχα.

Με την `Edit >> Transform` αλλάζω τις συντεταγμένες ενός κελύφους ή ενός μοντέλου.

Τέλος, με την `Edit >> Change Material` αλλάζω την υφή ενός μοντέλου, επιλέγοντας υλικό (material) από ένα menu το οποίο και εφαρμόζω στο μοντέλο.

#### • Measure

Με την `Measure >> Distance` υπολογίζω την απόσταση ανάμεσα σε δύο σημεία, δύο επίπεδα, ένα τυχαίο σημείο και μια γεωμετρία αναφοράς.

Με την `Measure >> Radius` υπολογίζω την ακτίνα ενός κύκλου, μιας σφαίρας ή μιας στρογγυλεμένης περιοχής.

Μέσω της `Measure >> Shell to Shell Deviation` υπολογίζεται η απόκλιση ανάμεσα σε δύο κελύφη τα οποία συνδέονται. Το αποτέλεσμα απεικονίζεται σε πραγματικό χρόνο με τη μορφή ενός έγχρωμου χάρτη.

- **Information**

Με την Information >> Vertex/ Face/ Shell/ Model παίρνω πληροφορίες για τη γεωμετρία και την τοπολογία μιας κορυφής, μιας έδρας, ενός κελύφους και ενός μοντέλου αντίστοιχα.

Με την Information >> Surface/ Model παίρνω πληροφορίες για τη γεωμετρία μιας επιφάνειας και ενός μοντέλου αντίστοιχα.

Τέλος, με την Information >> Show Boundary απεικονίζονται όλες οι οριακές έδρες ενός κελυφους.

- **Reference Geometry**

Με την Reference Geometry >> Create Point/ Vector/ Plane/ Circle/ Coordinate δημιουργώ γεωμετρικές αναφοράς σημείου, διανύσματος, επιπέδου, κύκλου και συντεταγμένης αντίστοιχα.

Με την Reference Geometry >> Delete διαγράφω όσες γεωμετρικές αναφοράς δε με ικανοποιούν.

- **View**

Με την επιλογή View >> Zoom Window εστιάζω στην περιοχή του μοντέλου που με ενδιαφέρει, ενώ με την View >> Zoom Previous επαναφέρω την προηγούμενη εστίαση.

Με την View >> Shading Mode επιλέγω μία μέθοδο σκίασης, με την View >> Display Mode μια μέθοδο απεικόνισης του μοντέλου, ενώ με την View >> Point View μια μέθοδο απεικόνισης των όψεων του μοντέλου.

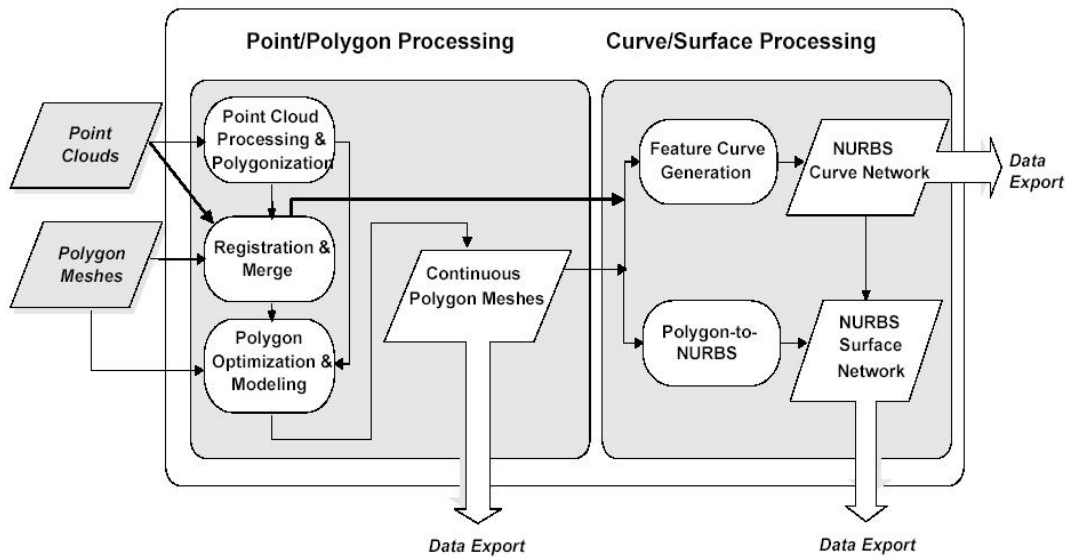
Τέλος, με την View >> Bounding Box/ Grid/ Axis εμφανίζω ή κρύβω το bounding box, το πλέγμα και τον άξονα αντίστοιχα.

### 3. ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ RAPIDFORM

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ένας συνοπτικός οδηγός χρήσης του Rapidform. Στόχος δεν είναι να περιγραφούν διεξοδικά όλες οι εντολές των 9 workbenches, αλλά να προσδιοριστούν οι βασικές λειτουργίες κάθε workbench και να καθοριστεί ένα πλάνο εργασίας για την επιτυχημένη επεξεργασία των δεδομένων από το αρχικό στάδιο μέχρι το τελικό μοντέλο.

#### 3.1 ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η πορεία την οποία ακολουθήσαμε για την επεξεργασία των ψηφιοποιημένων δεδομένων. Αναλύεται σε δύο βασικά στάδια: το πρώτο είναι η επεξεργασία του νέφους σημείων ή του τριγωνοποιημένου πλέγματος και το δεύτερο είναι η επεξεργασία καμπύλων και επιφανειών.



ΕΙΚΟΝΑ 3.1: ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

#### 1. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ/ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.

Στην περίπτωση νέφους σημείων (point cloud) το επεξεργαζόμαστε αρχικά στο Scan Workbench και αφαιρούμε ανεπιθύμητα data (noise), τα οποία προέκυψαν κατά τη σάρωση του αντικειμένου. Τα δεδομένα αυτά αλλοιώνουν τη μορφή του νέφους και είναι απαραίτητη η αφαίρεσή τους ώστε να έχουμε υψηλής ποιότητας τελικό αποτέλεσμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής της αντίστροφης σχεδίασης έχουμε αρκετά νέφη σημείων εξαιτίας της σάρωσης των διαφόρων όψεων του αντικειμένου. Το επόμενο βήμα της επεξεργασίας στο Scan Workbench είναι η τριγωνοποίηση καθενός από τα νέφη σημείων ώστε να προκύψουν διάφορα τριγωνοποιημένα πλέγματα (polygon meshes). Στις περισσότερες περιπτώσεις κατά την ψηφιοποίηση είναι δυνατή η απευθείας εξαγωγή τριγωνοποιημένων νέφων σημείων, οπότε και παρακάμπτονται τα στάδια της αρχικής επεξεργασίας και της τριγωνοποίησης. Στη συνέχεια και πάλι στο Scan Workbench συνδέουμε τα διάφορα meshes και τα συγχωνεύουμε σε ένα shell (registration and merge), ώστε να εξαχθεί η μορφή του τελικού μοντέλου.

Τέλος, στο Polygon Workbench βελτιστοποιούμε το παραγόμενο μοντέλο και

εξασφαλίζουμε τη συνεχή του μορφή. Σε αυτό το σημείο είναι δυνατή η εξαγωγή του σε κάποιο CAD λογισμικό ή στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας. Παρατηρώ ότι η αλληλουχία βημάτων σε αυτό το στάδιο δεν είναι μοναδική.

## 2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΜΠΥΛΩΝ/ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.

Εισάγουμε το συνεχές βελτιστοποιημένο μοντέλο του προηγούμενου σταδίου στο Curve Workbench, στο οποίο και δημιουργούμε καμπύλες NURBS. Στο ίδιο workbench βελτιώνουμε την ποιότητά τους και τις συνδέουμε μεταξύ τους σχηματίζοντας ένα δίκτυο καμπύλων (curve network). Το δίκτυο αυτό είναι δυνατόν να εξαχθεί σε ένα CAD λογισμικό.

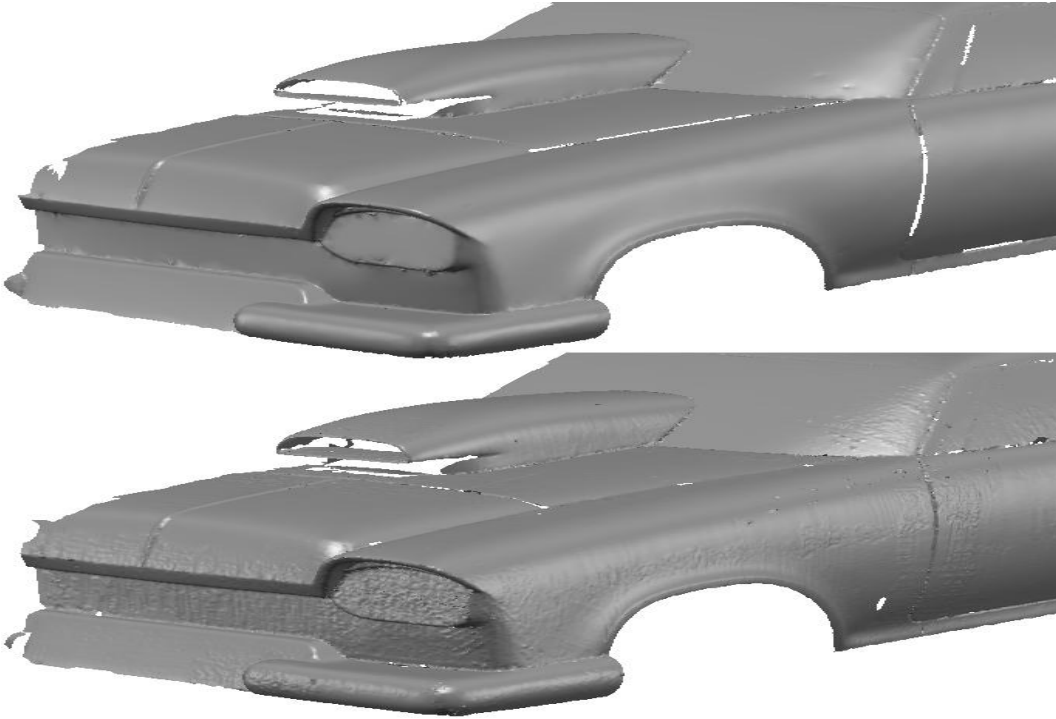
Τέλος, στο Surface Workbench δημιουργούμε επιφάνειες NURBS από το δίκτυο των καμπύλων, τις οποίες και συνδέουμε σε ένα δίκτυο επιφανειών (surface network). Η διαδικασία ολοκληρώνεται με την εξαγωγή του τελικού αυτού μοντέλου σε κάποιο CAD software.

## 3.2 SCAN WORKBENCH

Αυτό το workbench διαθέτει αρκετές εντολές για τη μείωση του αριθμού των κορυφών των shells και την αφαίρεση πιθανού θορύβου από αυτά. Ωστόσο, η εφαρμογή των εντολών αυτών δεν αποδίδει αξιόπιστα αποτελέσματα. Συνίσταται η αφαίρεση των noisy data και η μείωση του αριθμού των κορυφών στο Polygon Workbench (εάν φυσικά η τελευταία είναι επιθυμητή), το οποίο διαθέτει περισσότερες αξιόπιστες λειτουργίες.

### 3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ (IMPORT MESH) .

Εισάγω τα τριγωνοποιημένα πλέγματα που δημιούργησα με χρήση της Minolta στο Rapidform μέσω της εντολής *File >> Import*. Συνίσταται η ψηφιοποίηση των διαφόρων όψεων ενός αντικειμένου να αποθηκεύεται σε ένα file, ώστε με την εισαγωγή του στο Rapidform οι διάφορες όψεις να απεικονίζονται ως διαφορετικά shells. Αν και μέσω του Rapidform είναι δυνατή η τριγωνοποίηση ενός νέφους σημείων, η εμπειρία δείχνει ότι είναι προτιμότερο να εισάγουμε το απευθείας τριγωνοποιημένο πλέγμα που παίρνουμε από την Minolta για περαιτέρω επεξεργασία από το να προσπαθήσουμε να τριγωνοποιήσουμε το νέφος σημείων με χρήση του Rapidform. Είναι λογικό το μητρικό λογισμικό του scanner να δημιουργεί καλύτερη τριγωνοποίηση από το Rapidform. Το μητρικό λογισμικό PET έχει έναν αλγόριθμο ειδικά κατασκευασμένο για το scanner της Minolta, ενώ το Rapidform έχει έναν αλγόριθμο ο οποίος υποστηρίζει όλους τους τύπους των scanners. Το PET μπορεί και τριγωνοποιεί τα data τμηματικά από σημείο σε σημείο για κάθε ένα από τα πολλαπλά νέφη σημείων του αντικειμένου. Το Rapidform εφαρμόζει τριγωνοποίηση για το νέφος σημείων συνολικά και όχι τμηματικά, διαδικασία η οποία είναι σαφώς πιο δύσκολη. Για το λόγο αυτό το αποτέλεσμα της τριγωνοποίησης μέσω του Rapidform είναι εμφανώς κατώτερης ποιότητας από το αντίστοιχο μέσω της Minolta, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.2



ΕΙΚΟΝΑ 3.2: ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ MINOLTA (ΠΑΝΩ)  
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ RAPIDFORM (ΚΑΤΩ).

### 3.2.2 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ SHELLS (ALIGNMENT or REGISTRATION).

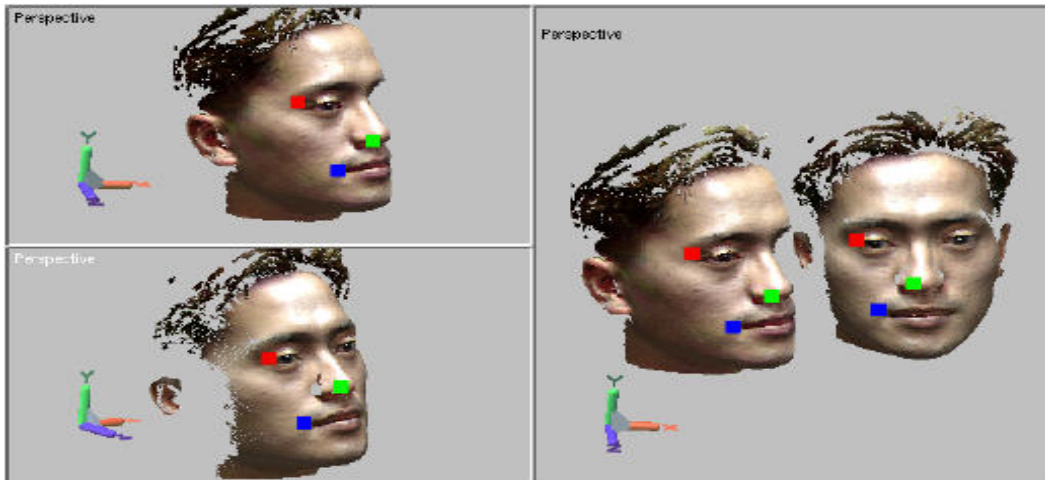
Το Registration είναι η διαδικασία με την οποία ευθυγραμμίζονται δύο shells αναφορικά στις συντεταγμένες ενός από αυτά, το οποίο δε μετακινείται κατά την εκτέλεση της εντολής. Ο υπολογισμός της ακριβούς θέσης κάθε shell γίνεται χρησιμοποιώντας κάποια κοινά γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Επομένως, για την ορθή εφαρμογή της εντολής απαιτείται η ύπαρξη επικαλυπτόμενης περιοχής ανάμεσα σε δυο shells τα οποία πρόκειται να ενωθούν.

Πραγματοποιείται σε δύο στάδια: το πρώτο είναι η χειροκίνητη ευθυγράμμιση ανάμεσα στα δύο shells (προσεγγιστική) με χρήση της εντολής *Build >> Register >> 2 Shells >> Initial*, ενώ το δεύτερο είναι η αυτόματη ευθυγράμμιση τους (ακριβέστερη) με χρήση της εντολής *Build >> Register >> Fine*. Προφανώς, τα στάδια αυτά απαιτείται να επαναληφθούν αρκετές φορές για την ευθυγράμμιση ενός μοντέλου το οποίο αποτελείται από περισσότερα από δύο shells.

- ***Build >> Register >> 2 Shells >> Initial.***

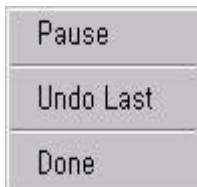
Η προσεγγιστική ευθυγράμμιση ενός shell με ένα άλλο γίνεται με την επιλογή αντίστοιχων σημείων στην επικαλυπτόμενη περιοχή τους από το χρήστη. Για την καλύτερη κατανόηση της εντολής παρουσιάζω ένα παράδειγμα.

Πρώτα επιλέγω το shell το οποίο θα μετακινηθεί και στη συνέχεια το shell που θα μείνει σταθερό ως η βάση της ευθυγράμμισης. Το shell που επιλέγω πρώτο απεικονίζεται στο πάνω αριστερά παράθυρο της εικόνας 3.3, ενώ το δεύτερο επιλεγμένο shell απεικονίζεται στο κάτω αριστερά. Το δεξιό παράθυρο απεικονίζει ταυτόχρονα τα δύο shells.



ΕΙΚΟΝΑ 3.3: ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΑ ΔΥΟ SHELLS.

Στη συνέχεια επιλέγω τρία ζευγάρια αντίστοιχων σημείων ανάμεσα στα δυο shells (κάθε ζευγάρι αντίστοιχων σημείων απεικονίζεται με ένα μικρό τετράγωνο διαφορετικού χρώματος). Η σειρά επιλογής δεν έχει σημασία. Μπορώ να επιλέξω πρώτα τρία σημεία στο επάνω shell και στη συνέχεια τρία στο κάτω shell, ή ένα σημείο στο ένα shell και το αντίστοιχό του στο άλλο. Όσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια με την οποία επιλέγω τα αντίστοιχα σημεία, τόσο καλύτερης ποιότητας είναι το τελικό αποτέλεσμα. Προσπαθώ να επιλέξω σημεία σε όλη την επιφάνεια των shells και όχι γειτονικά μεταξύ τους. Με RMB εμφανίζεται το ακόλουθο menu:



Επιλέγοντας Pause σταματώ προσωρινά τη διαδικασία ώστε να αλλάξω τον προσανατολισμό των shells και να επιλέξω τα σημεία με μεγαλύτερη ακρίβεια. Με Undo Last ακυρώνω την τελευταία επιλογή σημείου, ενώ με Done ολοκληρώνω τη διαδικασία αφού επιλέξω όλα τα ζεύγη σημείων.

Υπάρχουν 4 βαθμοί αξιολόγησης του Registration (Excellent, Good, Not Bad, Not Good). Κάθε φορά στοχεύω σε Excellent αποτέλεσμα και αν χρειαστεί επαναλαμβάνω αρκετές φορές τη διαδικασία ώστε να επιλέξω τα σημεία με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.

Για βέλτιστα αποτελέσματα ο αριθμός των επιλεγμένων σημείων πρέπει να κυμαίνεται από 3 έως 8 σε κάθε ένα shell. Η επιλογή περισσότερων από 8 σημεία σε κάθε shell απλώς το χρόνο επεξεργασίας χωρίς να επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέξαμε μόνο 3 ζευγάρια σημείων, γιατί τα ψηφιοποιημένα shells ήταν πολύ καλής ποιότητας και η ακριβής επιλογή των σημείων εύκολη.

Το αποτέλεσμα της ευθυγράμμισης (Excellent) φαίνεται στην επόμενη εικόνα

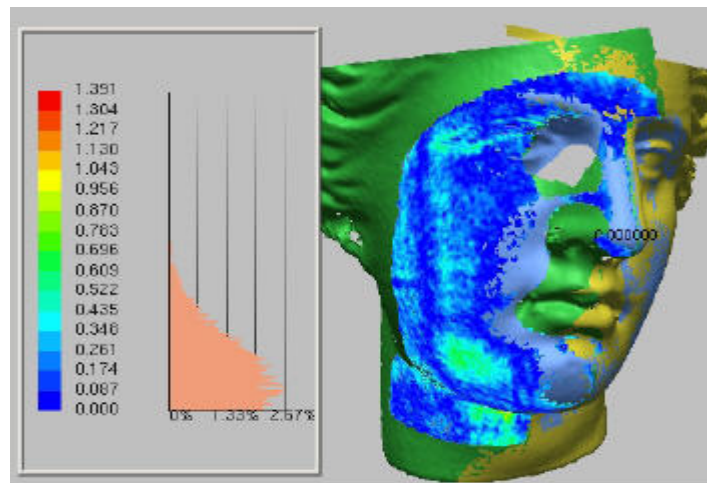


ΕΙΚΟΝΑ 3.4: INITIAL REGISTRATION.



- **Build >> Register >> Fine.**

Με τη χρήση της ευθυγραμμίζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια δύο επιλεγμένα shells. Πραγματοποιείται ύστερα από την αρχική ευθυγράμμιση και βασίζεται στην αυτόματη αναγνώριση της επικαλυπτόμενης περιοχής από το πρόγραμμα. Για την αξιολόγηση του αποτελέσματος χρησιμοποιώ την εντολή *Measure >> Shell To Shell Deviation* και προκύπτει ανάλυση της απόκλισης ανάμεσα στα ευθυγραμμισμένα shells υπό μορφή έγχρωμου χάρτη. Στο χάρτη απεικονίζονται οι ακριβείς θέσεις στις οποίες εμφανίζεται απόκλιση, η τιμή της απόκλισης και η διανομή της στην επιφάνεια του shell, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Μετακινώντας το δείκτη του mouse στην επιφάνεια των shells, εμφανίζεται η τιμή της απόκλισης σε πραγματικό χρόνο. Αν η απόκλιση είναι μεγάλη, επαναλαμβάνω την αρχική τους ευθυγράμμιση επιλέγοντας περισσότερα ζεύγη αντίστοιχων σημείων και στη συνέχεια εκτελώ ξανά την *Build >> Register >> Fine*.



EIKONA 3.5: SHELL TO SHELL DEVIATION.

### 3.2.3. ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ SHELLS (MERGE).

Με την εντολή αυτή πραγματοποιείται η ένωση δύο shells τα οποία έχουν ευθυγραμμιστεί σε ένα. Υπάρχουν δύο επιλογές : *Build >> Merge Shells >> Meshes >> Surface* και *Build >> Merge >> Meshes >> Volume*.

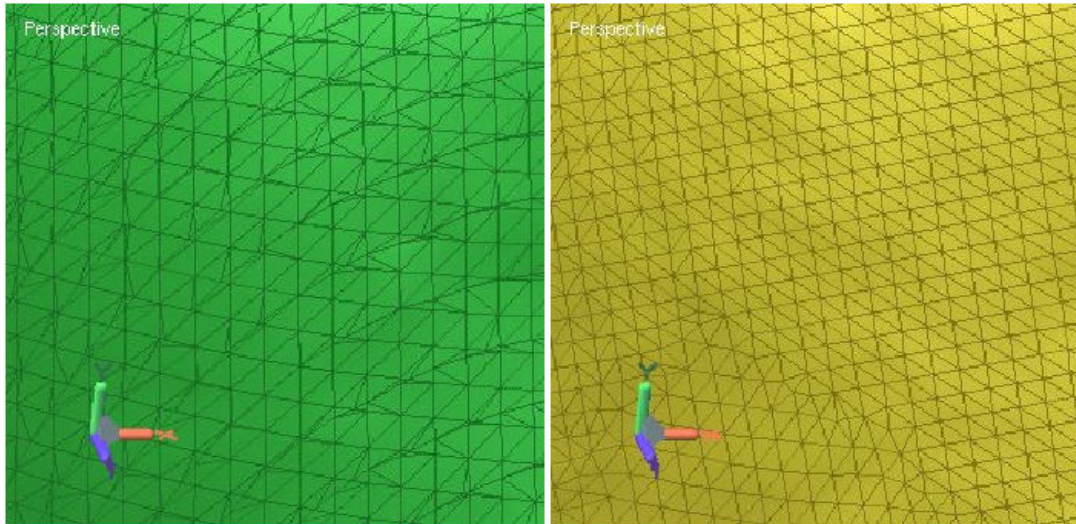
- **Build >> Merge Shells >> Meshes >> Surface.**

Κατά την εξέλιξη της διαδικασίας της ένωσης οι επικαλυπτόμενες περιοχές ανάμεσα στα shells απομακρύνονται αποτελεσματικά και τα γειτονικά boundaries ταυτίζονται. Μετά την ένωση η εμφάνιση holes στο ενοποιημένο shell είναι συνηθισμένη και οφείλεται σε μεγάλη απόκλιση του μέσου μεγέθους εδρών του ενός shell συγκριτικά με το άλλο. Το τελευταίο οφείλεται σε λανθασμένη μέτρηση διαστάσεων κατά τη σάρωση του αντικειμένου.

- **Build >> Merge >> Meshes >> Volume.**

Η ένωση των shells πραγματοποιείται με την κατασκευή ενός τρισδιάστατου δικτυωτού πλέγματος με ομοιόμορφο μέγεθος εσωτερικά στα όρια της επικαλυπτόμενης περιοχής των shells.

Χρησιμοποιείται εναλλακτικά της *Build >> Merge Shells >> Meshes >> Surface* όταν αυτή δεν αποδίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα και ειδικότερα στην περίπτωση όχι ιδιαίτερα καλής ευθυγράμμισης.



ΕΙΚΟΝΑ 3.6: ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ SHELLS ΜΕ ΧΡΗΣΗ SURFACE MERGE (ΔΕΞΙΑ) ΚΑΙ ΜΕ ΧΡΗΣΗ VOLUME MERGE (ΑΡΙΣΤΕΡΑ).

#### **ΣΗΜΕΙΩΣΗ:**

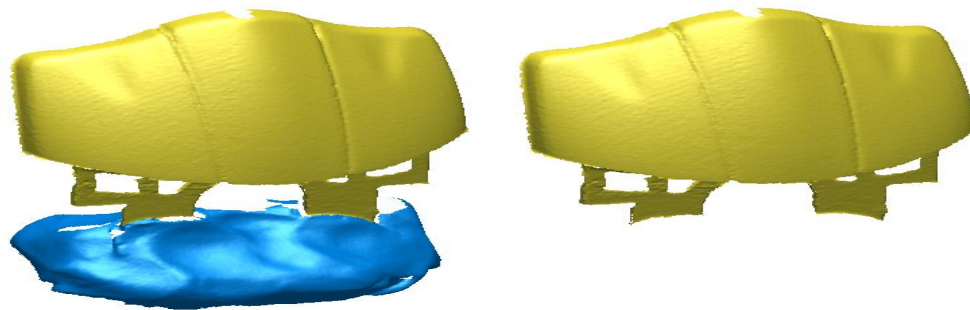
Στην περίπτωση ευθυγράμμισης περισσότερων από δύο shells εκτελώ την ευθυγράμμιση (προσεγγιστικά και απόλυτα) επιλέγοντας αρχικά δυό shells. Στη συνέχεια ενώνω τα δύο shells σε ένα, εκτελώ την ευθυγράμμιση του επόμενου shell με το ενοποιημένο shell και συγχωνεύω τα ευθυγραμμισμένα shells σε ένα νέο. Η διαδικασία συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο μέχρι όλα τα shells να ενοποιηθούν σε ένα. Κατά τη διαδοχική ευθυγράμμιση των shells **είναι αναγκαίο** να επιλέγω κάθε φορά την ίδια βάση ευθυγράμμισης με την αρχική.

### **3.3 POLYGON WORKBENCH**

Σε αυτό το workbench περιλαμβάνονται αρκετές εντολές για τη βελτίωση της ποιότητας του τριγωνοποιημένου πλέγματος.

#### **3.3.1 CLEAN (ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ).**

Περιλαμβάνονται εντολές για τον εντοπισμό και τη διευθέτηση τοπολογικών και γεωμετρικών ελαττωμάτων του μοντέλου. Όπως έχει αναφερθεί κατά την ψηφιακή σάρωση ενός αντικειμένου αποτυπώνονται και ανεπιθύμητα σημεία του πλατό, ή του περιβάλλοντος χώρου. Με χρήση της εντολής *Select >> Entities >> Face* επιλέγω τα σημεία αυτά και με την *Edit >> Delete >> Face* τα αφαιρώ. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα.



ΕΙΚΟΝΑ 3.7: ΕΝΑ SHELL ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ DATA.

Η λειτουργία του καθαρισμού εξομαλύνει τις ακόλουθες μη φυσιολογικές έδρες (abnormal faces):

- **Non Manifold Faces**

Όταν οι έδρες μοιράζονται τρεις ή περισσότερες ακμές λέμε ότι έχουν non-manifold τοπολογία. Με μαθηματικούς όρους έχουμε manifold τοπολογία μόνο όταν δυό έδρες συνιστούν μια ακμή. Ωστόσο, μια ακμή με μια μόνο έδρα (boundary edge) θεωρείται φυσιολογική στο περιβάλλον του Rapidform. Στην εικόνα 3.8.(1) φαίνεται ένα παράδειγμα non-manifold τοπολογίας όπου οι έδρες (V1V2V4), (V2V3V4) και (V2V4V5) μοιράζονται την ακμή (V2V4).

- **Redundant Faces**

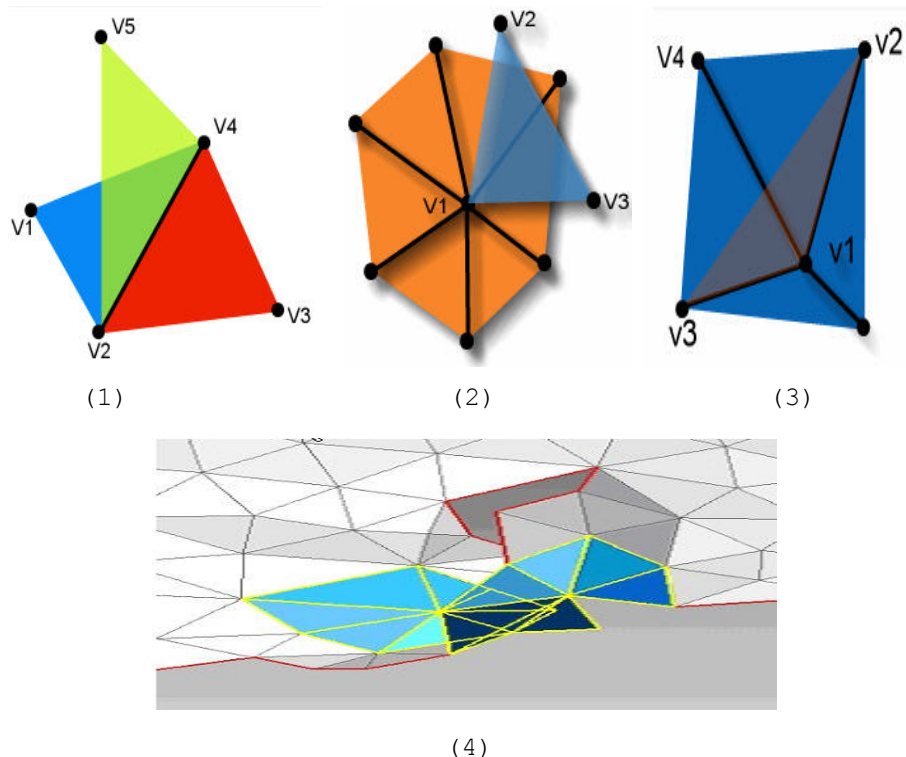
Ο αριθμός των εδρών και ακμών που μοιράζονται μια κορυφή πρέπει να είναι ο ίδιος. Μια έδρα η οποία παραβαίνει αυτόν τον κανόνα λέγεται redundant face (πλεονάζουσα έδρα), όπως η (V1V2V3) της εικόνας 3.8.(2).

- **Crossing Faces**

Όταν οι έδρες μοιράζονται μια κορυφή ώστε να τέμνονται μεταξύ τους, είναι γεωμετρικά λανθασμένες και λέγονται crossing faces. Στην εικόνα 3.8.(3) η ακμή (V2V3) της έδρας (V1V2V3) τέμνεται με την ακμή (V1V4).

- **Unstable Faces**

Πρόκειται για μη έγκυρες έδρες με βάση στοιχεία τοπολογίας. Στην εικόνα 3.8.(4) φαίνεται ένα παράδειγμα unstable faces για τις έδρες των οποίων το εσωτερικό απεικονίζεται με μπλέ και γκρί χρώμα.

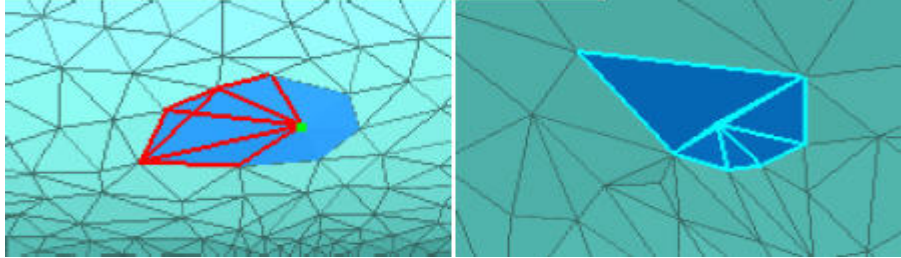


ΕΙΚΟΝΑ 3.8: 4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ABNORMAL FACES

Με την εκτέλεση της εντολής `Clean >> Find Abnormal Faces` το πρόγραμμα ανιχνεύει αυτόματα non-manifold, redundant, crossing και unstable faces στο επιλεγμένο shell. Το αποτέλεσμα προκύπτει σε πίνακα της μορφής



Αν υπάρχουν abnormal faces ανιχνεύεται ο αριθμός τους και αυτά εικονίζονται στο workspace window με το αντίστοιχο χρώμα. Στην εικόνα 3.9 έχω non-manifold faces (αριστερά) και crossing faces (δεξιά).



ΕΙΚΟΝΑ 3.9: NON-MANIFOLD ΚΑΙ CROSSING FACES

Με χρήση των εντολών Clean non-manifold Faces και Clean Crossing Faces, απομακρύνονται αντίστοιχα τα non-manifold και crossing faces και στη θέση τους δημιουργούνται νέες έδρες. Ταυτόχρονα απομακρύνονται και όσες κορυφές έχουν redundant faces. Για τα unstable faces δεν υπάρχει εντολή καθαρισμού. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις οι έδρες αυτές απομακρύνονται ταυτόχρονα με τα non-manifold και crossing faces. Αν εξακολουθούν να υπάρχουν τις αφαιρώ με Delete.

### 3.3.2 FILL HOLES (ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΟΠΩΝ) .

Σε αρκετές περιπτώσεις κατά την ψηφιοποίηση δεδομένων, οπές ή κενά είναι δυνατόν να εμφανιστούν στην επιφάνεια του μοντέλου. Με τη λειτουργία Fill Holes κατασκευάζεται μια πολυγωνική δομή για την κάλυψη της οπής και τα όρια του μοντέλου που περιβάλλουν την οπή ανακατανομούνται, ώστε η συνολική πολυγωνική διάταξη να εμφανίζεται οργανωμένη και συνεχής. Η κάλυψη των οπών μπορεί να γίνει είτε με *Tool >> Fill Holes >> Surface*, είτε με *Tool >> Fill Holes >> Volume*.

- **Tool >> Fill Holes >> Surface**

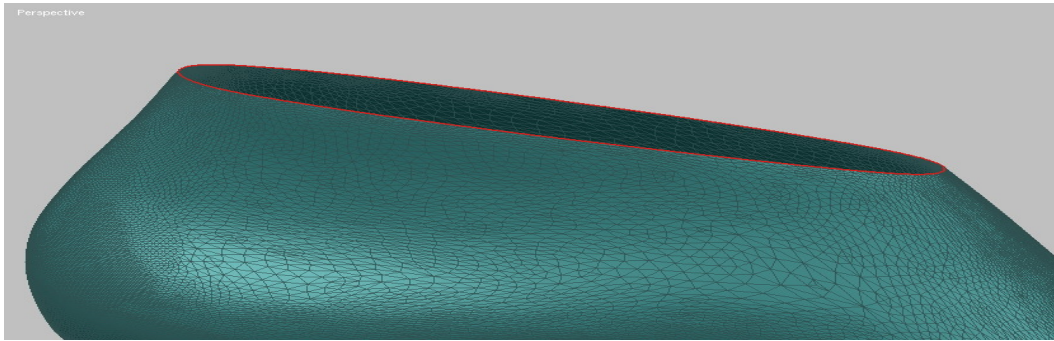
Συμπληρώνει τις οπές με δύο τρόπους:

1. Αυτόματα (Automatic Fill) με επιλογές *Flat*, *Smooth*, *Curvature*.
2. Manually με *Bridge Hole*, γεφυρώνοντας το κενό ανάμεσα σε δύο ακμές της ίδιας οπής, όταν αυτή είναι πολύ μεγάλη ή πολύ σύνθετη για να συμπληρωθεί αυτόματα. Επιλέγω ανάμεσα σε *Curvature* ή *Flat* για τον τρόπο γεφύρωσης. Στη συνέχεια είναι δυνατό να εφαρμοστεί *Automatic Fill*.

Ακολουθούν παραδείγματα εφαρμογής των δύο επιλογών.

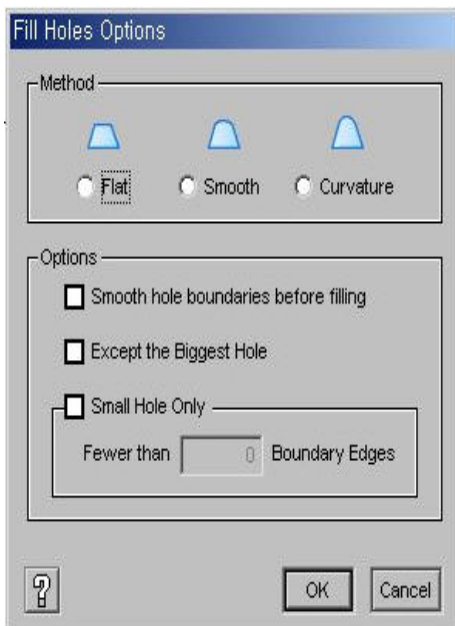
1. Με την εντολή *Information >> Show Boundary* εμφανίζω τα όρια του μοντέλου (κόκκινη γραμμή), εντός των οποίων περικλείεται η οπή.





ΕΙΚΟΝΑ 3.10: ΟΠΗ Η ΟΠΟΙΑ ΠΕΡΙΚΛΕΙΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.

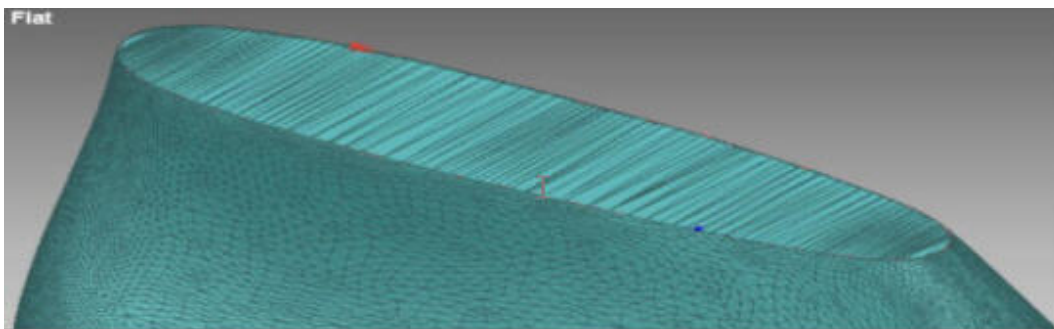
Επιλέγω την οπή με LMB και εμφανίζεται το menu διαλόγου της εικόνας 3.11.

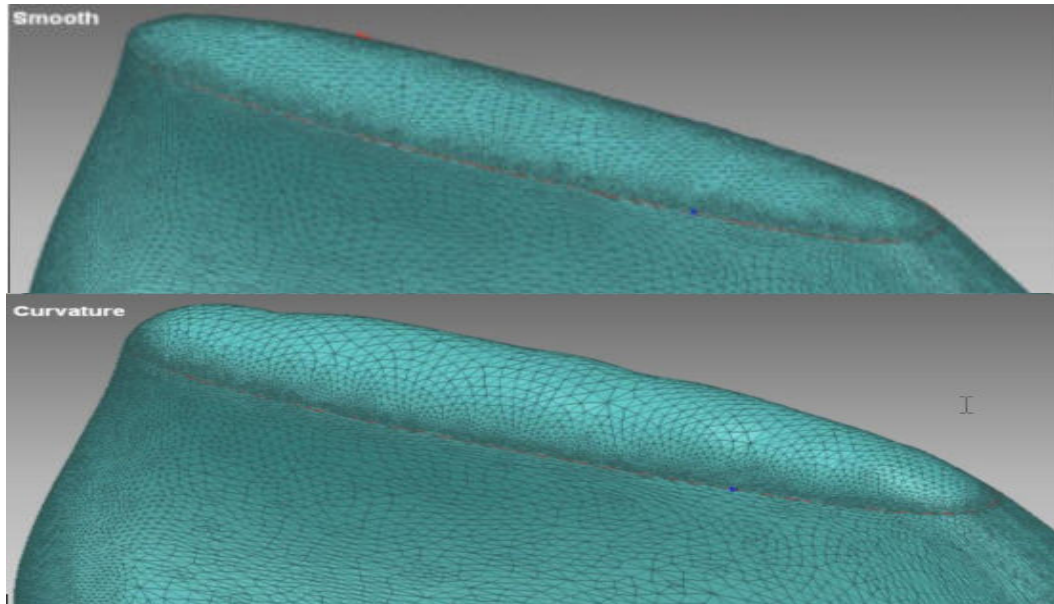


Επιλέγοντας την *Flat* μέθοδο, η οπή συμπληρώνεται με επίπεδες έδρες. Επιλέγοντας την *Smooth* μέθοδο, οι έδρες δημιουργούνται όσο το δυνατόν πιο συνεχείς στα όρια της οπής. Επιλέγοντας την *Curvature* μέθοδο, δημιουργώ έδρες οι οποίες ακολουθούν την καμπυλότητα της οριακής περιοχής. Με την επιλογή *Smooth hole boundaries before filling*, εξομαλύνω τις έδρες στα όρια της οπής πριν τη συμπλήρωσή της. Με την επιλογή *Except the Biggest Hole*, συμπληρώνω όλες τις οπές του μοντέλου εκτός από τη μεγαλύτερη. Τέλος, με την επιλογή *Small Hole Only* συμπληρώνεται μόνο η οπή η οποία έχει μικρότερο αριθμό οριακών ακμών από έναν αριθμό που καθορίζω.

ΕΙΚΟΝΑ 3.11: ΜΕΝΟΥ ΔΙΑΛΟΓΟΥ.

Επιλέγω κατά σειρά τις μεθόδους *Flat*, *Smooth* και *Curvature* για τη συμπλήρωση της οπής, κάνοντας χρήση της επιλογής *Smooth hole boundaries before filling* για κάθε μια από αυτές. Το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην εικόνα 3.12.

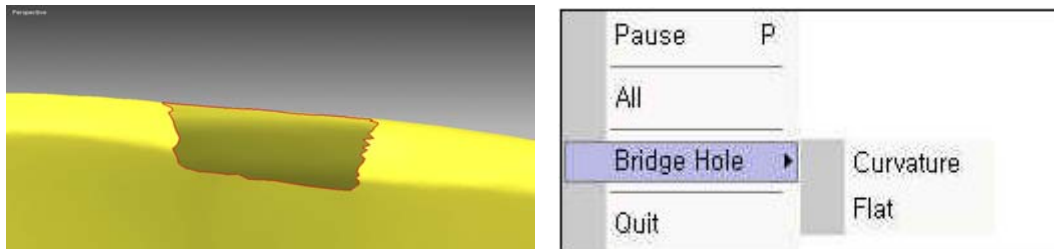




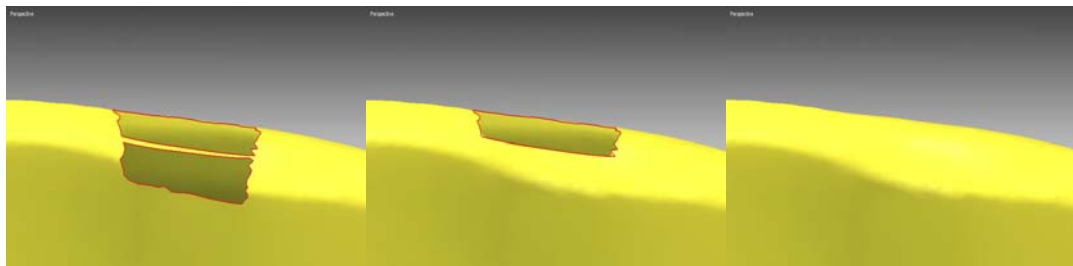
ΕΙΚΟΝΑ 3.12: FLAT, SMOOTH ΚΑΙ CURVATURE HOLE FILLING.

Η εφαρμογή *Curvature Hole Filling* αποδίδει όπως είναι φανερό καλύτερης ποιότητας αποτελέσματα και συνίσταται στις περισσότερες περιπτώσεις.

2. Σε περιπτώσεις όπως με πολύπλοκα όρια εφαρμόζω *manually filling*, ώστε να γεφυρώσω το κενό ανάμεσα σε δύο ακμές των ορίων της οπής και στη συνέχεια καλύπτω τις οπές που προκύπτουν με αυτόματο τρόπο. Αφού εμφανίσω τα όρια της οπής στο *shell* που ακολουθεί, με *RMB* εμφανίζεται το ακόλουθο *menu* :



Με την επιλογή *Bridge Hole* γεφυρώνω το κενό ανάμεσα σε δύο ακμές της οπής (επιλέγοντας *curvature*) και τη χωρίζω σε δύο μικρότερες. Για τις δύο αυτές νέες οπές εκτελώ *Automatic hole filling* επιλέγοντας μέθοδο *Curvature*.



ΕΙΚΟΝΑ 3.13: BRIDGEHOLE CURVATURE HOLE FILLING.

- **Tool >> Fill Holes >> Volume**

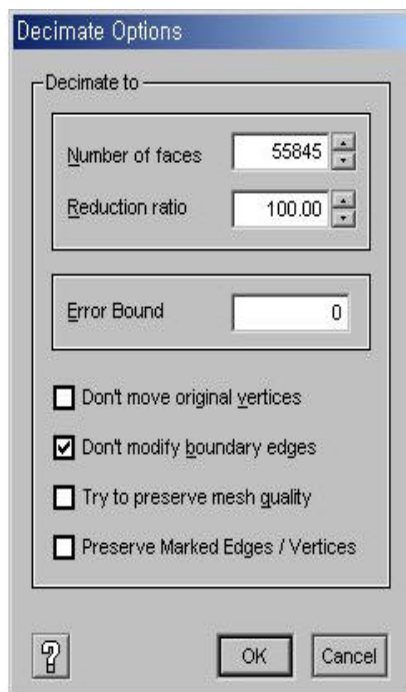
Η μέθοδος δημιουργεί ένα voxel μοντέλο αναφοράς το οποίο διατηρεί τη γεωμετρία του αρχικού μοντέλου. Λέγοντας voxel εννοούμε ένα τρισδιάστατο δικτυωτό πλέγμα με ομοιόμορφο μέγεθος εσωτερικά. Η κάλυψη των οπών γίνεται με προέκταση των ορίων του shell. Στις περιπτώσεις shells με ακατάστατα όρια αποδίδει καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με την κάλυψη των οπών με επιλογή Surface. Παρουσιάζεται αναλυτικά κατά την εφαρμογή.

### 3.3.3 OPTIMISATION (ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ).

Αναφέρεται στη χρήση εντολών για τη βελτίωση της ποιότητας του τριγωνοποιημένου πλέγματος.

- **DECIMATE**

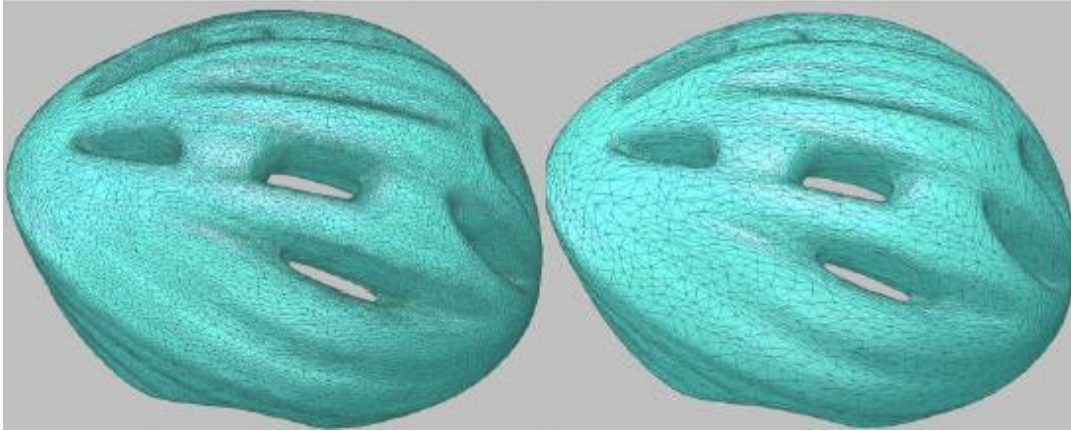
Με την εντολή *Tool >> Decimate >> High Quality Shell/Region* μειώνω τον αριθμό των εδρών ενός shell ή μιας περιοχής του αντίστοιχα. Ένας αριθμός κορυφών ενώνεται και τοποθετείται σε νέες θέσεις ώστε να μειωθεί ο αριθμός των εδρών του shell. Κατά την εφαρμογή της εντολής η αρχική μορφή του shell διατηρείται. Επιλέγοντας το shell εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο διαλόγου



Ο αριθμός των ακμών του shell αρχικά φαίνεται στο Number of Faces. Στο Reduction Ratio επιλέγω το ποσοστό των ακμών οι οποίες θα διατηρηθούν κατά την εφαρμογή του Decimate, οπότε μειώνεται κατά αναλογία ο αριθμός των ακμών. Με την επιλογή Error Bound καθορίζω την επιτρεπτή απόκλιση ανάμεσα στις κορυφές των δύο shells κατά την εφαρμογή της εντολής. Επιλέγω σε κάθε περίπτωση μηδενική τιμή. Με την επιλογή Do not Move Original Vertices διατηρώ τις θέσεις των κορυφών που απομένουν, ενώ με την επιλογή Do not Modify boundary edges διατηρώ τη μορφή των ορίων του μοντέλου. Με την επιλογή Try to preserve mesh quality προσπαθώ να διατηρήσω την ποιότητα του πλέγματος στο βαθμό που κάτι τέτοιο είναι δυνατό. Τέλος, με την επιλογή Preserve Marked Edges/Vertices καθορίζω αν θα διατηρήσω τη θέση ακμών ή κορυφών, τις οποίες έχω προεπιλέξει.

ΕΙΚΟΝΑ 3.14: DECIMATE MENU.

Στην εικόνα 3.15 φαίνεται ένα shell πριν και μετά την εφαρμογή της εντολής. Οι έδρες του μειώνονται σε ποσοστό 70 % συγκριτικά με τις αρχικές. Το αρχικό shell απεικονίζεται αριστερά, ενώ το τελικό δεξιά. Παρατηρώ ότι το τελικό shell διατηρεί τη μορφή του αρχικού και επιπλέον ένα καλής ποιότητας τριγωνοποιημένο πλέγμα.

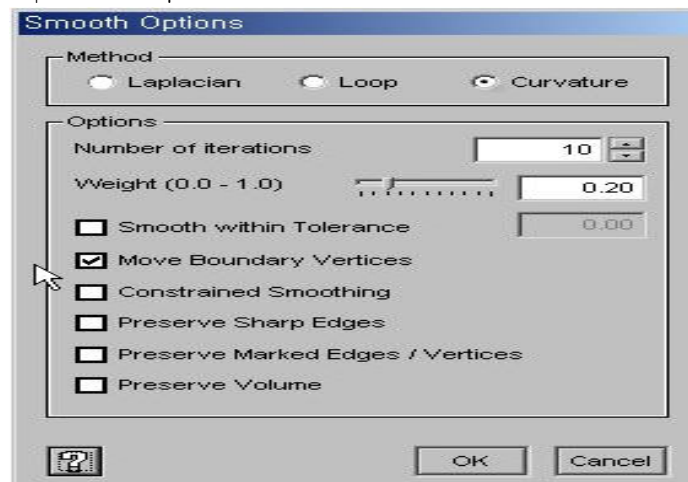


ΕΙΚΟΝΑ 3.15: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΝΤΟΛΗΣ DECIMATE.

Το πλεονέκτημα από την εφαρμογή της εντολής είναι η ευκολότερη επεξεργασία του μοντέλου στα επόμενα στάδια, καθώς μείωση στον αριθμό των τριγώνων συνεπάγεται και μείωση του χρόνου εκτέλεσης των επόμενων εντολών. Η εφαρμογή του decimate όμως δεν ενδείκνυται σε όλες τις περιπτώσεις, καθώς σε αρκετές περιπτώσεις το σχήμα του μοντέλου παραμορφώνεται, ενώ σε άλλες το τροποποιημένο μοντέλο είναι πιθανό να μην εμφανίζει ικανοποιητική τριγωνοποίηση. Επομένως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή αυτής της εντολής. Είναι προτιμότερο να μην εφαρμόσω την εντολή και να απαιτείται περισσότερος χρόνος για την περαιτέρω επεξεργασία του μοντέλου, από το να αποκτήσω ένα κακής ποιότητας τριγωνοποιημένο πλέγμα το οποίο επεξεργάζεται σε μικρότερο χρόνο.

- **SMOOTH (ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ)**

Με την εντολή *Tool >> Smooth >> Shell/Region* μετατοπίζονται οι κορυφές ενός κελύφους ή μιας επιλεγμένης περιοχής (ενός δηλαδή συνόλου εδρών), ώστε να μειωθεί η τραχύτητα της επιφάνειας χωρίς να έχω μείωση του αριθμού των κορυφών. Επιλέγοντας ένα shell ή μια περιοχή προκύπτει το ακόλουθο παράθυρο διαλόγου:



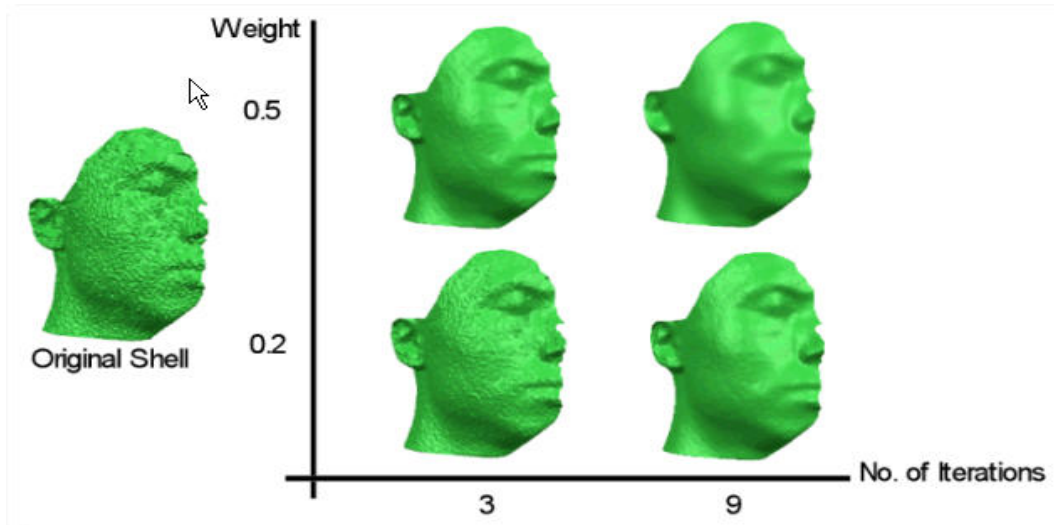
ΕΙΚΟΝΑ 3.16: SMOOTH MENU.

Η εξομάλυνση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρεις διαφορετικούς αλγόριθμους: *Laplacian*, *Loop* και *Curvature*. Στο Number of Iterations



εισάγω τον αριθμό των επαναλήψεων του αλγόριθμου, ενώ με το Weight αποδίδω μια αξία-βάρος σε αυτόν (παίρνει τιμές από 0 έως 1). Η επιλογή Smoothing within Tolerance καθορίζει το επιτρεπτό όριο απόκλισης των κορυφών κατά την εφαρμογή της εξομάλυνσης. Με την επιλογή Move Boundary Vertices καθορίζω τη μετακίνηση ή όχι των οριακών κορυφών. Η επιλογή Constrained Smoothing αναφέρεται στη χρήση του αλγόριθμου Laplace. Η επιλογή Preserve Sharp Edges αναφέρεται στη διατήρηση ή όχι εδρών με απότομη κλίση. Η επιλογή Preserve Marked Edges/Vertices καθορίζει αν θα διατηρήσω τη θέση ακμών ή κορυφών, τις οποίες έχω προεπιλέξει. Τέλος, με την επιλογή Preserve Volume αποφασίζω αν θα διατηρήσω τον συνολικό όγκο του shell.

Η μοναδική αξιόπιστη μέθοδος για την εφαρμογή της εξομάλυνσης είναι η Curvature καθώς με επιλογή της μεθόδου Laplacian ή Loop χάνω τις ιδιαίτερες λεπτομέρειες της μορφής του μοντέλου με απροσδόκητο τρόπο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των επαναλήψεων, τόσο πιο ομαλή είναι η επιφάνεια που προκύπτει. Αν η τραχύτητα μιας επιφάνειας είναι ιδιαίτερα μεγάλη αυξάνω το weight και μειώνω τον αριθμό των επαναλήψεων. Αποτελέσματα για ενδεικτικές τιμές των δύο παραμέτρων φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



ΕΙΚΟΝΑ 3.17: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ SMOOTH ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ WEIGHT ΚΑΙ ΤΟΥ NUMBER OF ITERATIONS.

Κατά την εξομάλυνση ενός shell πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί, καθώς υπερβολικές επαναλήψεις του αλγόριθμου μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια των λεπτομερειών του shell. Για το λόγο αυτό πριν την εφαρμογή της εξομάλυνσης δημιουργώ ένα αντίγραφο του shell, ώστε στο τέλος της διαδικασίας να συγκρίνω την απόκλισή του με το εξομαλυνμένο shell. Η αξιολόγηση της εξομάλυνσης γίνεται με χρήση της εντολής *Measure >> Shell to Shell Deviation*. Το ίδιο πράττω και κατά την εφαρμογή του decimate.

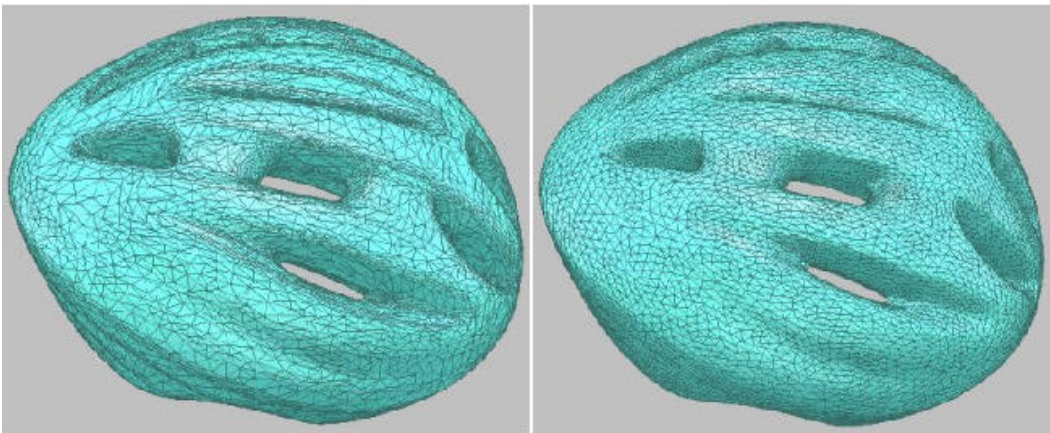
- **REMESH**

Με την εντολή *Tool >> Remesh >> Global* επανατριγωνοποιώ τις έδρες ενός shell βελτιώνοντας την ποιότητα κάθε μιας από αυτές. Μια έδρα θεωρείται ότι έχει καλή ποιότητα εάν το σχήμα της προσεγγίζει ένα ισόπλευρο τρίγωνο. Με την επιλογή του shell προκύπτει το ακόλουθο menu διαλόγου:



ΕΙΚΟΝΑ 3.18: REMESH MENU.

Η επιλογή *Preserve Sharp Edges* καθορίζει αν θα διατηρηθούν ή όχι οι sharp edges. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ένα shell πριν και μετά την εφαρμογή της εντολής (το αριστερό είναι το αρχικό, ενώ το δεξιό είναι το τελικό).

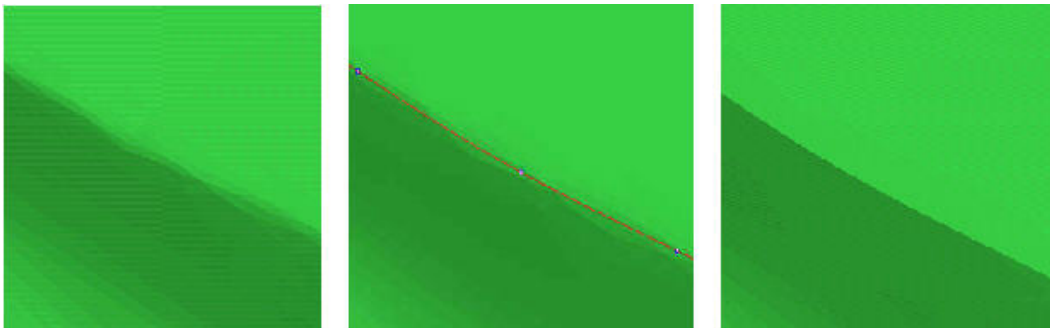


ΕΙΚΟΝΑ 3.19: REMESHED SHELL.

Οι επόμενες δύο εντολές βελτιστοποίησης προϋποθέτουν τη δημιουργία καμπύλων στο Curve Workbench.

- ***FIT EDGES TO CURVES***

Με χρήση της εντολής *Tool >> Fit Edges to Curves* αναδιατάσσονται οι ακμές γύρω από επιλεγμένες καμπύλες, έτσι ώστε να συμπίπτουν με τις καμπύλες αυτές. Τα περισσότερα scanners αποτυγχάνουν να αποτυπώσουν με ακριβή τρόπο τις ακμές ενός αντικειμένου με οξεία - απότομη κλίση. Με χρήση αυτής της εντολής οι sharp edges ανακατασκευάζονται, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.20.

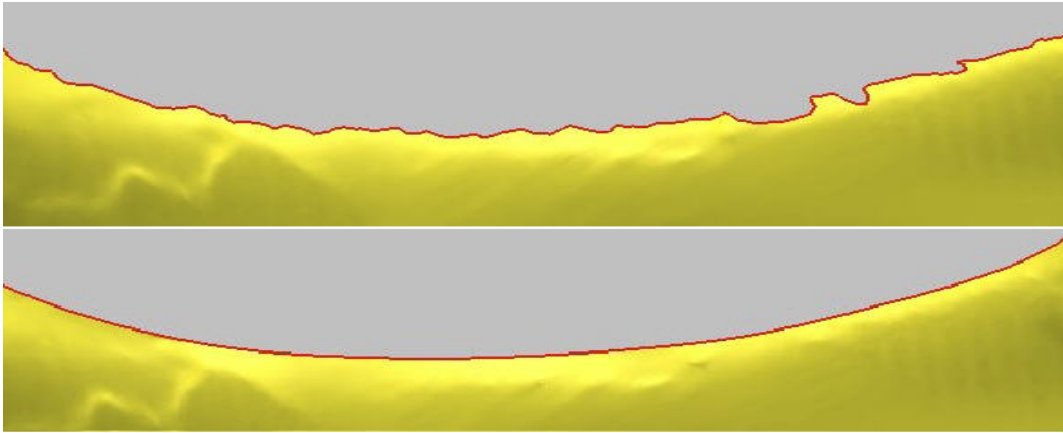


ΕΙΚΟΝΑ 3.20: ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΑΚΜΩΝ ΜΕ ΑΠΟΤΟΜΗ ΚΛΙΣΗ ΣΕ ΚΑΜΠΥΛΗ.

Επομένως, κατά τη χρήση εντολών βελτιστοποίησης όπως η Remesh και η Smooth πάντοτε κάνω χρήση της επιλογής Preserve Sharp Edges ώστε να διατηρήσω τις sharp Edges, τις οποίες προσαρμόζω αργότερα σε καμπύλη με τη χρήση αυτής της εντολής.

- ***FIT BOUNDARIES TO CURVES***

Η διαδικασία τριγωνοποίησης αδυνατεί να δημιουργήσει ακριβή όρια σε ένα μοντέλο. Για το λόγο αυτό δημιουργώ μια καμπύλη η οποία προσεγγίζει τις οριακές κορυφές του τριγωνοποιημένου μοντέλου με χρήση της εντολής *Curve >> Create >> Fit Boundary*. Επιλέγω τις οριακές κορυφές του μοντέλου και εκτελώ την εντολή *Tool >> Fit Boundaries to Curves*, οπότε οι οριακές ακμές του μοντέλου μετατοπίζονται στις επιλεγμένες καμπύλες και συμπίπτουν με αυτές. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 3.21.

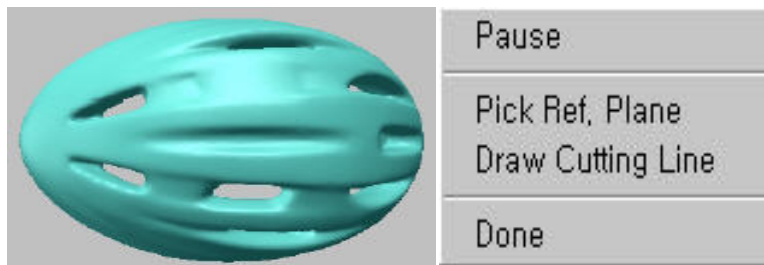


ΕΙΚΟΝΑ 3.21: ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΟΡΙΑΚΩΝ ΑΚΜΩΝ ΣΕ ΚΑΜΠΥΛΗ.

### 3.3.4 EDIT (ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ) .

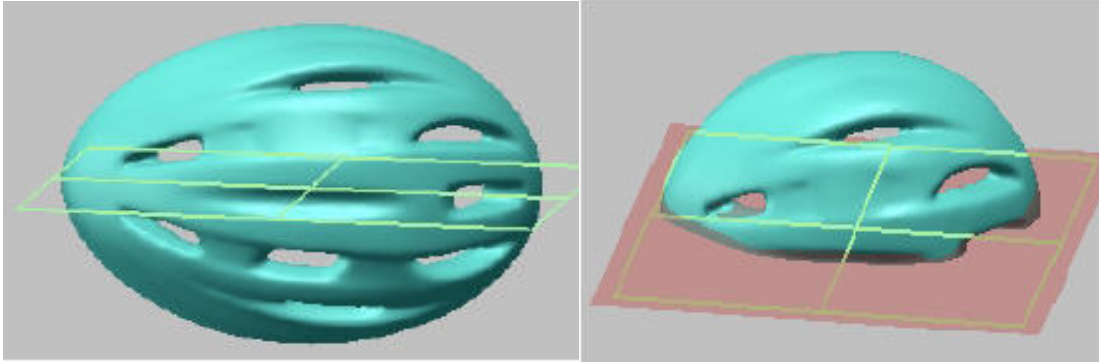
- ***DIVIDE / MIRROR (ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΤΟΠΤΡΙΣΜΟΣ)***

Η λειτουργία της αποκοπής Divide επιτρέπει τη διαίρεση ενός μοντέλου με τη χρήση ενός επιπέδου αναφοράς. Κατά τη διάρκεια της αποκοπής μπορώ να επιλέξω την αντίγραφο του αντικατοπτρισμού (Mirror). Με την επιλογή αυτή δημιουργώ ένα αντίγραφο του αποκομμένου μοντέλου, το αντιστρέφω και το τοποθετώ με τέτοιο τρόπο ως προς το επίπεδο αναφοράς, ώστε να κοιτάζει στην αντίθετη διεύθυνση από το αρχικό. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει το σχεδιασμό ενός συμμετρικού μοντέλου. Έτσι, μπορώ να χωρίσω ένα μοντέλο σε δύο συμμετρικά τμήματα (parts), να κάνω αλλαγές στο ένα από τα δύο και χρησιμοποιώντας τη λειτουργία του αντικατοπτρισμού να προσαρμόσω ένα αντεστραμμένο αντίγραφό του στην άλλη πλευρά. Εφαρμόζοντας την *Tool >> Divide >> Mirror* για το shell της εικόνας και με RMB εμφανίζεται το menu

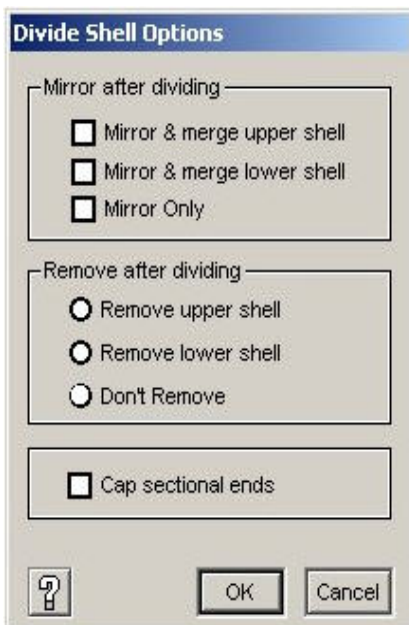


ΕΙΚΟΝΑ 3.22: ΑΡΧΙΚΟ SHELL ΚΑΙ MENU.

Με την επιλογή Pick Reference Plane επιλέγω ένα επίπεδο αναφοράς που έχω ορίσει πιο πριν ως το επίπεδο της διαίρεσης. Η επιλογή Draw Cutting Line αναφέρεται στην επιλογή επιπέδου διαίρεσης σχεδιάζοντας μια γραμμή, χωρίς τη χρήση επιπέδου αναφοράς. Επιλέγοντας τη reference plane με το πράσινο χρώμα (3.23 αριστερά) και Done, αυτή απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα (3.23 δεξιά) και πλέον εμφανίζεται μόνο το πάνω τμήμα του shell στην εικόνα δεξιά (upper part). Ακόμη έχω το menu διαλόγου της εικόνας 3.24



ΕΙΚΟΝΑ 3.23: REFERENCE PLANE ΚΑΙ ΤΟ ΠΑΝΩ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ SHELL.



ΕΙΚΟΝΑ 3.24: DIVIDE MENU.

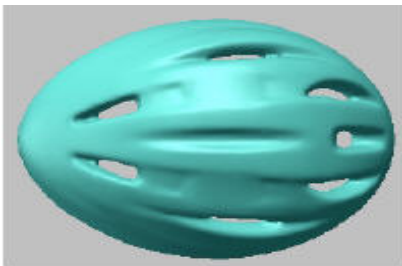
Με την επιλογή Mirror & merge upper shell αντικατοπτρίζω το πάνω τμήμα και το ενώνω με τον εαυτό του. Με την επιλογή Mirror & Merge lower shell αντικατοπτρίζω το κάτω τμήμα και το ενώνω με τον εαυτό του. Με την επιλογή Mirror Only αντικατοπτρίζω μόνο χωρίς διαίρεση.

Με την επιλογή Remove upper shell διαγράφω το πάνω τμήμα μετά τη διαίρεση, ενώ με Remove lower shell το κάτω τμήμα.

Με την επιλογή Do not Remove δε διαγράφω κανένα από τα δύο parts του shell μετά τη διαίρεση.

Τέλος, επειδή με τη διαίρεση του shell είναι πιθανή η δημιουργία ασυνεχειών στα όρια των δύο parts με το επίπεδο αναφοράς, επιλέγω κάθε φορά Cap Sectional Ends για την αυτόματη κάλυψη των ασυνεχειών.

Επιλέγω Mirror & merge upper shell και Remove lower shell στο menu διαλόγου και έχω το τελικό συμμετρικό shell.

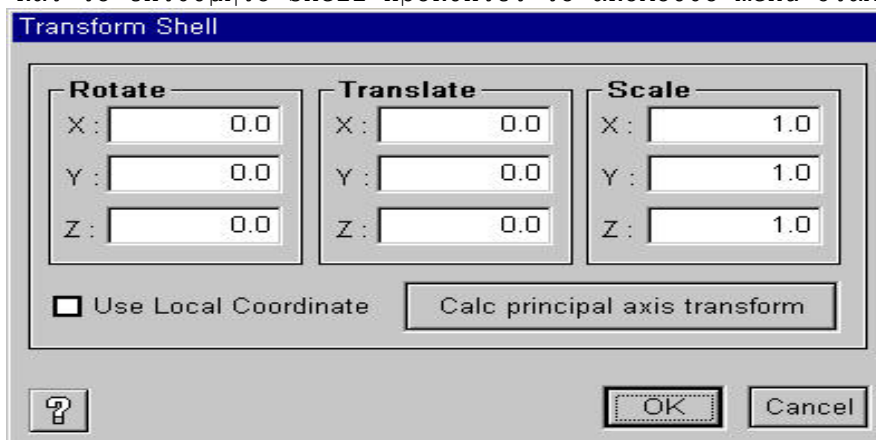


ΕΙΚΟΝΑ 3.25: ΤΕΛΙΚΟ SHELL.

Επιλέγω Mirror & merge upper shell και Remove lower shell στο menu διαλόγου και έχω το τελικό συμμετρικό shell της εικόνας 3.25.

- **TRANSFORM (ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ).**

Σε αρκετές περιπτώσεις ένα shell εμφανίζεται μακριά από τη θέση που επιθυμώ. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίος ο μετασχηματισμός του μέσω αλλαγής των συντεταγμένων του. Επιλέγοντας την εντολή *Edit >> Transform >> Shell* και το επιθυμητό shell προκύπτει το ακόλουθο menu διαλόγου:



ΕΙΚΟΝΑ 3.26: MENU ΔΙΑΛΟΓΟΥ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ.

Εμφανίζονται τρεις πίνακες Rotate, Translate και Scale για την περιστροφή, τη μετατόπιση και την αλλαγή των διαστάσεων του shell αντίστοιχα. Σε καθέναν από αυτούς εισάγω τις τιμές που επιθυμώ για το μετασχηματισμό του shell ως προς τους τρεις άξονες X, Y και Z.

Στον πίνακα Scale εισάγοντας τιμές μεγαλύτερες του 1 πετυχαίνω αύξηση του μεγέθους του shell, ενώ για τιμές μικρότερες της μονάδας πετυχαίνω μείωση του μεγέθους του. Οι μετασχηματισμοί του shell γίνονται ως προς τη βάση του συστήματος συντεταγμένων του, δηλαδή το bounding box.

Επιλέγοντας Calculate principal axis transform, υπολογίζεται ο κύριος άξονας του bounding box και οι τιμές για καθέναν από τους τρεις άξονες εισάγονται αυτόματα. Το αποτέλεσμα είναι ο μετασχηματισμός του shell με τέτοιο τρόπο ώστε το κέντρο του να μετακινηθεί στο σημείο μηδέν του bounding box, το οποίο αποκτά και τον μικρότερο δυνατό όγκο. Η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις συμμετρικών μοντέλων.

### 3.4 CURVE WORKBENCH

Για να ορίσω το τριγωνοποιημένο μοντέλο που δημιούργησα ακριβέστερα, απαιτείται η προσαρμογή NURBS επιφανειών σε αυτό.

Η διαδικασία δημιουργίας επιφανειών ξεκινά με τη δημιουργία καμπύλων. Δημιουργώντας ένα δίκτυο καμπύλων (curve network) μπορούμε να ορίσουμε τη διάταξη των επιφανειών, οι οποίες θα δημιουργηθούν στη συνέχεια. Ένα επιφανειακό μπάλωμα (surface patch) μπορεί να οριστεί το λιγότερο από 2 καμπύλες, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. Ωστόσο, ένα ομαλό και εφαιτομενικά συνεχές δίκτυο επιφανειών απαιτεί επιφανειακά μπαλώματα αποτελούμενα από 4 καμπύλες (untrimmed surfaces).

Το βασικό μειονέκτημα των NURBS επιφανειών είναι ότι η φύση τους είναι ορθογώνια. Αυτό δε σημαίνει ότι δε μπορώ να τις επιμηκύνω σε οποιοδήποτε σχήμα, αλλά ότι για να πετύχω μια καλή προσαρμογή NURBS επιφανειών σε ένα μοντέλο απαιτείται να χωρίσω το προς ψηφιοποίηση αντικείμενο σε ένα σύνολο από ορθογώνιες και τετράγωνες επιφάνειες. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μη ορθογώνιων επιφανειών, τόσο χειρότερη είναι και η

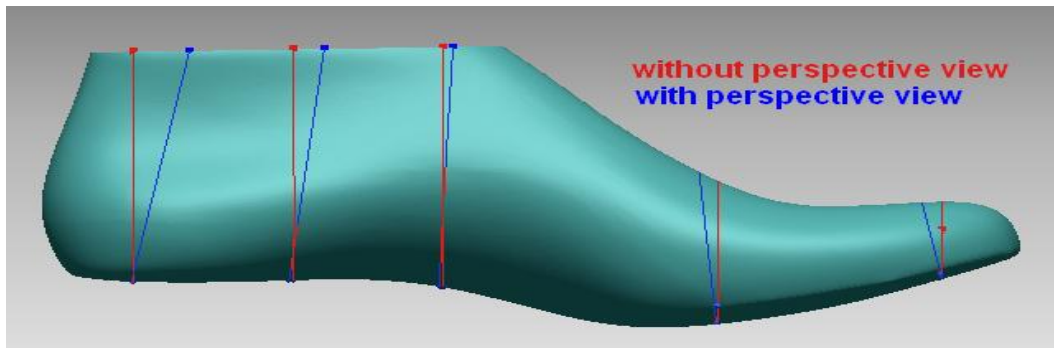


ακρίβεια του μοντέλου. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι untrimmed surfaces προσεγγίζουν καλύτερα ένα μοντέλο. Κατά τη δημιουργία καμπύλων επιδιώκω να μην προσεγγίσω τις όποιες γωνίες του μοντέλου με οξείες ή αμβλείες καμπύλες (στην ιδανική τους μορφή είναι ακριβώς 90°). Σε αυτό το workbench περιλαμβάνονται διάφορες εντολές για τη δημιουργία καμπύλων σε ένα βελτιστοποιημένο μοντέλο και την τροποποίηση της μορφής τους.

Οι καμπύλες που δημιουργούνται είναι δύο ειδών: shell curves και space curves. Οι πρώτες ενώνονται αυτόματα με το shell κατά τη δημιουργία τους και όλες οι λειτουργίες τροποποίησής τους μπορούν να εφαρμοστούν, ενώ οι δεύτερες αιωρούνται στην επιφάνεια του shell χωρίς να συνδέονται με αυτό και δεν επιδέχονται τροποποίηση. Με χρήση της εντολής Curve >> Tool >> Attach to Shell προσαρμώζω τις space curves στο shell και πλέον μπορώ να τις επεξεργαστώ.

#### 3.4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΜΠΥΛΩΝ.

Κατά τη δημιουργία καμπύλων σε ένα μοντέλο, η απεικόνιση του στο workspace window παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Ειδικότερα, η ενεργοποίηση ή όχι της επιλογής Perspective View στο Toolbar επηρεάζει τη μορφή των καμπύλων που θα δημιουργηθούν. Στην εικόνα που ακολουθεί οι κόκκινες καμπύλες σχεδιάστηκαν με ενεργοποιημένο το Perspective View, ενώ οι μπλέ με απενεργοποιημένο το Perspective View.

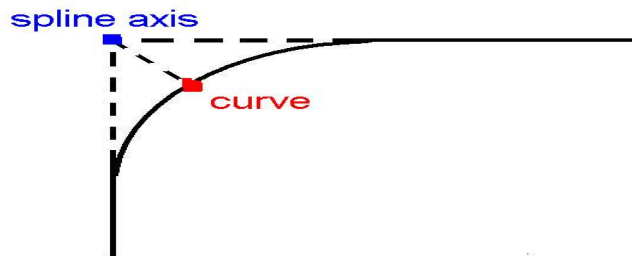


ΕΙΚΟΝΑ 3.27: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΜΕ Η΄ ΧΩΡΙΣ PERSPECTIVE VIEW.

Για τη δημιουργία λοιπόν (straight) καμπύλων σε ένα μοντέλο, συνίσταται η απενεργοποίηση του Perspective View πριν την έναρξη της διαδικασίας. Στη συνέχεια αναλύονται οι βασικοί τρόποι για τη δημιουργία καμπύλων.

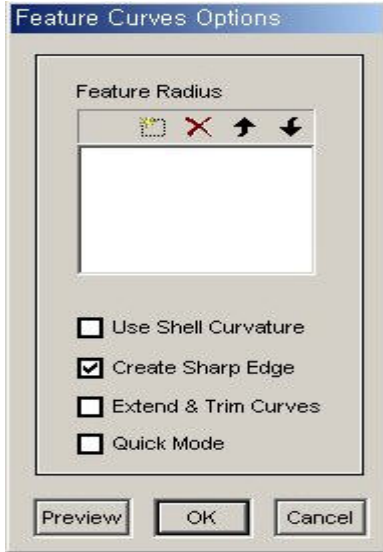
##### • **FEATURE CURVES**

Με την εντολή Curve >> Create >> Feature Curves δημιουργούνται αυτόματα καμπύλες με βάση τα χαρακτηριστικά (features) ενός shell. Η δημιουργία τους στηρίζεται στην ανίχνευση του spline άξονα των κυκλικών περιοχών (rounded features) ενός shell.



ΕΙΚΟΝΑ 3.28: Ο SPLINE AXIS ΚΑΙ Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ.

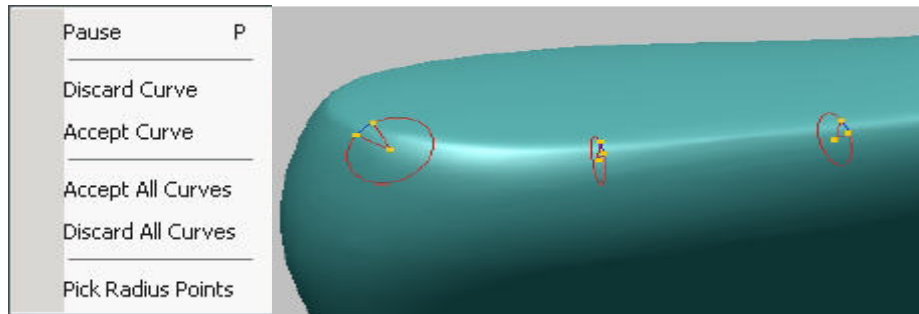
Επιλέγοντας το shell της εικόνας 3.30 για την εφαρμογή της εντολής προκύπτει το ακόλουθο menu διαλόγου:



Εισάγω μια ακτίνα (Feature Radius) για την κυκλική περιοχή του shell που με ενδιαφέρει. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται feature curves στο μοντέλο, των οποίων η ακτίνα είναι μικρότερη από την εισαγόμενη ακτίνα. Με χρήση της Use Shell Curvature, επιλέγω να δημιουργηθούν Feature Curves με βάση την καμπυλότητα του shell. Με την επιλογή Create Sharp Edge δημιουργώ sharp edges στο shell. Η επιλογή Extend & Trim Curves χρησιμοποιείται για την προέκταση και την αποκοπή των καμπύλων που θα δημιουργηθούν (η επιλογή της όμως αποφεύγεται καθώς η επέκταση μιας καμπύλης δε δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα). Τέλος, με Quick Mode επιταχύνω τη διαδικασία σε περιπτώσεις που οι κυκλικές περιοχές δεν είναι ιδιαίτερα περίπλοκες.

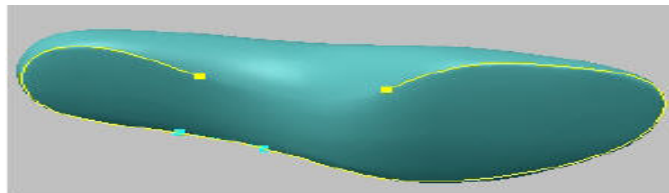
ΕΙΚΟΝΑ 3.29: FEATURE CURVES MENU.

Για να υπολογίσω την ακτίνα που θα εισάγω στο Feature Radius, κάνω RMB και προκύπτει το menu διαλόγου στα αριστερά:



ΕΙΚΟΝΑ 3.30: RMB MENU ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ PICK RADIUS POINTS.

Με τη χρήση του Pick Radius Points επιλέγω δύο σημεία σε κάθε κυκλική περιοχή του shell, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.30. Αφού ολοκληρώσω την επιλογή των σημείων η ακτίνα που υπολογίστηκε αυτόματα από κάθε ζευγάρι σημείων εισέρχεται στο βασικό menu ως Feature Radius. Στο βασικό menu επιλέγω τις Use Shell Curvature και Create Sharp Edge και εκτελώ Preview για να ελέγξω την καμπύλη που πρόκειται να σχηματιστεί. Αν είμαι ικανοποιημένος από το αποτέλεσμα επιλέγω Accept Curve στο RMB menu (η καμπύλη εμφανίζεται με κίτρινο χρώμα στην εικόνα 3.31) και η διαδικασία ολοκληρώνεται. Διαφορετικά ακυρώνω τη διαδικασία και επιλέγω νέα ζευγάρια σημείων, προσπαθώντας να πετύχω μεγαλύτερη ακρίβεια κατά την επιλογή τους.



ΕΙΚΟΝΑ 3.31: FEATURE CURVE.

Εναλλακτικά για τον υπολογισμό της ακτίνας (Feature Radius) μιας κυκλικής περιοχής κάνω χρήση της εντολής του Polygon Workbench *Measure >> Radius >> Rounded Area Radius*. Με την εντολή αυτή επιλέγω ένα σημείο στο μέσο και ένα ακόμη στην άκρη της κυκλικής περιοχής και εισάγω την ακτίνα που θα προκύψει ως Feature Radius στο βασικό menu.

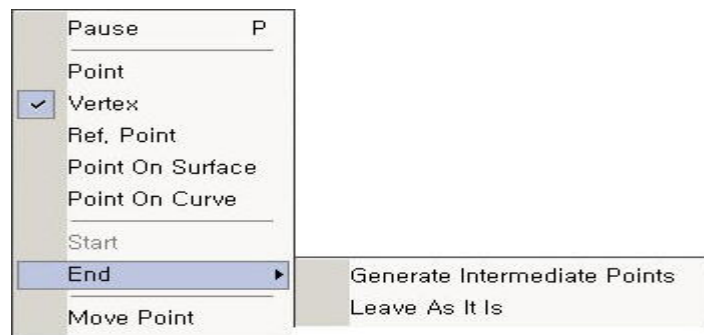
Κατά τη δημιουργία καμπύλων με τη μέθοδο αυτή είναι πιθανό να προκύψουν space curves, τις οποίες προσαρμόζω στο shell με χρήση της Tool >> *Attach To Shell*. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις αν και έχω δημιουργία shell curves, αυτές δεν προσαρμόζονται στη γεωμετρία του μοντέλου, οπότε και εκτελώ την Tool >> *Fit Edges To Curves*.

Η δημιουργία καμπύλων με αυτή τη μέθοδο αποδίδει ακριβή αποτελέσματα στην περίπτωση απλών μοντέλων, αλλά αποτυγχάνει στην περίπτωση μοντέλων με πολλές κυκλικές περιοχές υψηλής πολυπλοκότητας.

### • **INTERPOLATION CURVES**

Οι καμπύλες αυτής της μορφής είναι το πιο βασικό εργαλείο για τη δημιουργία καμπύλων manually. Δημιουργούνται από ένα σύνολο σημείων, τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ των άκρων μιας ανοιχτής καμπύλης ή μεταξύ δύο διαφορετικών καμπύλων, σχηματίζοντας μια νέα καμπύλη. Ο αριθμός των παρεμβαλλόμενων σημείων, από τα οποία διέρχεται η καμπύλη, καθορίζεται από το χρήστη.

Επιλέγω την Curve >> Create >> *Interpolate* και με RMB εμφανίζεται το ακόλουθο menu διαλόγου:



ΕΙΚΟΝΑ 3.32: INTERPOLATION CURVES MENU.

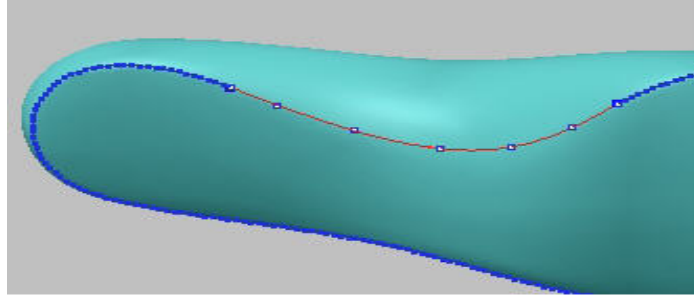
Για την επιλογή των παρεμβαλλόμενων σημείων έχω τις εξής 5 επιλογές: Point (οποιοδήποτε σημείο μιας έδρας), Vertex (κορυφή), Reference Point (σημείο αναφοράς), Point on Surface (σημείο μιας επιφάνειας), Point on Curve (σημείο μιας καμπύλης). Επιλέγω Start και αρχίζω να επιλέγω διαδοχικά τα σημεία, οπότε και εμφανίζεται μια κόκκινη καμπύλη η οποία διέρχεται από αυτά. Κατά τη διάρκεια της επιλογής των σημείων, τα οποία καθορίζουν τη μορφή της παρεμβαλλόμενης καμπύλης, μπορώ να αλλάξω τη θέση όσων δε με ικανοποιούν με την επιλογή Move Point. Υστερα από την επιλογή όλων των σημείων επιλέγω End στο menu και προκύπτουν δύο νέες επιλογές για την καμπύλη:

Η Generate Intermediate Points, με την οποία προστίθενται νέα ισαπέχοντα παρεμβαλλόμενα σημεία ανάμεσα στα ήδη επιλεγμένα και η Leave As It Is, με την οποία η καμπύλη δημιουργείται αυστηρά από τα σημεία που έχω επιλέξει.

Στην περίπτωση κατά την οποία παρεμβάλλω τα ανοιχτά άκρα μιας καμπύλης, είναι απαραίτητο για το αρχικό και το τελικό σημείο να επιλέξω Point On Curve, ώστε η καμπύλη παρεμβολής να ενώνεται στα άκρα της με την προηγούμενη καμπύλη.



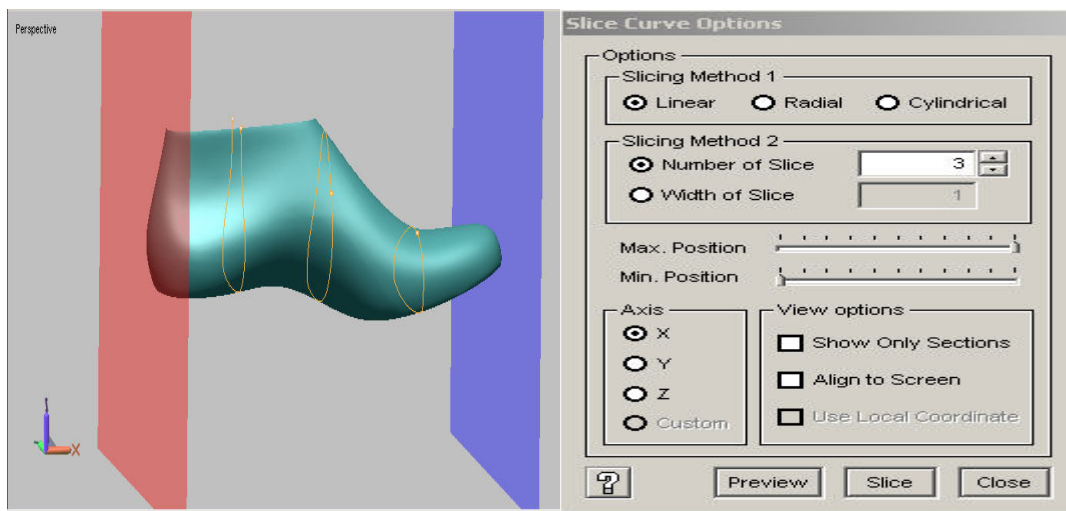
Στην εικόνα που ακολουθεί η καμπύλη παρεμβολής (με κόκκινο χρώμα) προσεγγίζει τη feature curve της εικόνας 3.32:



ΕΙΚΟΝΑ 3.33: INTERPOLATED CURVE.

#### • SLICE CURVES

Πρόκειται για καμπύλες οι οποίες δημιουργούνται με τμηματοποίηση του shell κατά μήκος ενός άξονα (section curves). Η δημιουργία slice καμπύλων είναι βασική για τη δημιουργία ενός δικτύου καμπύλων. Εκτελώ την εντολή Curve >> Create >> Slice για το μοντέλο της εικόνας 3.34 (αριστερά) και προκύπτει το menu διαλόγου (δεξιά). Στην εικόνα φαίνεται η τμηματοποίηση του μοντέλου ως προς τον X άξονα. Δημιουργούνται 3 slice curves, οι οποίες σημειώνονται με κίτρινο χρώμα.



ΕΙΚΟΝΑ 3.34: SLICE CURVES AND SLICE CURVE MENU.

Υπάρχουν δύο αλληλοσυμπληρούμενες μέθοδοι τμηματοποίησης (Slicing Methods). Η πρώτη καθορίζει το είδος της τμηματοποίησης εφαρμόζοντας γραμμική (Linear), ακτινική (Radial) ή κυλινδρική (Cylindrical), ενώ η δεύτερη καθορίζει τον αριθμό των τμημάτων (Number of Slice) και τη μεταξύ τους απόσταση (Width of Slice). Οι slice curves απέχουν ίση απόσταση μεταξύ τους (γι' αυτό και στο Width of Slice προεπιλέγεται η μονάδα). Η επιλογή Axis καθορίζει τον άξονα ως προς τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η τμηματοποίηση (X, Y, Z ή Custom για την επιλογή μιας καμπύλης ως αναφορά της τμηματοποίησης).

Οι Max-Min Position καθορίζουν τα όρια του μοντέλου στα οποία επιθυμούμε να δημιουργήσουμε slices (στην εικόνα 3.34 είναι οι ροζ-μώβ επιφάνειες αντίστοιχα). Με την επιλογή Show Only Sections απεικονίζονται μόνο οι section curves στο workspace window, ενώ με την Align to Screen το

μοντέλο απεικονίζεται ως προς έναν επιλεγμένο άξονα. Με το κουμπί Preview έχω τη δυνατότητα προεπισκόπησης των καμπύλων. Αν είμαι ικανοποιημένος από το αποτέλεσμα, πατώ το Slice για να εκτελέσω την τμηματοποίηση. Διαφορετικά αλλάζω τα Max, Min Position ή το Number of Slice και εκτελώ νέα προεπισκόπηση του αποτελέσματος με Preview.

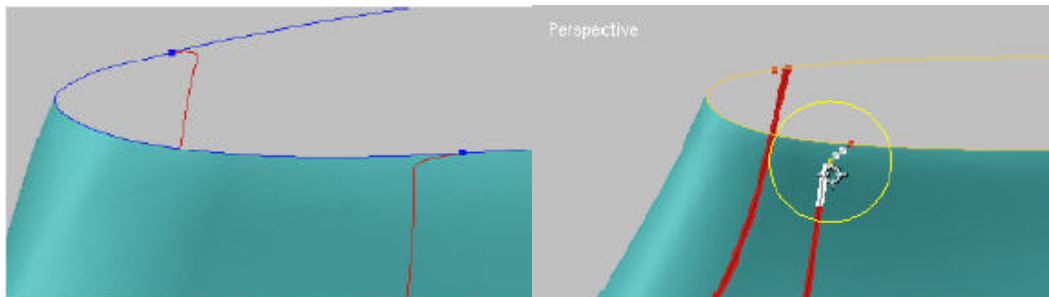
### 3.4.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΜΠΥΛΩΝ.

Εφ' όσον έχω δημιουργήσει τις καμπύλες, είναι απαραίτητο να βελτιώσω τη μορφή και την ποιότητά τους και να τις συνδέσω μεταξύ τους, σχηματίζοντας ένα δίκτυο καμπύλων με τη χρήση των ακόλουθων εντολών.

- **DEFORM**

Με την εντολή *Curve >> Edit >> Deform* παραμορφώνω τη γεωμετρία μιας καμπύλης, αλλάζοντας τη θέση των σημείων ελέγχου της. Οι καμπύλες εξομαλύνονται με αυτή τη λειτουργία.

Επιλέγω την εντολή *Curve >> Edit >> Deform* και με LMB επιλέγω την καμπύλη της εικόνας, οπότε εμφανίζονται τα σημεία ελέγχου της.



ΕΙΚΟΝΑ 3.35: ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΙ ΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ (ΔΕΞΙΑ).

Με RMB εμφανίζονται τα ακόλουθα menu:

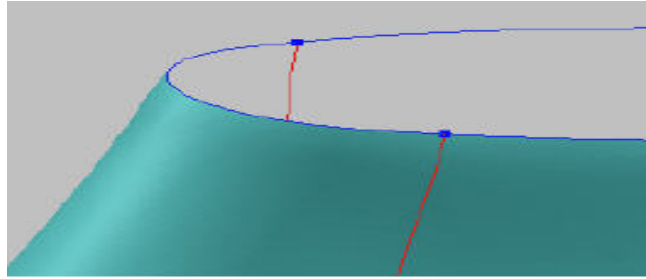
Pause	Pause
Fix All Control Points	Fix All Control Points
Unfix All Control Points	Unfix All Control Points
Fix End Points	Fix End Points
Use Manipulator	Use Manipulator
✓ Deform With Brush	Deform With Brush
✓ Move On Polygon	Move On Polygon
Done	Done

ΕΙΚΟΝΑ 3.36: DEFORMED CURVES MENU

Με την επιλογή *Deform With Brush* καθορίζω την περιοχή η οποία θα παραμορφωθεί. Με Shift και LMB περιβάλλω όλα τα σημεία που επιθυμώ να μετακινηθούν με έναν κίτρινο κύκλο (δεξιά εικόνα 3.35), τα οποία και μετακινώ στην τελική τους θέση (οπότε και εμφανίζονται άσπρα). Απενεργοποιώντας την επιλογή εμφανίζονται οι *Fix All Control Points*, *Unfix All Control Points* και *Fix End Points*. Με την πρώτη επαναφέρω όλα τα σημεία που επέλεξα στην αρχική τους θέση, με τη δεύτερη επιλέγω όλα τα σημεία ελέγχου της καμπύλης, ενώ με την τρίτη επιλέγω όλα τα σημεία ελέγχου της καμπύλης εκτός από το αρχικό και το τελικό.

Η επιλογή *Move On Polygon* ελέγχει τη μετακίνηση των σημείων ελέγχου, ώστε να συμβαίνει στην επιφάνεια του μοντέλου. Απενεργοποιώντας την μπορώ να μετακινήσω τα σημεία με τη χρήση *Manipulator*.

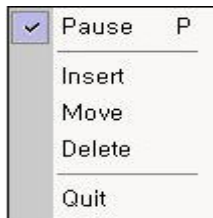
Με την επιλογή *Done* ολοκληρώνω τη μετακίνηση των σημείων στις τελικές τους θέσεις και προκύπτει το αποτέλεσμα της εικόνας 3.37.



ΕΙΚΟΝΑ 3.37: DEFORMED CURVE.

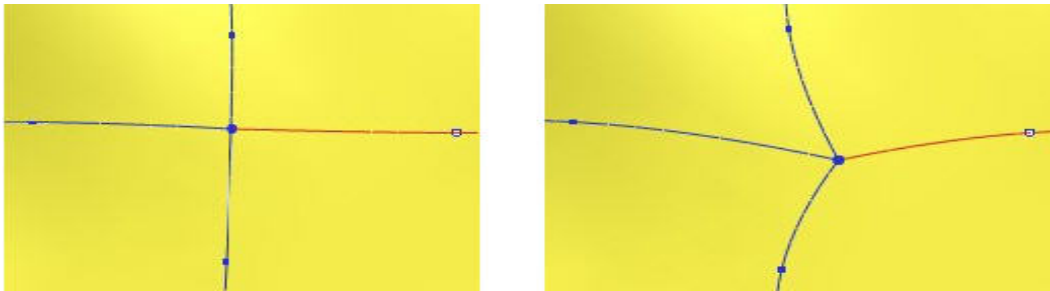
### • **INTERPOLATION**

Η εντολή Curve >> Edit >> Interpolation Points περιλαμβάνει λειτουργίες για τη μετατόπιση των σημείων ελέγχου μιας καμπύλης, την εισαγωγή νέων και τη διαγραφή ορισμένων από αυτά. Με την επιλογή μιας καμπύλης με LMB και στη συνέχεια με RMB προκύπτει το menu διαλόγου:



Με χρήση της επιλογής Insert εισάγω πρόσθετα σημεία ελέγχου, με Move μετατοπίζω διάφορα από τα ήδη υπάρχοντα, ενώ με Delete διαγράφω όσα από αυτά δεν επιθυμώ. Σε κάθε περίπτωση επιλέγω τα σημεία με LMB.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Κατά την εφαρμογή της επιλογής Move αν επιλέξω το αρχικό ή το τελικό σημείο μιας καμπύλης, θα μετακινηθούν ταυτόχρονα και τα αρχικά ή τελικά σημεία των καμπύλων με τις οποίες αυτή συνδέεται, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.38.



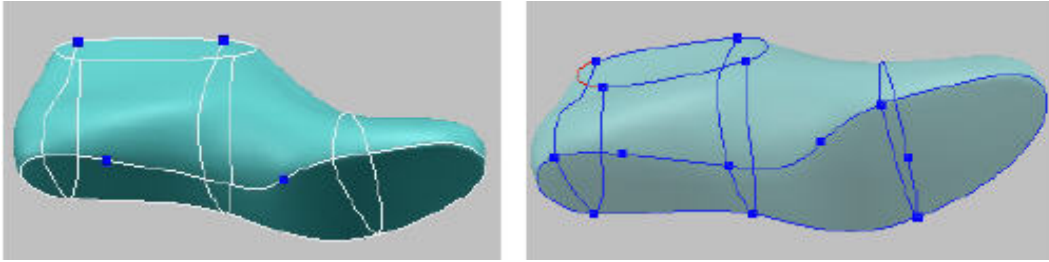
ΕΙΚΟΝΑ 3.38: ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΕ ΚΑΜΠΥΛΕΣ.

### • **TRIM**

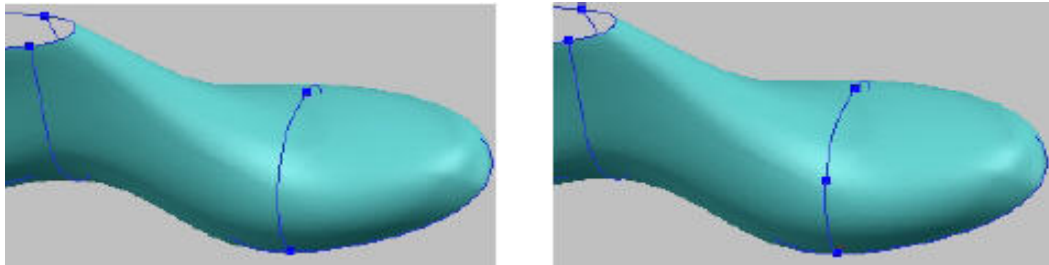
Η λειτουργία της αποκοπής (Trim) χωρίζει μια καμπύλη σε δύο, οι οποίες συνδέονται στα άκρα τους. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη δημιουργία ενός δικτύου καμπύλων, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. Υποστηρίζονται οι εξής λειτουργίες :

1. Trim >> Curve to Curve για την αποκοπή δύο καμπύλων στο σημείο τομής τους, οπότε προκύπτουν 4 νέες καμπύλες.
2. Trim >> Pick Point για την αποκοπή μιας καμπύλης σε ένα τυχαίο σημείο που επιλέγει ο χρήστης, οπότε προκύπτουν δύο νέες καμπύλες.

Παραδείγματα των λειτουργιών 1 και 2 εμφανίζονται στις εικόνες 3.39 και 3.40.



ΕΙΚΟΝΑ 3.39: ΑΠΟΚΟΠΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΜΗΣ ΤΟΥΣ.



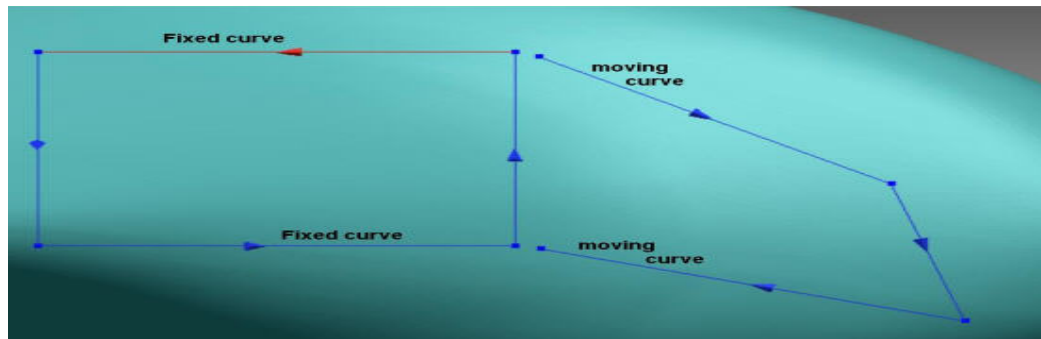
ΕΙΚΟΝΑ 3.40: ΑΠΟΚΟΠΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΕ ΤΥΧΑΙΑ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Η μπλέ τελεία ονομάζεται *seam position* και μπορώ να την τοποθετήσω σε οποιοδήποτε σημείο μιας κλειστής καμπύλης.

- **MATCH**

Η λειτουργία της ένωσης (*Match*) συνδέει δύο καμπύλες στα άκρα τους εξασφαλίζοντας συνέχεια θέσης ή εφαπτομένης. Δύο καμπύλες NURBS λέμε ότι έχουν συνέχεια θέσης ή μηδενικού βαθμού ( $C^0$ ), όταν τα οριακά τους σημεία ταυτίζονται. Δύο καμπύλες NURBS εμφανίζουν συνέχεια εφαπτομένης ή πρώτου βαθμού ( $C^1$ ), όταν η κλίση των οριακών σημείων έχει την ίδια διεύθυνση.

Εκτελώ την εντολή *Curve >> Tool >> Match* και επιλέγω δύο καμπύλες. Η καμπύλη που επιλέγω πρώτη (*moving*) μετακινείται προς την δεύτερη καμπύλη, η οποία παραμένει σταθερή (*fixed*).



ΕΙΚΟΝΑ 3.41: FIXED ΚΑΙ MOVING CURVES.

Στο ακόλουθο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται εισάγω την απόσταση ανάμεσα στα οριακά σημεία των δύο καμπύλων (*matching tolerance*). Για τον υπολογισμό της εκτελώ την *Measure >> Distance >> Point to Point* για τα οριακά σημεία των καμπύλων.



ΕΙΚΟΝΑ 3.42: MATCH MENU.

Επιλέγω Position για να εξασφαλίσω συνέχεια θέσης ανάμεσα στις δύο καμπύλες, ή Tangency (G1) για τη συνέχεια εφαπτομένης. Η επιλογή (C1) αναφέρεται σε ένωση επιφανειών και αγνοείται.

- **OFFSET**

Με χρήση αυτής της λειτουργίας δημιουργώ μια νέα καμπύλη από μια άλλη που ήδη υπάρχει, καθορίζοντας την επιθυμητή απόσταση. Offset καμπύλες δημιουργούνται και προς τις δύο διευθύνσεις.

### 3.5 SURFACE WORKBENCH

Εφ'όσον έχω δημιουργήσει ένα καλής ποιότητας δίκτυο καμπύλων, η δημιουργία επιφανειών δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Υπάρχουν δύο μέθοδοι δημιουργίας NURBS επιφανειών. Ο πρώτος είναι αυτόματα και ο δεύτερος είναι χειροκίνητα. Η δημιουργία επιφανειών αυτόματα, αν και επιταχύνει τη διαδικασία, αποφεύγεται καθώς δεν προσφέρει υδατοστεγείς (watertight) επιφάνειες κατάλληλες για εξαγωγή σε ένα CAD software. Επομένως, η δημιουργία επιφανειών γίνεται manually.

Αν και με αυτή τη μέθοδο μπορώ να δημιουργήσω trimmed επιφάνειες (που ορίζονται δηλαδή από 2,3 ή πάνω από 4 οριακές καμπύλες) επιλέγω τη δημιουργία untrimmed επιφανειών (που ορίζονται από 4 οριακές καμπύλες) για τους λόγους που εξήγησα στην εισαγωγή του curve workbench. Όπως έχω αναφέρει, μπορώ να ελέγξω τη μορφή των επιφανειών αυτών κάνοντας χρήση ενός αριθμού σημείων ελέγχου στις U και V διευθύνσεις. Η καμπύλη που επιλέγω πρώτη για τη δημιουργία της επιφάνειας καθορίζει την U διεύθυνση.

Όπως οι καμπύλες, έτσι και οι επιφάνειες που δημιουργούνται είναι δύο ειδών: shell surfaces και space surfaces. Οι πρώτες ενώνονται αυτόματα με το shell κατά τη δημιουργία τους και όλες οι λειτουργίες τροποποίησής τους μπορούν να εφαρμοστούν, ενώ οι δεύτερες αιωρούνται στην επιφάνεια του shell χωρίς να συνδέονται με αυτό και δεν επιδέχονται τροποποίηση. Με χρήση της εντολής *Surface >> Tool >> Attach to Shell* προσαρμόζω τις space curves στο shell και πλέον μπορώ να τις επεξεργαστώ.

Η δημιουργία επιφανειών manually πραγματοποιείται με δύο τρόπους: με τη χρήση καμπύλων ή με τη χρήση loops. Ως loop (βρόγχος) ορίζεται ένα κλειστό σύνολο από καμπύλες, οι οποίες καθορίζουν τα όρια ενός επιφανειακού μπαλώματος. Η χρήση των loops επιταχύνει σημαντικά τη διαδικασία μόνο σε περιπτώσεις απλών μοντέλων χωρίς περιοχές αυξημένης καμπυλότητας. Η δημιουργία επιφανειών με χρήση loops προσεγγίζει περισσότερο τον αυτόματο τρόπο δημιουργίας παρά τον manually. Στις περισσότερες λοιπόν περιπτώσεις χρησιμοποιώ καμπύλες και όχι loops προκειμένου να δημιουργήσω επιφάνειες.

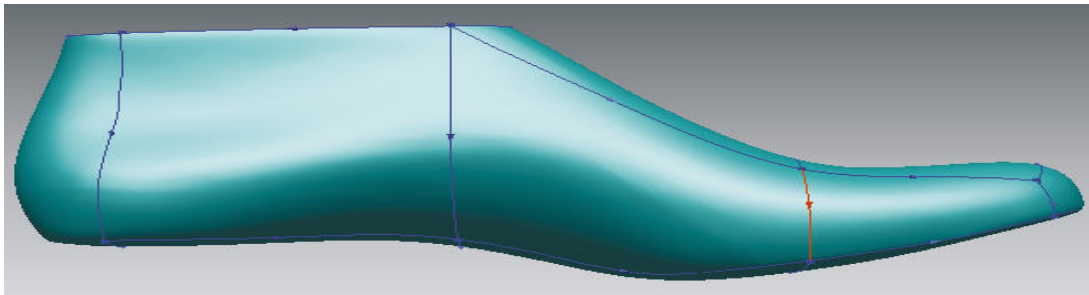
Αν και κατά τη δημιουργία επιφανειών με χρήση καμπύλων δημιουργώ αρχικά ένα loop για κάθε επιφανειακό μπάλωμα που θα παραχθεί, το loop αυτό χρησιμοποιείται για τον καθορισμό **μόνο** της συγκεκριμένης επιφάνειας και

όχι για το σύνολο των επιφανειών του μοντέλου, όπως συμβαίνει στην περίπτωση δημιουργίας επιφανειών με χρήση loops.

### 3.5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

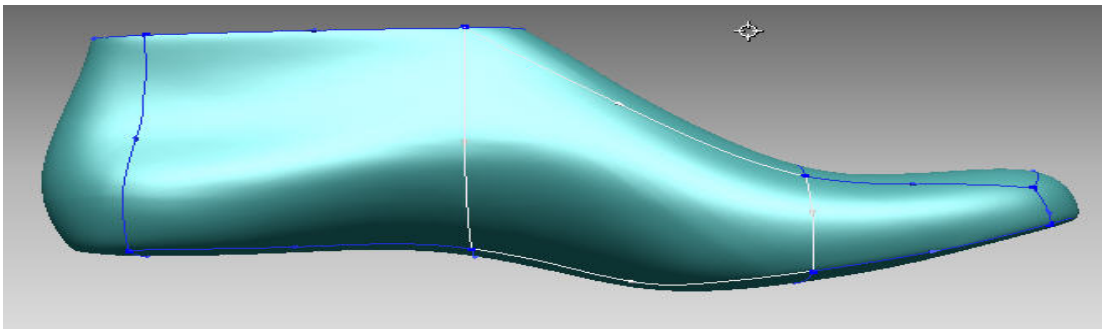
- ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Η βασική μέθοδος για τη δημιουργία επιφανειών είναι με χρήση καμπύλων μέσω της εντολής *Surface >> Create >> Polygon Fit By Curves*. Θα την εφαρμόσω στο μοντέλο της εικόνας που ακολουθεί:



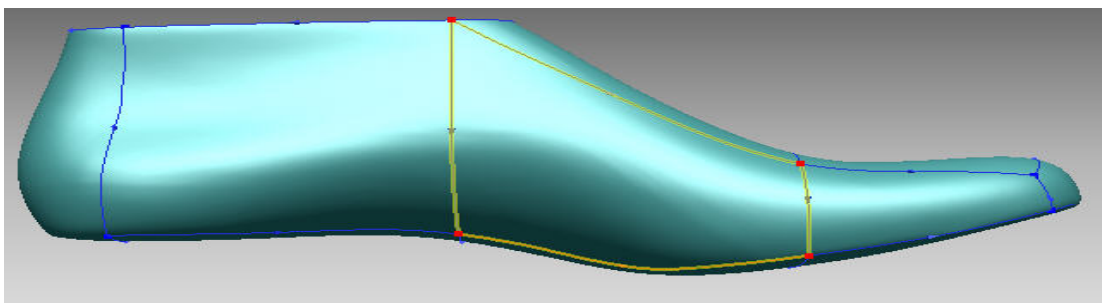
ΕΙΚΟΝΑ 3.43: ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΕ ΜΟΝΤΕΛΟ.

Επιλέγω 4 καμπύλες με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού για να καθορίσω τα όρια της επιφάνειας που θα σχηματιστεί. Ξεκινώ από την καμπύλη με το κόκκινο χρώμα. Η διεύθυνση της καμπύλης θα ορίζει την U διεύθυνση της επιφάνειας, ενώ η αμέσως επόμενη επιλεγμένη καμπύλη (πάντα με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού) θα ορίζει την V διεύθυνση. Οι επιλεγμένες καμπύλες απεικονίζονται με άσπρο χρώμα:



ΕΙΚΟΝΑ 3.44: ΕΠΙΛΟΓΗ 4 ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.

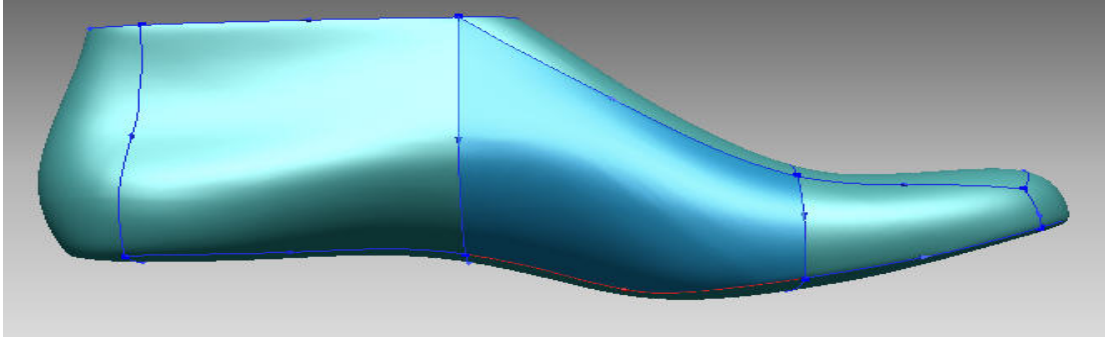
Επιλέγω Add Loop στο menu που προκύπτει με RMB, ώστε να δημιουργηθεί ένα loop από τις επιλεγμένες καμπύλες (εικονίζεται με κίτρινο χρώμα στην εικόνα 3.46).



ΕΙΚΟΝΑ 3.45: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ LOOP ΑΠΟ ΤΙΣ 4 ΚΑΜΠΥΛΕΣ.

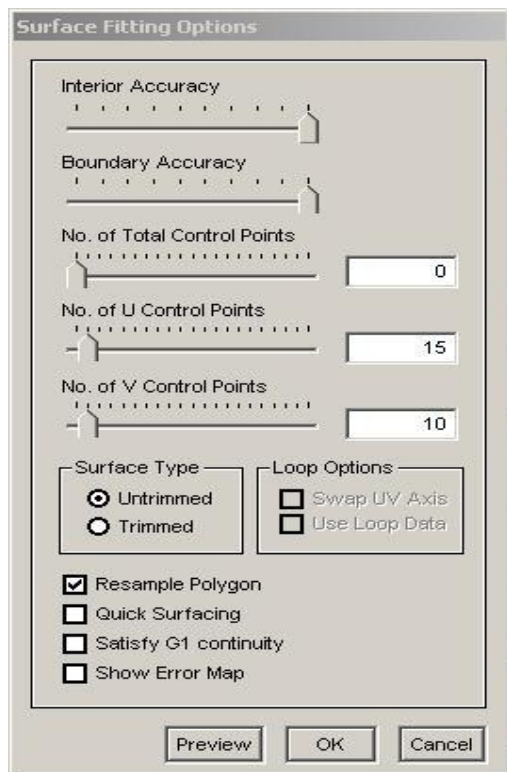


Επιλέγοντας Done στο RMB menu, το εσωτερικό του loop στο οποίο θα σχηματιστεί η επιφάνεια απεικονίζεται με μπλέ χρώμα στην εικόνα 3.47.



ΕΙΚΟΝΑ 3.46: ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΟΥ LOOP

Ταυτόχρονα εμφανίζεται το menu διαλόγου της εικόνας 3.47.



ΕΙΚΟΝΑ 3.47: SURFACE MENU.

Η επιλογή Interior Accuracy καθορίζει την ποιότητα της εσωτερικής επιφάνειας που θα παραχθεί, ενώ η Boundary Accuracy την ποιότητα της εξωτερικής. Επιλέγω και στις δύο περιπτώσεις τη μέγιστη τιμή για καλύτερα αποτελέσματα. Η U διεύθυνση ταυτίζεται με τη διεύθυνση της καμπύλης την οποία επιλέγω πρώτη κατά το σχηματισμό του loop (κόκκινο χρώμα στην εικόνα 3.44), ενώ η V με εκείνη της αμέσως επόμενης καμπύλης (με φορά αντίστροφης των δεικτών του ρολογιού).

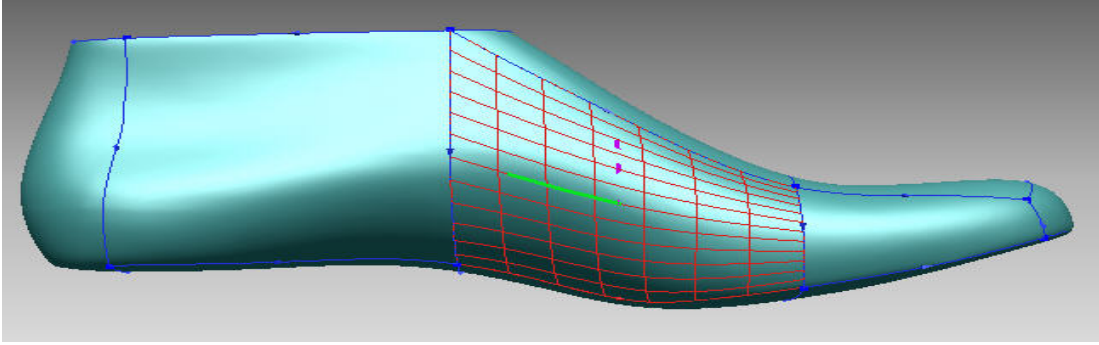
Στα No. Of U/V Control Points καθορίζω τον αριθμό των σημείων ελέγχου στις διευθύνσεις U και V αντίστοιχα. Γενικά, όσο περισσότερα σημεία ελέγχου επιλέξω, τόσο καλύτερα θα προσεγγίσει η επιφάνεια το μοντέλο.

Επιλέγω 15 στην U και 10 στην V (στην U διεύθυνση η επιφάνεια εκτείνεται περισσότερο από ότι στην V, γι' αυτό και την προσεγγίζω με μεγαλύτερο αριθμό σημείων στην πρώτη διεύθυνση).

Εναλλακτικά, υπάρχει η επιλογή No. Of Total Control Points για τον καθορισμό των σημείων ελέγχου στις δύο διευθύνσεις. Η χρήση της όμως αποφεύγεται, καθώς η διανομή των σημείων ελέγχου στις U, V διευθύνσεις γίνεται αυτόματα μετά την εισαγωγή μιας τιμής για τον συνολικό τους αριθμό.

Στον τύπο της επιφάνειας επιλέγω Untrimmed, ενώ οι Loop Options αναφέρονται στη δημιουργία επιφανειών με χρήση loops και όχι καμπύλων. Με την επιλογή Resample Polygon η επιφάνεια που θα σχηματιστεί έχει πολύ καλύτερη ποιότητα στο εσωτερικό και το εξωτερικό της, από ότι αν δεν έκανα χρήση της επιλογής.

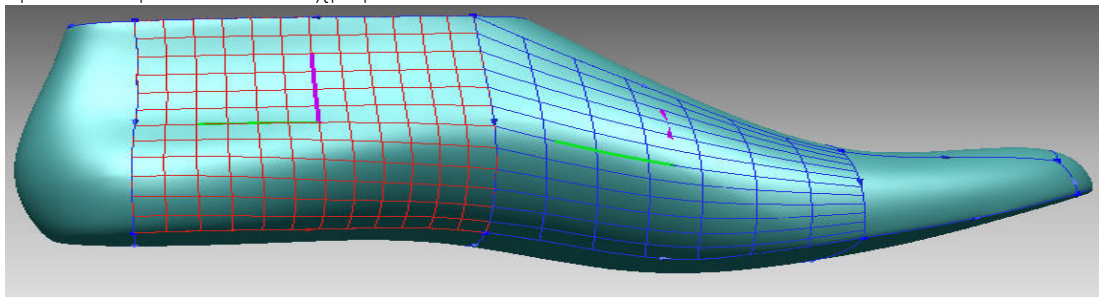
Στην εικόνα 3.48 εμφανίζεται η επιφάνεια που προκύπτει.



ΕΙΚΟΝΑ 3.48: Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΑΠΟ ΤΟ LOOP ΤΗΣ 3.49.

Η διεύθυνση U συμβολίζεται με βιολετί χρώμα ενώ η V με πράσινο. Η επιφάνεια έχει τη μορφή πλέγματος, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο meshes (βρογχών). Η διάταξη της επιφάνειας προσεγγίζει τη διάταξη ενός πίνακα. Ο αριθμός των γραμμών του είναι ίσος με τον αριθμό των παρεμβαλλόμενων σημείων (sampling points) στη U διεύθυνση, ενώ ο αριθμός των στηλών του είναι ίσος με τον αριθμό των sampling points στη V διεύθυνση. Τα sampling points σε μια διεύθυνση είναι ίσα με τον αριθμό των σημείων ελέγχου στη διεύθυνση αυτή ελαττωμένο κατά δύο. Έτσι, η επιφάνεια αποτελείται από 13 γραμμές και 8 στήλες. Ο αριθμός των meshes σε μια διεύθυνση είναι ίσος με τον αριθμό των σημείων ελέγχου στη διεύθυνση αυτή ελαττωμένο κατά 3. Έτσι, ο αριθμός των meshes στη U διεύθυνση είναι 12, ενώ ο αριθμός τους στη V διεύθυνση 7. Συνολικά δηλαδή η επιφάνεια αποτελείται από  $12 \times 7 = 84$  meshes.

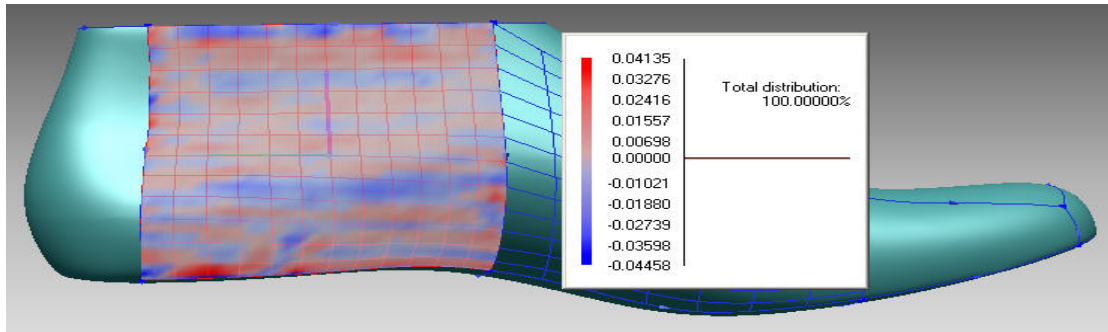
Δημιουργώ μια δεύτερη επιφάνεια στα αριστερά της πρώτης. Φροντίζω η επιλογή των καμπύλων να γίνει με την ίδια σειρά, ώστε οι U και V διευθύνσεις να έχουν τον ίδιο προσανατολισμό. Στα όρια των δύο επιφανειών θα πρέπει τα όρια των meshes να ταυτίζονται. Για τον λόγο αυτό επιλέγω τον ίδιο αριθμό σημείων ελέγχου με την πρώτη επιφάνεια στη U διεύθυνση (15). Το σχήμα της επιφάνειας προσεγγίζει το τετράγωνο, οπότε επιλέγω τον ίδιο αριθμό σημείων ελέγχου και για την V διεύθυνση (15). Διατηρώ τις ίδιες επιλογές στο menu διαλόγου επιλέγοντας ακόμη Satisfy G1 Continuity ώστε να εξασφαλίσω συνέχεια εφαπτομένης ανάμεσα στην επιφάνεια αυτή και τη γειτονική της. Η νέα επιφάνεια εμφανίζεται στην 3.49 με κόκκινο χρώμα.



ΕΙΚΟΝΑ 3.49: Η ΝΕΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.

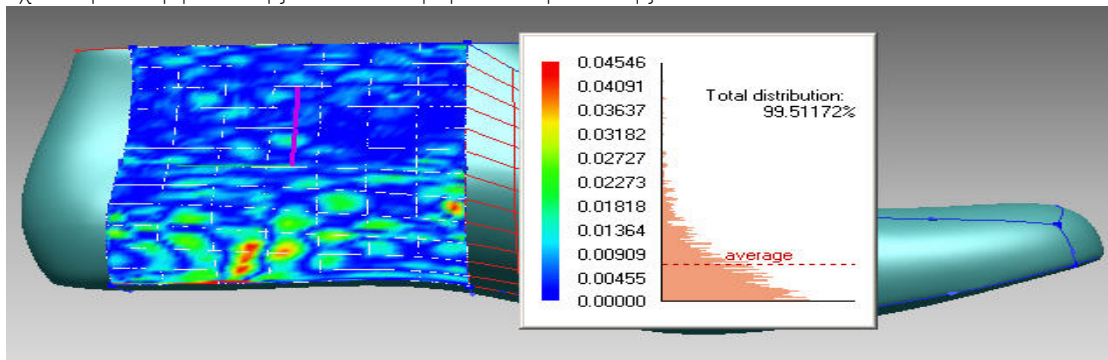
Παρατηρώ ότι τα meshes στα όρια των επιφανειών ταυτίζονται. Με την επιλογή Show Error Map στο menu απεικονίζονται με τη μορφή ενός δίχρωμου χάρτη οι περιοχές στις οποίες εμφανίζεται απόκλιση ανάμεσα στο μοντέλο και την επιφάνεια καθώς και η τιμή της. Με μπλέ χρώμα απεικονίζονται τα σημεία της επιφάνειας που βρίσκονται κάτω από το μοντέλο, ενώ με κόκκινο χρώμα τα σημεία της επιφάνειας πάνω από αυτό.





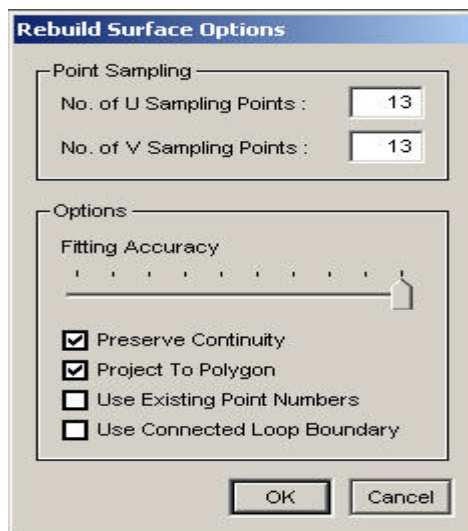
ΕΙΚΟΝΑ 3.50: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟ SHELL ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.

Ένας άλλος τρόπος απεικόνισης της απόκλισης προκύπτει με χρήση της εντολής Surface >> Analyze >> Shell to Shell Deviation. Με τη βοήθεια ενός έγχρωμου χάρτη απεικονίζονται οι περιοχές στις οποίες εμφανίζεται απόκλιση ανάμεσα στην επιφάνεια και το μοντέλο καθώς και η απόλυτη τιμή της. Εμφανίζονται επίσης η μέση τιμή της απόκλισης (average) καθώς και η συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων τιμών της.



ΕΙΚΟΝΑ 3.51: ΝΕΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟ SHELL ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.

Αν δεν είμαι ικανοποιημένος από την απόκλιση, ξαναδημιουργώ την επιφάνεια με χρήση της εντολής Surface >> Tool >> Rebuild, στοχεύοντας σε μικρότερες τιμές της. Επιλέγοντας την εντολή και την επιφάνεια προκύπτει το ακόλουθο menu διαλόγου:

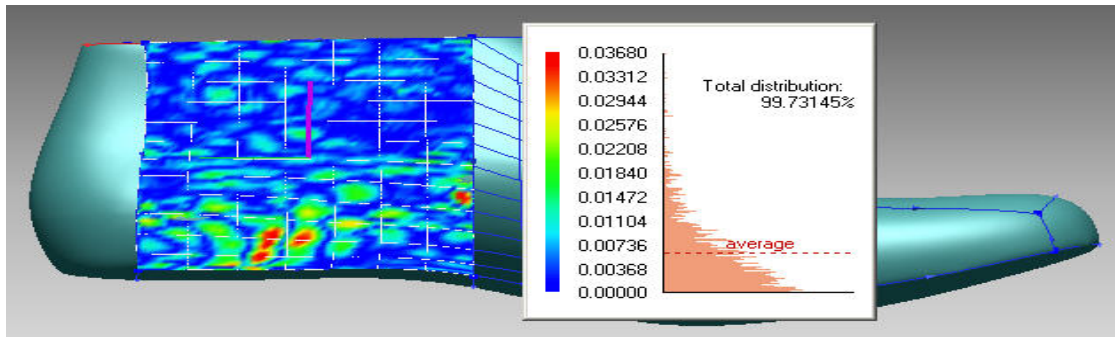


ΕΙΚΟΝΑ 3.52: REBUILD MENU.

Υπάρχουν δύο τρόποι για τη μείωση της απόκλισης. Ο πρώτος είναι με αύξηση του αριθμού των meshes της επιφάνειας (κάτι που επιτυγχάνεται με αύξηση του αριθμού των σημείων ελέγχου της) και ο δεύτερος είναι με μεγιστοποίηση της ακρίβειας προσαρμογής της επιφάνειας, μέσω της επιλογής Fitting Accuracy. Επιλέγω συνήθως τον δεύτερο τρόπο για να διατηρήσω τη συνέχεια ανάμεσα στα meshes των επιφανειών, καθώς αν επιλέξω τον πρώτο τρόπο θα πρέπει να ξαναδημιουργήσω και τη γειτονική επιφάνεια για να εξασφαλίσω συνέχεια.

Στο menu ο αριθμός των Sampling Points σε μία από τις δύο διευθύνσεις, είναι ίσος με τον αριθμό των σημείων ελέγχου μειωμένο κατά δύο. Αφού οι επιφάνειες

κατασκευάστηκαν με 15 σημεία ελέγχου σε κάθε μια από τις δύο διευθύνσεις, επιλέγω 13 στο No. of U / V Sampling Points. Επιλέγω Preserve Continuity για να εξασφαλίσω τη συνέχεια εφαπτομένης με τη γειτονική της επιφάνεια και Project To Polygon για να διατηρήσω την προσαρμογή της επιφάνειας στο μοντέλο. Παρατηρώ τη μείωση της απόλυτης τιμής της απόκλισης και της μέσης τιμής της.



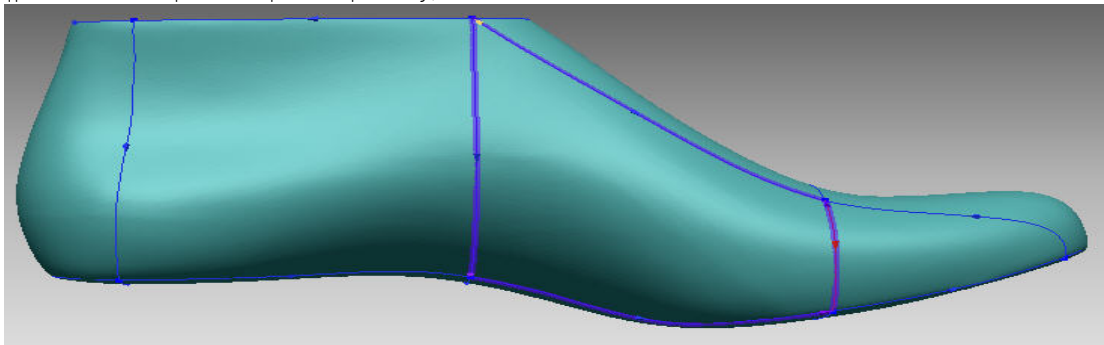
ΕΙΚΟΝΑ 3.53: ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΜΕ ΑΝΑΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.

- ΜΕ ΧΡΗΣΗ LOOPS

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται εναλλακτικά της προηγούμενης. Για να εξάγει όμως ποιοτικά αποτελέσματα απαιτείται η δημιουργία loops με τις ίδιες περίπου διαστάσεις. Ο λόγος είναι ότι η μέθοδος αυτή καθορίζει τον αριθμό των σημείων ελέγχου στις δύο διευθύνσεις συνολικά για όλα τα loops και όχι για κάθε loop ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο, είναι πολύ δύσκολο να πετύχουμε ταύτιση των οριακών meshes για τα διάφορα μπαλώματα ενός σύνθετου μοντέλου. Μόνο στην περίπτωση loops του ίδιου μεγέθους είναι δυνατή η ταύτιση των ορίων των μπαλωμάτων με τη χρήση του ίδιου αριθμού σημείων ελέγχου.

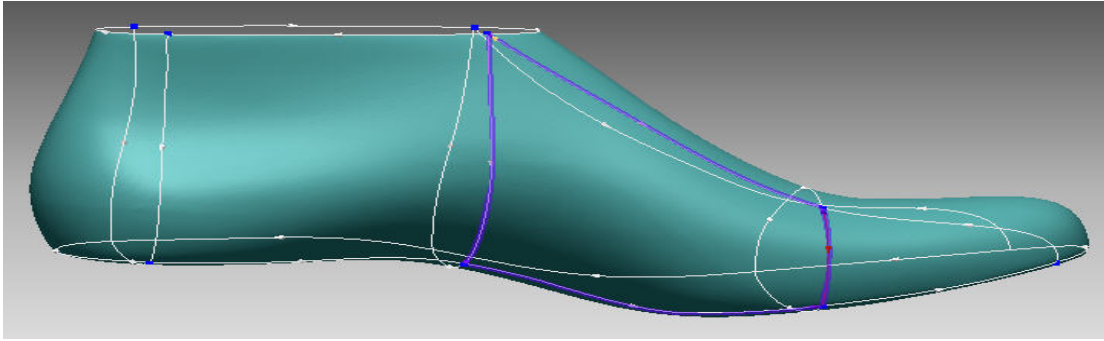
Ακολουθεί παράδειγμα στο οποίο φαίνεται η αποτυχία της μεθόδου να εξάγει έγκυρες επιφάνειες για το προηγούμενο μοντέλο.

Επιλέγω *Loop >> Create* στο Menu Bar και στη συνέχεια 4 καμπύλες με φορά αντίστροφη των δεικτών του ρολογιού. Το loop που δημιουργείται (μώβ χρώμα) εμφανίζεται στην επόμενη εικόνα και η διεύθυνσή του συμπίπτει με τη διεύθυνση της καμπύλης την οποία επέλεξα πρώτη (η διεύθυνσή του loop σημειώνεται με κίτρινο βέλος).



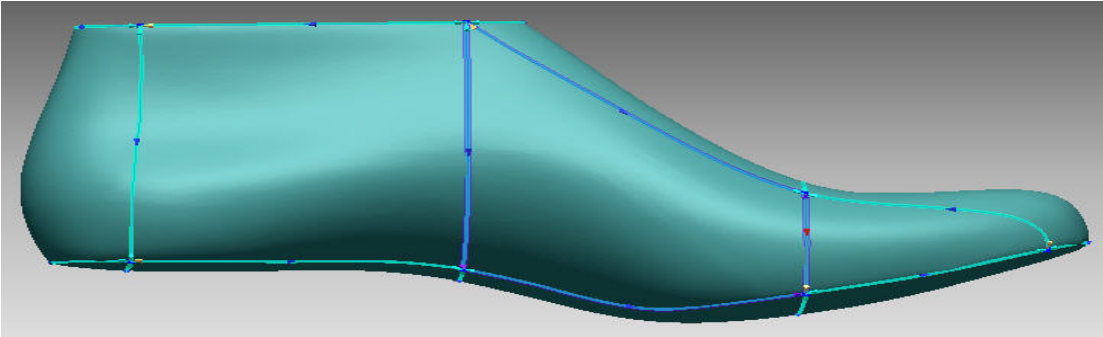
ΕΙΚΟΝΑ 3.54: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ SEED LOOP.

Το loop αυτό ονομάζεται seed loop (σπόρος ή γεννήτρια) και με τη χρήση του θα υπολογίσω αυτόματα loops για το μοντέλο συνολικά. Επιλέγω *Loop >> Find Loops* στο Menu Bar και επιλέγω όλες τις καμπύλες του μοντέλου (απεικονίζονται με άσπρο χρώμα στην εικόνα 3.55) και το seed loop.



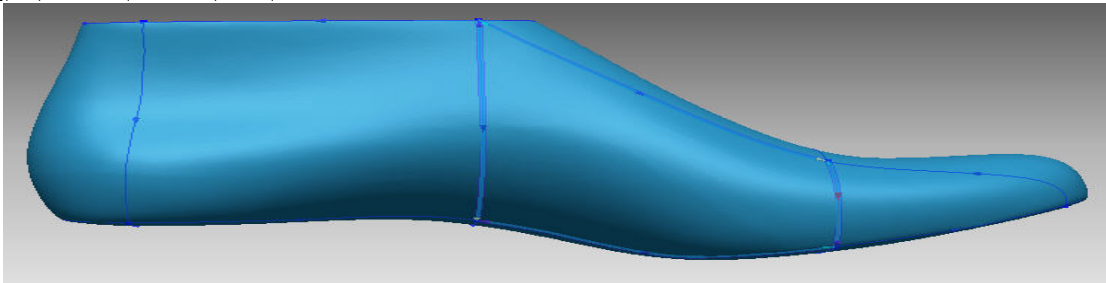
ΕΙΚΟΝΑ 3.55: ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ SEED LOOP.

Με αυτό τον τρόπο, δημιουργούνται loops σε όλο το μοντέλο, τα οποία απεικονίζονται με πράσινο χρώμα στην εικόνα 3.56.



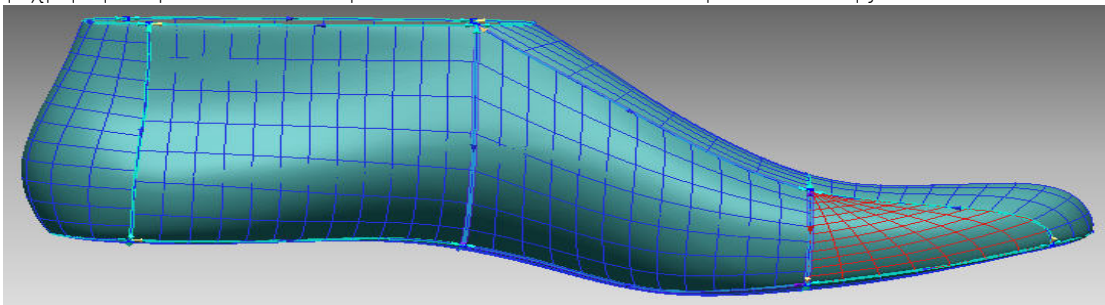
ΕΙΚΟΝΑ 3.56: ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ LOOPS ΑΠΟ ΤΟ SEED LOOP.

Στη συνέχεια εκτελώ την εντολή *Surface >> Create >> Polygon Fit By Loops* για τη δημιουργία των επιφανειών σε όλη την επιφάνεια του μοντέλου (μπλέ χρώμα στην επόμενη εικόνα).



ΕΙΚΟΝΑ 3.57: ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ LOOPS ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.

Στο βασικό menu διαλόγου επιλέγω 15 σημεία ελέγχου για την U διεύθυνση και 15 για την V διεύθυνση, διατηρώντας τις ίδιες επιλογές όπως και κατά τη χρήση καμπύλων και προκύπτει το δίκτυο επιφανειών της 3.58.



ΕΙΚΟΝΑ 3.58: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Παρατηρώ ότι τα επιφανειακά μπαλώματα που προκύπτουν όχι μόνο δε συνδέονται στα όρια τους, αλλά και σε ορισμένα από αυτά παρατηρούνται ασυνέχειες. Συνίσταται λοιπόν η χρήση καμπύλων και όχι loops για τη δημιουργία ενός δικτύου επιφανειών.

### 3.5.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Προκειμένου να δημιουργήσω ένα τελικό μοντέλο από υδατοστεγείς επιφάνειες, απαιτείται να εξασφαλίσω συνέχειας θέσης και εφαπτομένης ανάμεσα σε αυτές.

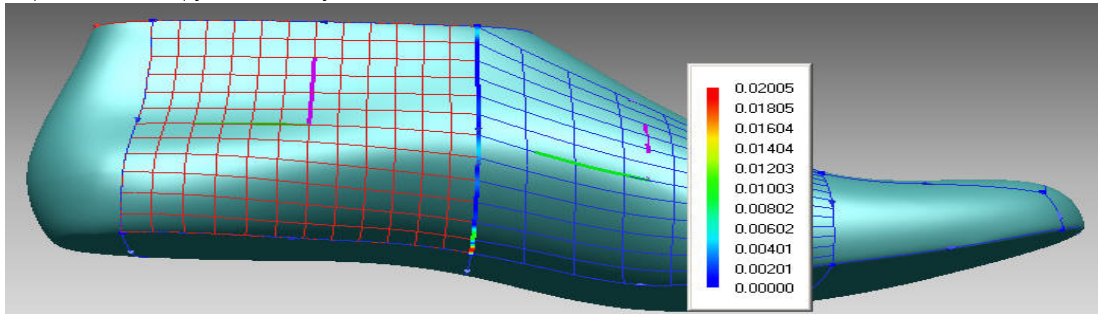
Δύο επιφάνειες λέμε ότι εμφανίζουν συνέχεια θέσης ή μηδενικού βαθμού ( $C^0$  or  $G^0$  continuity), όταν τα σημεία ελέγχου τους στις γειτονικές περιοχές των επιφανειών ταυτίζονται.

Δύο επιφάνειες λέμε ότι εμφανίζουν συνέχεια εφαπτομένης (κλίσης) ή πρώτου βαθμού ( $C1$  or  $G1$  continuity), όταν τα εφαπτόμενα διανύσματα στα σημεία ελέγχου των γειτονικών τους περιοχών έχουν την ίδια διεύθυνση.

Η συνέχεια εφαπτομένης προϋποθέτει τη συνέχεια θέσης.

Η εντολή με την οποία ελέγχω τη συνέχεια ανάμεσα σε δύο επιφάνειες είναι η *Surface >> Analyze >> Check Continuity* με τις υποεπιλογές *Position* και *Tangency*. Με την πρώτη ελέγχω τη συνέχεια θέσης, ενώ με τη δεύτερη τη συνέχεια εφαπτομένης. Το αποτέλεσμα αξιολογείται με έναν έγχρωμο χάρτη στον οποίο απεικονίζεται η απόλυτη τιμή της απόκλισης στις οριακές περιοχές δύο γειτονικών επιφανειών. Στην πρώτη περίπτωση, η απόκλιση συμβολίζει την απόσταση των γειτονικών σημείων ελέγχου, ενώ στη δεύτερη τη γωνία των εφαπτόμενων διανυσμάτων. Η συνέχεια θέσης ικανοποιείται με μηδενική τιμή της απόκλισης στην οριακή περιοχή, ενώ η συνέχεια εφαπτομένης με απόκλιση μικρότερη της μονάδας.

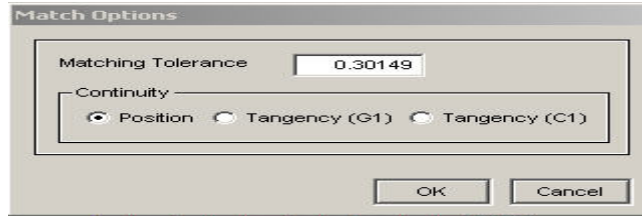
Εφαρμόζω την εντολή αρχικά για την αξιολόγηση της συνέχειας θέσης των επιφανειών της εικόνας 3.53.



ΕΙΚΟΝΑ 3.59: ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΔΥΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.

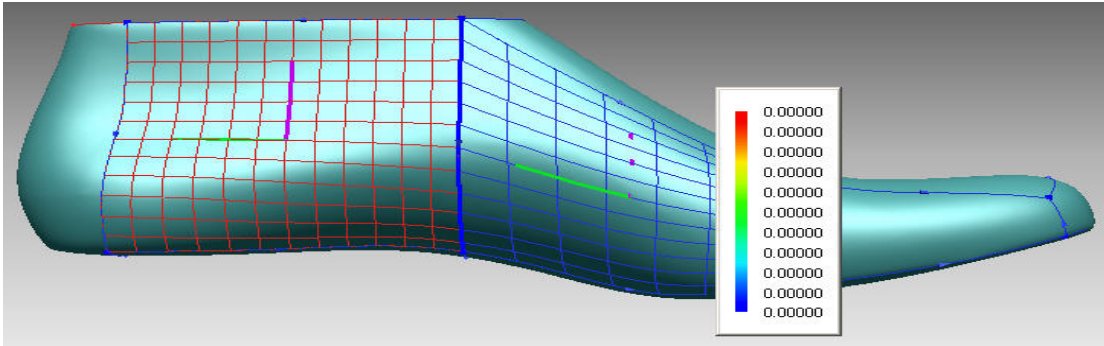
Το αποτέλεσμα είναι αρκετά ικανοποιητικό, καθώς για τα περισσότερα σημεία της οριακής περιοχής εξασφαλίζεται συνέχεια θέσης. Για να πετύχω ακριβή συνέχεια θέσης ανάμεσα στις δύο επιφάνειες (για τα σημεία δηλαδή στα οποία η απόκλιση δεν είναι μηδέν) ενώνω τις δύο επιφάνειες στα όριά τους με εφαρμογή της εντολής *Surface >> Tool >> Match*. Με RMB προκύπτει το menu της εικόνας 3.60. Η πρώτη επιφάνεια που επιλέγω (μπλέ χρώμα) μετακινείται προς τη δεύτερη (κόκκινο χρώμα), η οποία μένει σταθερή.





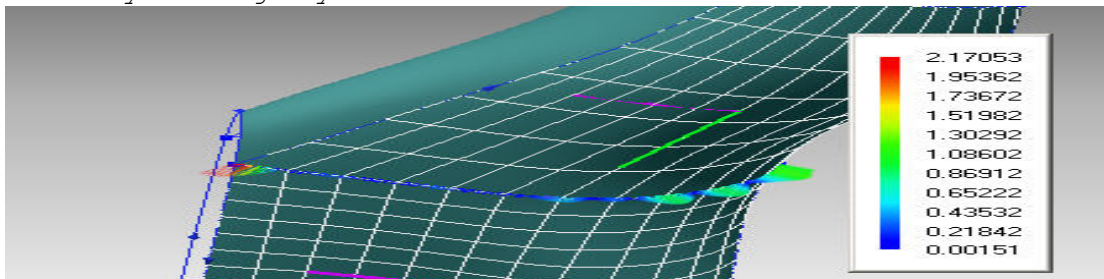
ΕΙΚΟΝΑ 3.60: MATCH CURVES MENU.

Επιλέγω Position στο Continuity για να εξασφαλίσω αρχικά τη συνέχεια θέσης. Η ένωση των επιφανειών πραγματοποιείται αν η απόσταση ανάμεσα στις επιφάνειες είναι μικρότερη από το Matching Tolerance. Το τελευταίο υπολογίζεται προσεγγιστικά μετά από αρκετές δοκιμές και τελικά εξασφαλίζω τη συνέχεια θέσης (μηδενική απόκλιση για όλα τα σημεία των οριακών περιοχών των δύο επιφανειών).



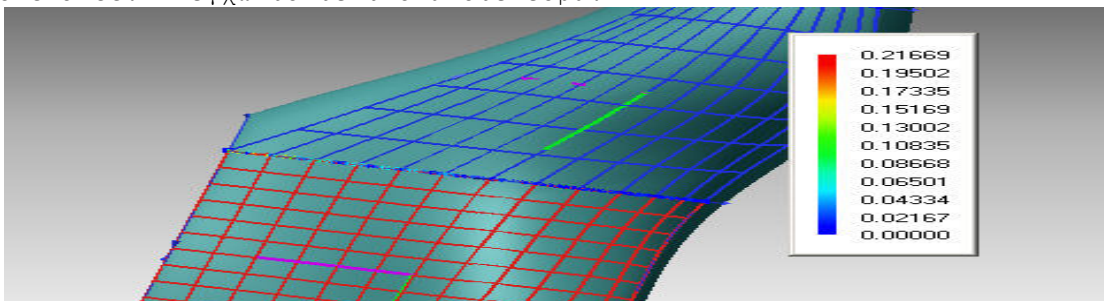
ΕΙΚΟΝΑ 3.60: ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ.

Ελέγχω για τη συνέχεια εφαιπτομένης με *Surface >> Analyze >> Check Continuity >> Tangency*.



ΕΙΚΟΝΑ 3.61: ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.

Προσπαθώ να πετύχω τιμή της απόκλισης μικρότερη της μονάδας με χρήση της εντολής *Surface >> Tool >> Match*. Επιλέγω τις επιφάνειες με την ίδια σειρά και Tangency Continuity (C1) στο menu εισάγοντας το ίδιο Matching Tolerance. Ελέγχω το τελικό αποτέλεσμα:



ΕΙΚΟΝΑ 3.62: ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.

Η μέγιστη τιμή της απόκλισης είναι κατά πολύ μικρότερη της μονάδας, οπότε έχω πετύχει και τη συνέχεια εφαπτομένης ανάμεσα στις δύο επιφάνειες.

Με ανάλογο τρόπο εξασφαλίζω τη συνέχεια θέσης και εφαπτομένης για το σύνολο των επιφανειών του μοντέλου και καταλήγω σε ένα υδατοστεγές μοντέλο έτοιμο να εξαχθεί στο Pro-E.

### 3.6 INSPECT WORKBENCH

Περιλαμβάνει ένα σύνολο λειτουργιών για τη σύγκριση ανάμεσα στα αρχικά ψηφιοποιημένα δεδομένα από τη σάρωση ενός αντικειμένου και τα δεδομένα που προκύπτουν από τη δημιουργία του μοντέλου επιφανειών. Επίσης περιλαμβάνονται λειτουργίες για τη σύγκριση των scanned data ενός αντικειμένου με μοντέλα του τα οποία έχουν σχεδιαστεί σε ένα CAD σύστημα. Η βασική εντολή που χρησιμοποιείται είναι η *Whole Deviation >> Create With Surfaces*. Μέσω αυτής υπολογίζεται και απεικονίζεται με μορφή έγχρωμου χάρτη η απόκλιση συντεταγμένων ανάμεσα σε ένα μοντέλο επιφανειών και ένα shell υπό μορφή νέφους σημείων.

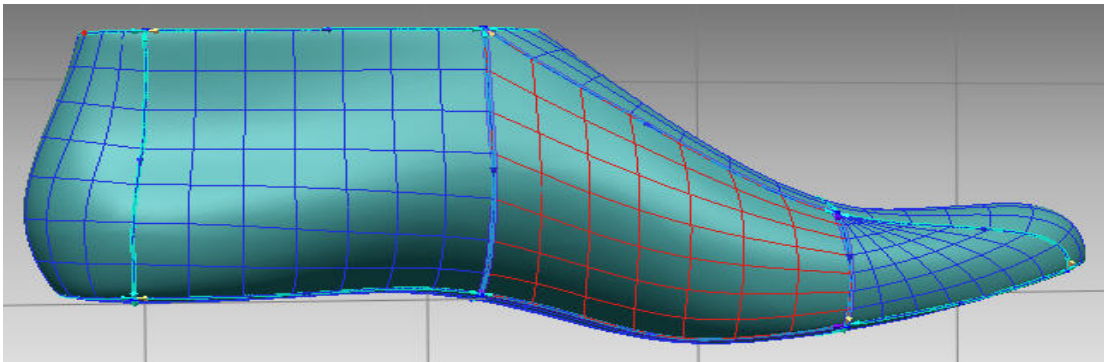
### 3.7 FEATURE WORKBENCH

Κατά τη συμβατική σχεδίαση σε ένα σύστημα CAD, ο χρήστης μοντελοποιεί ένα part προσθέτοντας features, τα οποία αναγνωρίζονται ως λειτουργικά ή γεωμετρικά στοιχεία ενός part. Ένα feature αναφέρεται σε ορισμένες αναλυτικές επιφάνειες όπως επίπεδα, κύβοι, κύλινδροι, κώνοι, σφαίρες και η διαδικασία μοντελοποίησης βασισμένη σε features εφαρμόζει οπές (holes), φιλέτα (filets) και σπασίματα (chamfers) στην επιφάνεια του part. Αυτό το workbench περιλαμβάνει αρκετές CAD-like λειτουργίες για τη δημιουργία features στα τρισδιάστατα μοντέλα. Η χρησιμοποίηση των εντολών αυτού του workbench κρίνεται απαραίτητη μόνο στην περίπτωση που επιθυμούμε να τροποποιήσουμε την αρχική μορφή ενός αντικειμένου.

Η μοναδική λειτουργία του Feature Workbench, η οποία κρίνεται σκόπιμο να εφαρμοστεί, είναι η δημιουργία ενός στερεού μοντέλου (solid) από το μοντέλο επιφανειών. Τα στερεά που δημιουργούμε σε αυτό το workbench χαρακτηρίζονται ως non-manifold στερεά καθώς πληρούν τους εξής δύο κανόνες:

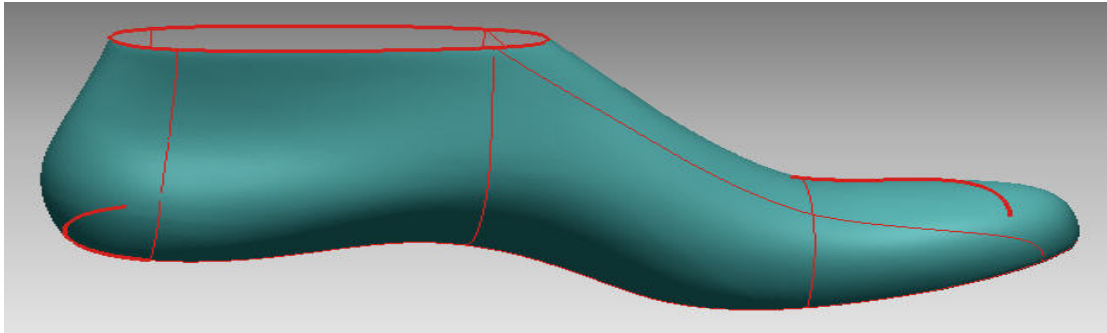
1. Δεν έχουν τμήματα που να μοιράζονται μόνο μια ακμή.
2. Δεν έχουν τμήματα που να μοιράζονται μόνο μια κορυφή.

Ένα στερεό μοντέλο δημιουργείται με ένωση όλων των επιφανειών του με χρήση της εντολής *Solid >> Create >> From Surface Set >> Merge*. Επιλέγω τις 13 επιφάνειες του μοντέλου της παρακάτω εικόνας:



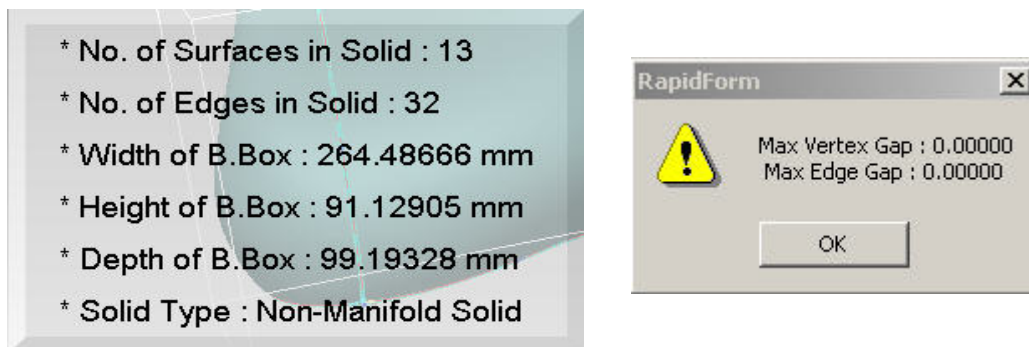
ΕΙΚΟΝΑ 3.63: ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

και προκύπτει το στερεό μοντέλο της εικόνας 3.64.



ΕΙΚΟΝΑ 3.64: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Επιλέγω την εντολή Information >> Solid και παίρνω τους εξής πίνακες



ΕΙΚΟΝΑ 3.65: MENU ΓΙΑ ΤΟ ΣΤΕΡΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το στερεό είναι non-manifold, αποτελείται από 13 επιφάνειες και περιλαμβάνει 32 ακμές. Εμφανίζονται ακόμη πληροφορίες για τις διαστάσεις του bounding box ενώ το κενό ανάμεσα σε γειτονικές κορυφές και έδρες είναι μηδενικό.

### 3.8 EXCHANGE WORKBENCH

Το workbench αυτό επιτρέπει την εισαγωγή μοντέλων στο Rapidform από διάφορα ευρέως χρησιμοποιούμενα CAD λογισμικά (όπως το CATIA, το Pro-E ή το Solidworks) και την επεξεργασία τους.

### 3.9 3D IMAGING WORKBENCH

Παρέχει λειτουργίες για την ανακατασκευή πολυγωνικών μοντέλων από διάφορα Dicom data, δεδομένα δηλαδή τα οποία προέρχονται από αξονικούς και υπερηχητικούς τομογράφους.

Ολοκληρώνοντας, είναι αναγκαίο να επισημανθεί ότι το Rapidform διαθέτει interfaces προγραμματισμού, τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να γράψουν ρουτίνες αυτοματοποιώντας τη διαδικασία μεταποίησης. Το API (Application Programming Interface) περιλαμβάνει ένα σύνολο συναρτήσεων για τη δημιουργία νέων λειτουργιών και εφαρμογών ή συντόμευση αυτών που ήδη υπάρχουν. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να δημιουργήσει μια μακροεντολή (macro) για να αντικαταστήσει ένα σύνολο από διαδοχικές εντολές σε μια, εξοικονομώντας χρόνο κατά την πραγματοποίησή μιας λειτουργίας.

## 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήσαμε για την ψηφιακή σάρωση του ακουστικού ενός τηλεφώνου και τον επανασχεδιασμό του με βάση τα ψηφιοποιημένα δεδομένα.

### 4.1 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΣΤΟ PET

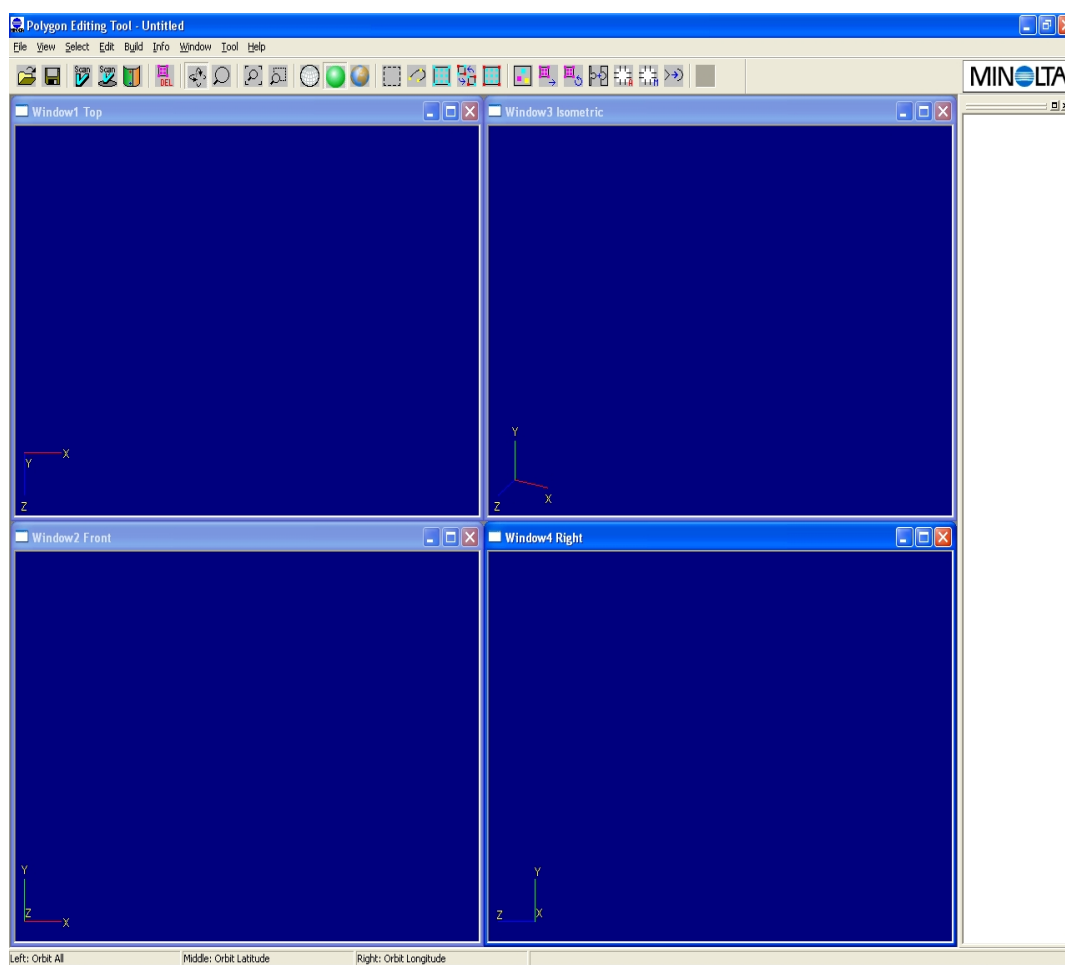
Η διαδικασία ξεκινάει με την τοποθέτηση του ακουστικού στο περιστρεφόμενο πλατό. Τοποθετώ την Minolta σε όσο το δυνατόν κοντινότερη απόσταση από το αντικείμενο και επιλέγω τον κατάλληλο φακό. Στην περίπτωση μας αυτός είναι ο Middle Lens. Θα μπορούσα να χρησιμοποιήσω τον Tele Lens αυξάνοντας την απόσταση του scanner από το αντικείμενο, αλλά όσο μικρότερη είναι η απόσταση τόσο καλύτερης ποιότητας είναι το αποτέλεσμα. Επειδή το αντικείμενο πρέπει να εμφανίζεται στο κέντρο της οθόνης της κάμερας χρησιμοποιώ ως βάση στήριξης ένα μαύρο αδιαφανές κουτί, το οποίο τοποθετώ ανάμεσα στο turntable και το αντικείμενο. Με αυτόν τον τρόπο, ανυψώνω το αντικείμενο στο επιθυμητό επίπεδο.

Στο επόμενο στάδιο καταστρώνω μια στρατηγική για την σάρωση των διαφόρων όψεων του αντικειμένου, αφού προφανώς και δε μπορώ να σαρώσω το αντικείμενο συνολικά με μια και μοναδική λήψη. Υπάρχουν δύο τρόποι ψηφιοποίησης ενός αντικειμένου στο PET με τη συγκεκριμένη κάμερα. Ο πρώτος είναι με χρήση της περιστροφικής ιδιότητας του πλατό (Step Scan) και ο δεύτερος είναι χωρίς τη χρήση αυτής της ιδιότητας (One Scan). Με εφαρμογή του πρώτου τρόπου καθορίζω τη γωνία περιστροφής του πλατό, επομένως και τον αριθμό των σαρώσεων οι οποίες θα εκτελεστούν διαδοχικά. Αν για παράδειγμα επιλέξω  $60^\circ$  τη γωνία περιστροφής θα ψηφιοποιηθούν 6 όψεις του αντικειμένου, για  $40^\circ$  θα έχουμε 9 διαδοχικές λήψεις κοκ. Στην περίπτωση όμως του μη συμμετρικού αντικειμένου μας, το αρχικό ακριβές κεντράρισμα του ως προς το turntable χάνεται με την περιστροφή του. Επιπλέον, οι αρχικές ρυθμίσεις για την εστίαση μίας όψης του αντικειμένου είναι αναξιόπιστες για τις υπόλοιπες όψεις, καθώς με την περιστροφή και την αλλαγή οπτικής γωνίας μεταβάλλεται η απόσταση του αντικειμένου από τον σαρωτή. Επειδή κατά την ψηφιοποίηση με περιστροφή ρυθμίζω την εστιακή απόσταση συνολικά για τη διαδικασία και όχι για καθένα από τα επιμέρους στάδια, απορρίπτω την εφαρμογή της για το συγκεκριμένο αντικείμενο.

Επομένως, θα ψηφιοποιήσω το αντικείμενο manually. Για το λόγο αυτό το χωρίζω σε 6 τμήματα – όψεις (front, back, right, left, top και bottom parts – sides), για κάθε ένα από τα οποία εφαρμόζω διαφορετικές ψηφιοποιήσεις. Στη συνέχεια θα ενωποιήσω τα 6 αυτά τμήματα στο αρχικό αντικείμενο με χρήση του Rapidform. Επειδή η ένωση δύο parts στηρίζεται στην επιλογή αντίστοιχων σημείων σε αυτά, φροντίζω κάθε φορά να τοποθετώ με τέτοιο τρόπο το αντικείμενο ώστε κατά τη σάρωση μίας όψης του να αποτυπώνονται και σημεία των γειτονικών του οπτικά φανερών όψεων. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργώ ικανοποιητική επικάλυψη ανάμεσα στις γειτονικές όψεις και καθορίζω αντίστοιχα σημεία σε αυτές. Στόχος είναι η δημιουργία μιας κοινής περιοχής (overlapping region) ανάμεσα σε ένα τμήμα και το γειτονικό του και όχι η ψηφιοποίηση ασυνδεδετων parts, ώστε να διευκολυνθώ και να πετύχω ακρίβεια κατά την ένωση. Το αντικείμενο έχει ευδιάκριτες λεπτομέρειες, επομένως δε χρειάζεται να μαρκάρω σημεία για να διευκολυνθώ κατά την ενοποίηση των parts.



Κατά τη manually ψηφιοποίηση **δεν** απαιτείται η χρήση ενός ειδικού αντικειμένου (calibration chart) για το καλιμπράρισμα του σαρωτή, καθώς δεν έχουμε περιστροφή του πλατί και σε κάθε σάρωση η απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο διατηρείται σταθερή. Για το φωτισμό του αντικειμένου χρησιμοποιώ λάμπες φθορίου για να αποτυπώσω το ακριβές χρώμα κατά την ψηφιοποίηση και ρυθμίζω κατάλληλα την απόστασή τους από το αντικείμενο, ώστε να αποφύγω πιθανές αντανakλάσεις στην επιφάνεια και άρα χαμηλής ποιότητας ψηφιοποίηση. Χρειάζεται αρκετή προεργασία για να πετύχω ομοιόμορφο φωτισμό σε όλη την επιφάνεια του αντικειμένου. Οι περιοχές με ελλιπή φωτισμό απεικονίζονται ελαττωματικές κατά την ψηφιοποίηση (δημιουργία τραχείας επιφάνειας, παρουσία κενών – ασυνέχειας στο πλέγμα). Με την τοποθέτηση μαύρων επιφανειών για την απομόνωση του αντικειμένου από τον περιβάλλοντα χώρο, είμαι έτοιμος για την έναρξη της ψηφιακής σάρωσης του ακουστικού. Το περιβάλλον του PET εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα:

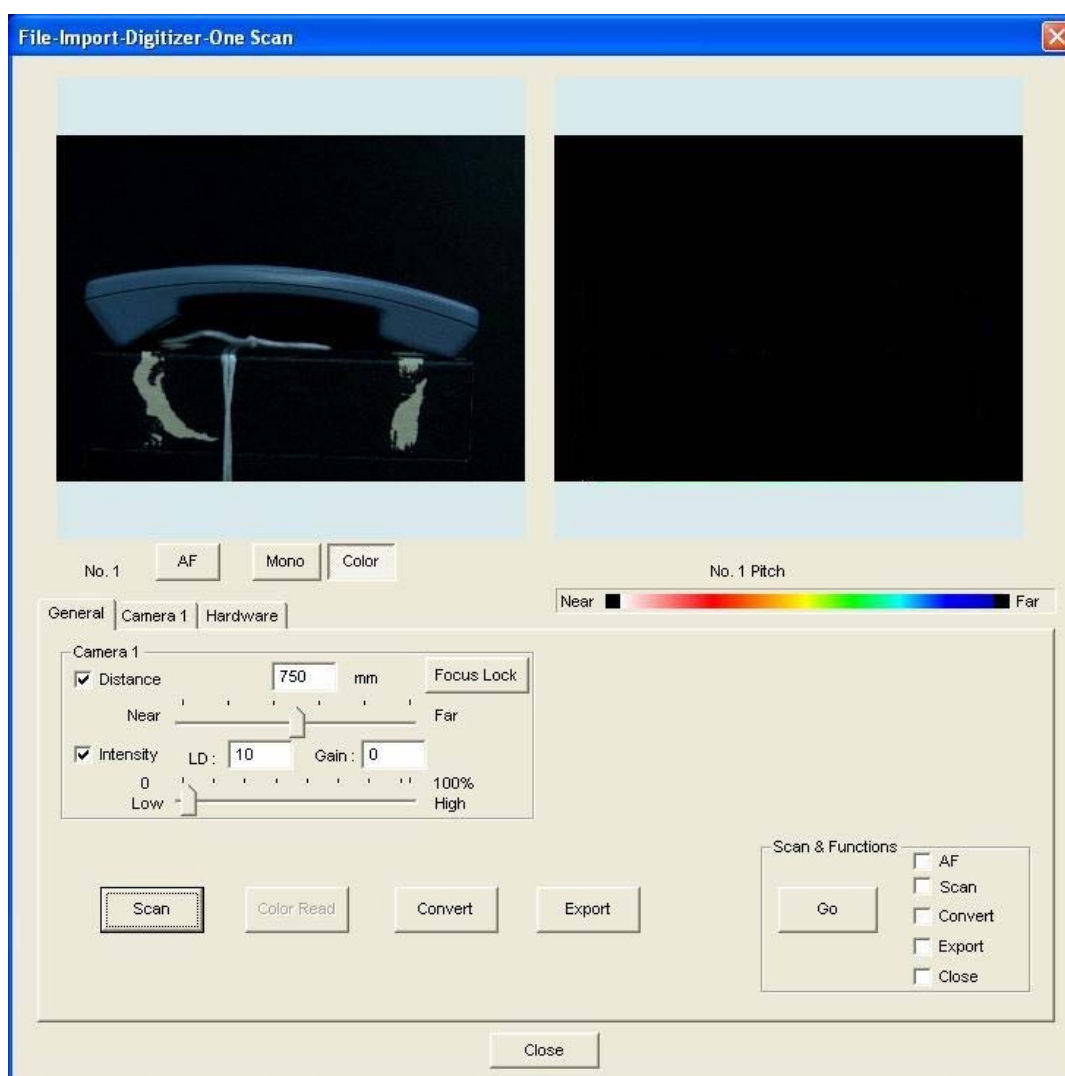


ΕΙΚΟΝΑ 4.1 : ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ PET.

Το κυρίως παράθυρο χωρίζεται σε 4 επιμέρους παράθυρα, σε καθένα από αυτά απεικονίζονται οι 4 διαφορετικές όψεις ενός αντικειμένου. Ξεκινώντας από το επάνω αριστερά και ακολουθώντας τη φορά των δεικτών του ρολογιού έχουμε διαδοχικά την απεικόνιση της Top, της Isometric, της Right και της Front όψης του αντικειμένου. Για την απεικόνιση των όψεων του αντικειμένου μετά την ψηφιοποίηση επιλέγω την προβολή σε Isometric view

(μόνο σε αυτή έχω τη δυνατότητα μετακίνησης ή περιστροφής του αντικειμένου) και κλείνω τα υπόλοιπα παράθυρα.

Ξεκινώ την ψηφιοποίηση με την front side του ακουστικού. Τοποθετώ το ακουστικό πάνω στη βάση στήριξης με την front side στραμμένη προς την κάμερα. Από το File menu επιλέγω Import Digitizer (για την εισαγωγή του σαρωτή) και μετά One Scan (η επιλογή Step Scan αναφέρεται σε διαδοχικές λήψεις του αντικειμένου με χρήση της περιστροφικής ιδιότητας του πλατό). Εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο:



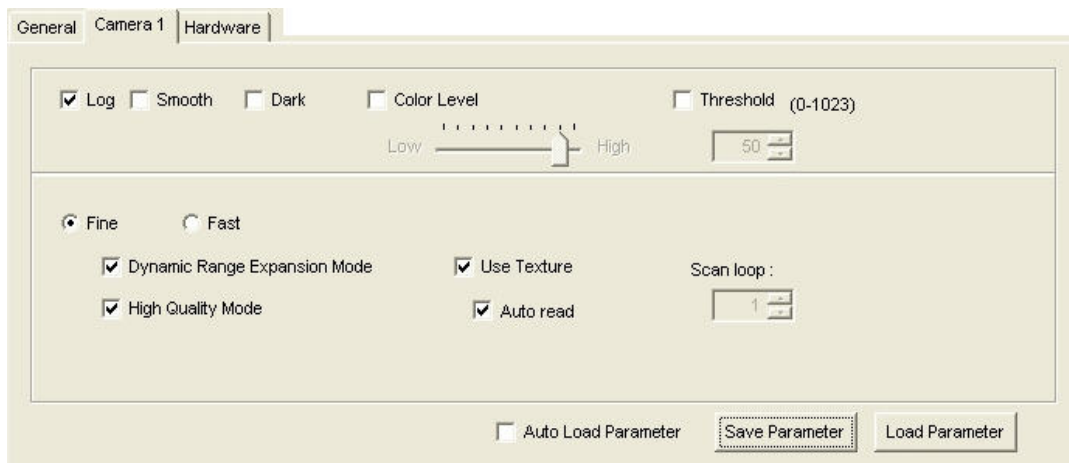
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: Η FRONT SIDE ΤΟΥ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΣΤΟ PET ΚΑΙ ΤΟ GENERAL TAB.

- Στην αριστερή οθόνη εμφανίζεται η front side του ακουστικού (στο κέντρο της οθόνης όπως επιθυμώ) και στη δεξιά θα εμφανιστεί το αποτέλεσμα της σάρωσης. Με χρήση των κουμπιών Mono, Color το αντικείμενο εμφανίζεται ασπρόμαυρο και έγχρωμο αντίστοιχα στην αριστερή οθόνη, ενώ με χρήση του AF το scanner εστιάζει αυτόματα στο αντικείμενο. Κάτω από τη δεξιά οθόνη υπάρχει μια χρωματικά διαβαθμισμένη μπάρα για τον έλεγχο του αποτελέσματος της ψηφιοποίησης. Με την ολοκλήρωση της σάρωσης, τό αντικείμενο απεικονίζεται στη δεξιά οθόνη με ένα από τα εικονιζόμενα χρώματα της

μπάρας. Με αυτό τον τρόπο, είναι εφικτή η αξιολόγηση της εστίασης του φακού. Για παράδειγμα, όταν το αντικείμενο απεικονίζεται με ένα από τα οριακά χρώματα της μπάρας (ανοιχτό ρόζ ή σκούρο μπλέ) η εστίαση δεν είναι καθόλου καλή. Στην πρώτη περίπτωση απαιτείται μεγάλη μείωση της απόστασης, ενώ στη δεύτερη μεγάλη αύξηση προκειμένου να πετύχω την επιθυμητή εστίαση. Μια σάρωση θεωρείται πετυχημένη όταν στη δεξιά οθόνη το αντικείμενο αναπαριστάνεται με χρώματα ανάμεσα στην έντονη κίτρινη και την ανοιχτή πράσινη περιοχή.

- Το *General Tab* παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να ρυθμίσει την εστιακή απόσταση (Distance σε mm) καθώς και την ένταση του laser (Intensity ή LD). Η πρώτη αυξομειώνεται σε μια μπάρα (με όρια Near και Far) και η δεύτερη σε μια άλλη (με όρια Low και High) ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη.

Ακόμα υπάρχουν κουμπιά για την έναρξη της σάρωσης (Scan), την εξαγωγή των ψηφιοποιημένων data σε διάφορα format (Export) (υποστηρίζονται files της μορφής \*.scn ή \*.cdm) στο περιβάλλον του PET και τη μετατροπή τους (Convert) σε files της κάμερας (Convert) (σε μορφή \*.vnd) για εισαγωγή στο Rapidform και περαιτέρω επεξεργασία τους.



ΕΙΚΟΝΑ 4.3: TO CAMERA 1 TAB.

- Το *Camera 1 Tab* παρέχει διάφορες επιλογές για την επεξεργασία των έγχρωμων data και τη βελτίωση των αποτελεσμάτων της ψηφιοποίησης. Αναλυτικά εμφανίζονται οι εξής επιλογές:
  - **Log:** Το πρόγραμμα εφαρμόζει λογαριθμική διόρθωση των έγχρωμων data, φωτίζοντας τα ουδέτερα χρώματα του αντικειμένου.
  - **Smooth:** Τα data εξομαλύνονται από ανωμαλίες, σε περιπτώσεις που ο φωτισμός είναι χαμηλός και το αντικείμενο δε φαίνεται καθαρά.
  - **Dark:** Τα data εξομαλύνονται από ανωμαλίες υπό μορφή ραβδώσεων.
  - **Color Level:** Ο χρήστης καθορίζει το επίπεδο απόδοσης του χρώματος του αντικειμένου κατά την σάρωση.
  - **Threshold:** Καθορίζεται ένα κατώφλι απόστασης για τη δημιουργία του image. Ο χρήστης εισάγει ένα νούμερο πάνω από το οποίο εμφανίζεται το image του αντικειμένου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η επιλογή αυτή δε χρησιμοποιείται.
  - **Fine/Fast mode:** Επιλέγεται η ταχύτητα ψηφιοποίησης (με την επιλογή Fast τα δεδομένα ψηφιοποιούνται σε μικρότερο χρόνο, ενώ με την επιλογή Fine η ψηφιοποίηση διαρκεί περισσότερο χρόνο αλλά εξασφαλίζεται καλύτερη ποιότητα).

- **Dynamic Range Expansion Mode:** Με την επιλογή αυτού του mode πραγματοποιούνται 2 επαναλήψεις της σάρωσης (αντί για μια μόνο σάρωση) προκειμένου να μειωθεί η απώλεια των data.
- **High Quality Mode:** Απεικονίζονται τα data χαμηλής αξιοπιστίας. Στη δεξιά οθόνη προεπισκόπησης της ψηφιοποίησης, τα data για τα οποία η ένταση του laser είναι υψηλή εμφανίζονται με ανοιχτό γκρί χρώμα, ενώ εκείνα για τα οποία η ένταση του laser είναι χαμηλή εμφανίζονται με σκούρο γκρί. Η επιλογή αυτή είναι αρκετά βοηθητική για τον ακριβή καθορισμό της έντασης του laser.
- **Use Texture:** Επιτρέπει την εξαγωγή έγχρωμης υψής των ψηφιοποιημένων δεδομένων κατά την εφαρμογή Convert ή Export.
- **Auto Read:** Ενεργοποιεί το load των data μετά την ψηφιοποίηση.
- **Scan loop:** Αναφέρεται σε step scan.

Οι επιλογές Dynamic Range Expansion Mode και High Quality Mode είναι απαραίτητες για την εξαγωγή ποιοτικών αποτελεσμάτων και στο εξής η χρήση τους κατά την ψηφιοποίηση θα θεωρείται δεδομένη.

Από τις τρεις διαθέσιμες μεθόδους για την εξομάλυνση των data (Log, Smooth και Dark) χρησιμοποιώ την Log, καθώς είναι η μοναδική η οποία δεν παραμορφώνει τα δεδομένα.

- Το *Hardware Tab* αναφέρεται σε ρυθμίσεις κατά τη χρήση της περιστροφικής ιδιότητας του turntable.

Προκειμένου να πετύχω το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα κατά τη σάρωση, είναι αναγκαίο να εκτελέσω διάφορες δοκιμές εισάγοντας κάθε φορά διαφορετικές τιμές της εστιακής απόστασης και της έντασης του laser. Επιλέγω αρχικά τη λειτουργία αυτόματης εστίασης με το κουμπί AF και η απόσταση προσαρμόζεται αυτόματα στα 800 mm. Καθορίζω την ένταση του laser στο 10 (η ένταση του laser **είναι αναγκαίο** να ρυθμίζεται σε επίπεδα μικρότερα του 20, διαφορετικά λαμβάνω παραμορφωμένη επιφάνεια). Ενεργοποιώ το Color Level στο Camera 1 Tab δίνοντάς του τη μεγαλύτερη δυνατή τιμή. Με αυτό τον τρόπο, αυξάνω την ένταση του χρώματος στο αντικείμενο κατά την απεικόνισή του στη δεξιά οθόνη και διευκολύνομαι κατά την επιλογή της εστιακής απόστασης. Επιλέγω Log και Fine στο Camera 1 Tab καθώς και Use Texture, Auto Read (η επιλογή τους θα θεωρείται δεδομένη και για τις υπόλοιπες σαρώσεις). Εκτελώ τη σάρωση και προκύπτει το αποτέλεσμα της εικόνας 4.4.



ΕΙΚΟΝΑ 4.4: ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ FRONT SIDE ΜΕ ΧΡΗΣΗ AUTO FOCUS (ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ = 800 mm ΚΑΙ LD = 10).

Το αντικείμενο απεικονίζεται με έντονο κόκκινο χρώμα, επομένως πρέπει να μειώσω την απόσταση για να πετύχω ακριβή εστίαση. Η παρουσία σκούρων γκρί data, η οποία συμβολίζει την υψηλή ένταση του laser, παρατηρείται

μόνο στην επιφάνεια της βάσης στήριξης, η οποία δε με αφορά καθώς θα αφαιρεθεί κατά την επεξεργασία. Επομένως, διατηρώ την ένταση του laser σε αυτά τα επίπεδα.

Μειώνω την εστιακή απόσταση κατά μερικά mm και διατηρώ την ίδια ένταση του laser. Πατάω το κουμπί Mono και στη συνέχεια το Color για την απεικόνιση της φωτογραφίας του μοντέλου στη νέα εστιακή απόσταση. Με τον τρόπο αυτό, ελέγχω την ακρίβεια με την οποία απεικονίζονται οι ιδιαίτερες λεπτομέρειες του μοντέλου στη φωτογραφία. Αν η ακρίβεια δεν είναι ικανοποιητική μειώνω κι άλλο την απόσταση, ελέγχω ξανά και αν παρουσιάζεται βελτίωση στην απεικόνιση εκτελώ νέα σάρωση. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές με διαδοχικές μειώσεις της εστιακής απόστασης και σαρώσεις στις νέες θέσεις μέχρι την επίτευξη επιθυμητού αποτελέσματος (για κάθε μια από τις σαρώσεις διατηρώ τις ίδιες ρυθμίσεις στο Camera Tab). Το αποτέλεσμα της σάρωσης με τελική εστιακή απόσταση στα 750 mm εμφανίζεται στην εικόνα που ακολουθεί.

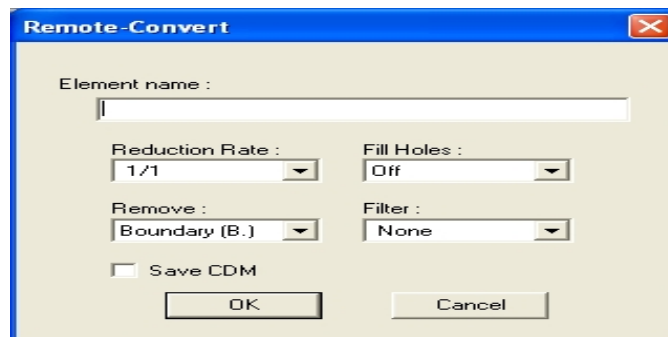


ΕΙΚΟΝΑ 4.5: ΝΕΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΤΑ 750 mm ΚΑΙ LD = 10.

Το αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Η επιφάνεια εμφανίζεται με ανοιχτό πράσινο χρώμα, το οποίο δηλώνει ακριβή εστίαση, ενώ η έλλειψη γκρίζων περιοχών δηλώνει ικανοποιητική ένταση του laser.

Η αποτυχία του AF να υπολογίσει με ακρίβεια την εστιακή απόσταση δεν είναι τυχαία. Όσες φορές έγινε χρήση του κατά τη σάρωση αντικειμένων το αποτέλεσμα ήταν αναξιόπιστο. Στο εξής η λειτουργία αυτή θα εφαρμόζεται μόνο για την αρχική προσέγγιση της εστιακής απόστασης (με ακρίβεια μερικών δεκάδων χιλιοστών) και στη συνέχεια η ακριβής εστίαση θα υπολογίζεται manually.

Πατάω το κουμπί Convert για την εισαγωγή των data στο PET και προκύπτει το ακόλουθο menu διαλόγου:



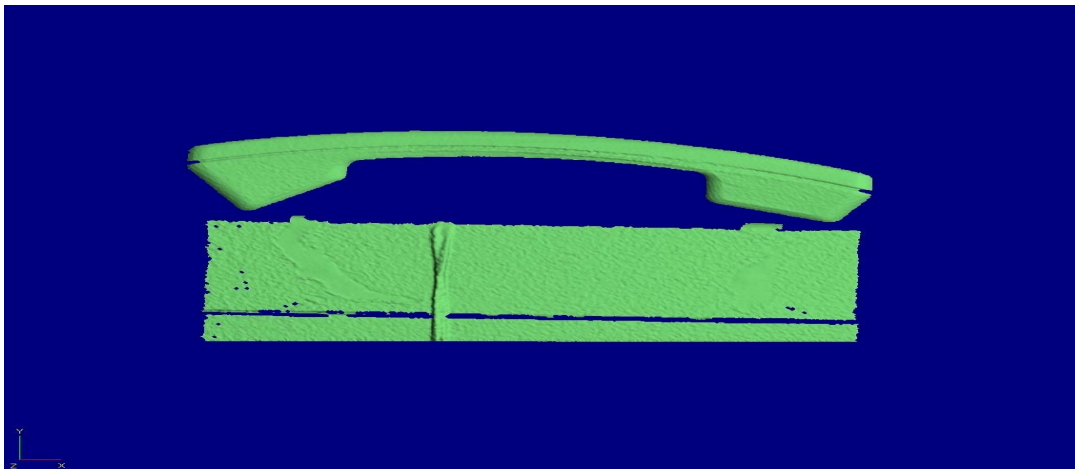
ΕΙΚΟΝΑ 4.6: MENU ΔΙΑΛΟΓΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΟΛΗΣ CONVERT.

- Με την επιλογή Reduction Rate μπορώ να πετύχω μείωση των data κατά την εισαγωγή τους στο PET σε διάφορες αναλογίες σε σχέση με τον αρχικό αριθμό τους (1/4, 1/9, 1/16). Ποτέ δεν επιλέγω μείωση και πάντα εισάγω

τα data στο PET σε αναλογία 1/1.

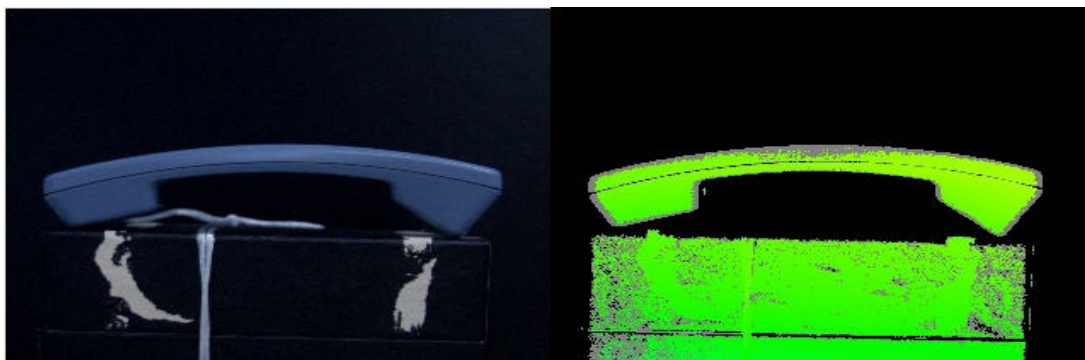
- Με την επιλογή Fill Holes καθορίζω με On/Off την προσθήκη ή όχι σημείων για τη συμπλήρωση οπών (holes) εξαιτίας ελλιπών data. Προτιμώ να συμπληρώσω τις όποιες οπές στο Rapidform ώστε να πετύχω καλύτερα αποτελέσματα και επιλέγω Off.
- Με την επιλογή Remove καθορίζω όσα data θέλω να αφαιρεθούν κατά την εισαγωγή τους στο PET. Οι επιλογές είναι None (ώστε το μοντέλο να διατηρηθεί ακέραιο) και Boundary (για την οριακή περιοχή). Πάντα επιλέγω None, ώστε να διατηρηθεί η αρχική μορφή των δεδομένων.
- Με την επιλογή Filter καθορίζω την επεξεργασία ή όχι των data με χρήση ενός φίλτρου. Η εισαγωγή φίλτρου αλλοιώνει τη μορφή των original data, κατά συνέπεια δεν επιλέγω κανένα φίλτρο.
- Επιλέγω το Save CDM για την εισαγωγή των data στο PET και πατώ OK.
- Επιλέγω την απεικόνιση σε Isometric View και προκύπτει η εικόνα 4.7

Τα δεδομένα απεικονίζονται υπό μορφή νέφους σημείων, το οποίο έχει τριγωνοποιηθεί με χρήση της μεθόδου Delaunay. (Αναλυτικότερη απεικόνιση του τριγωνοποιημένου πλέγματος ακολουθεί στο Rapidform).



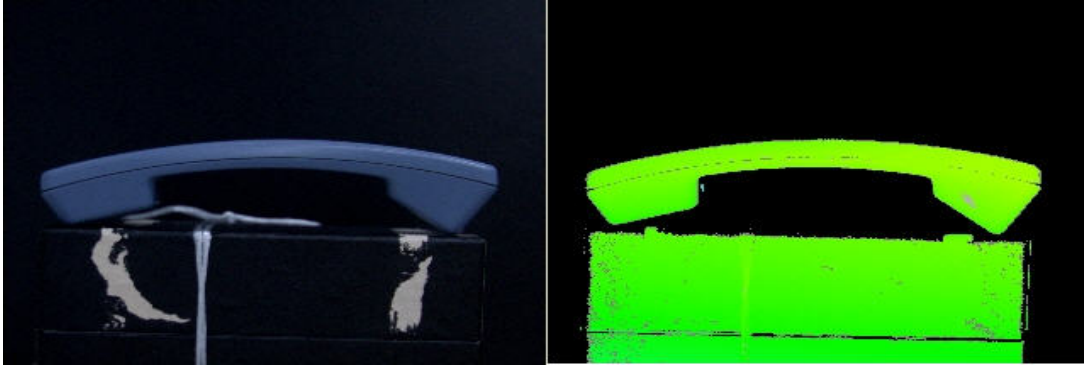
ΕΙΚΟΝΑ 4.7: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ FRONT SIDE ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ PET.

Εφαρμόζω την ίδια διαδικασία και για τις υπόλοιπες 5 όψεις του ακουστικού. Τοποθετώ το αντικείμενο στη βάση στήριξης με την back side στραμμένη προς την κάμερα. Φροντίζω για το κεντράρισμά της και ρυθμίζω την εστιακή απόσταση στα 750 mm και την ένταση του laser στο 8. Εκτελώ τη σάρωση και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην εικόνα 4.8.



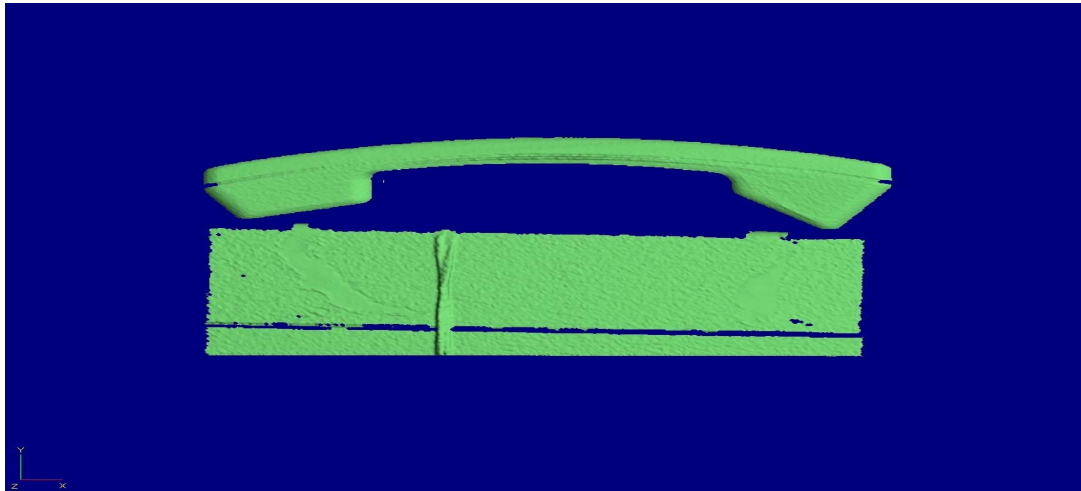
ΕΙΚΟΝΑ 4.8: ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ BACK SIDE ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ = 750 mm ΚΑΙ LD = 8.

Αν και το ανοιχτό πράσινο χρώμα που προκύπτει είναι το επιθυμητό (έχω καθορίσει δηλαδή με ακρίβεια την εστιακή απόσταση), παρατηρώ ότι στην οριακή επιφάνεια του ακουστικού (boundary) εμφανίζεται σκούρο γκρί χρώμα ενδεικτικό της χαμηλής έντασης του laser στην περιοχή. Εκτελώ λοιπόν νέα σάρωση αυξάνοντας την ένταση του laser στο 10 και διατηρώντας ίδιες τις υπόλοιπες ρυθμίσεις.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9 : ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ BACK SIDE ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ = 750 mm ΚΑΙ LD = 10.

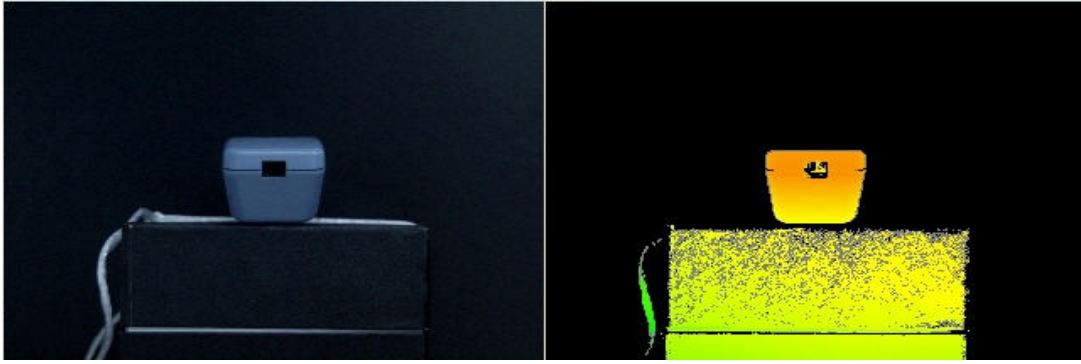
Το αποτέλεσμα που προκύπτει με την αύξηση της έντασης του laser είναι πολύ καλύτερης ποιότητας (δεν εμφανίζονται γκρί data στην οριακή περιοχή του ακουστικού). Το εισάγω στο PET και παίρνω την εικόνα 4.10.



ΕΙΚΟΝΑ 4.10: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ BACK SIDE ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ PET.

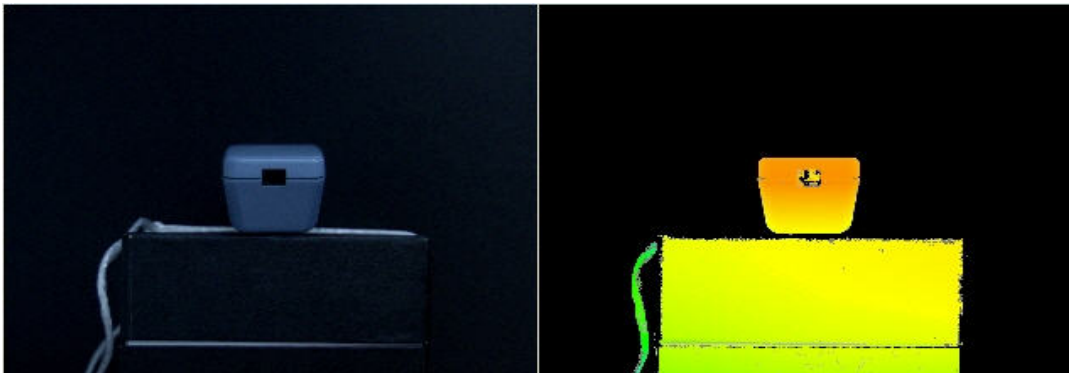
Εκτελώ τη σάρωση της left side του ακουστικού ρυθμίζοντας την εστιακή απόσταση στα 750 mm και την ένταση του laser στο 10. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.11.



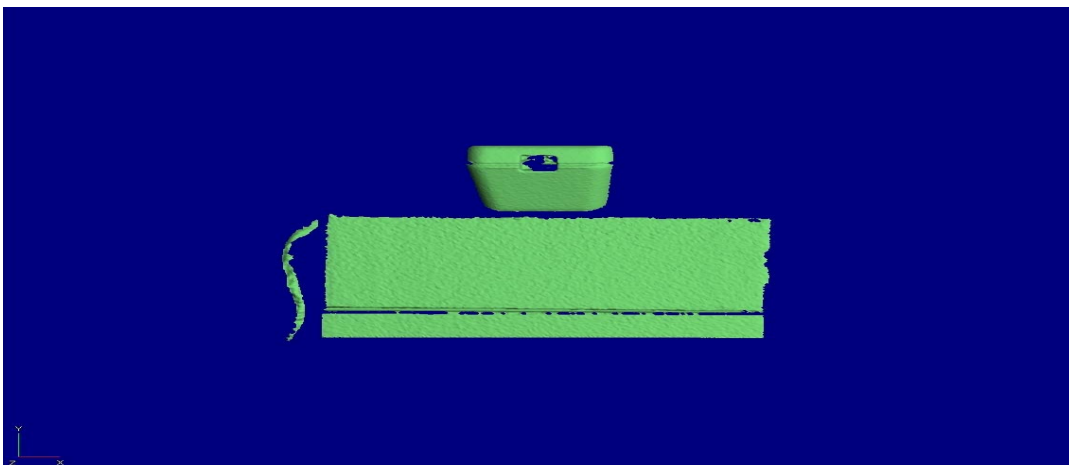


ΕΙΚΟΝΑ 4.11: ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ LEFT SIDE ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ = 750 mm ΚΑΙ LD = 10.

Παρόλο που καθόρισα με ακρίβεια την εστιακή απόσταση (η επιφάνεια εμφανίζεται με ανοιχτό κίτρινο χρώμα) η οπή του αντικειμένου εμφανίζεται μαύρη στο μεγαλύτερο μέρος της. Για το λόγο αυτό, αυξάνω σταδιακά την ένταση του laser ώστε να εμφανιστεί και αυτή με κίτρινο χρώμα. Το πετυχαίνω για ένταση laser ίση με 17.



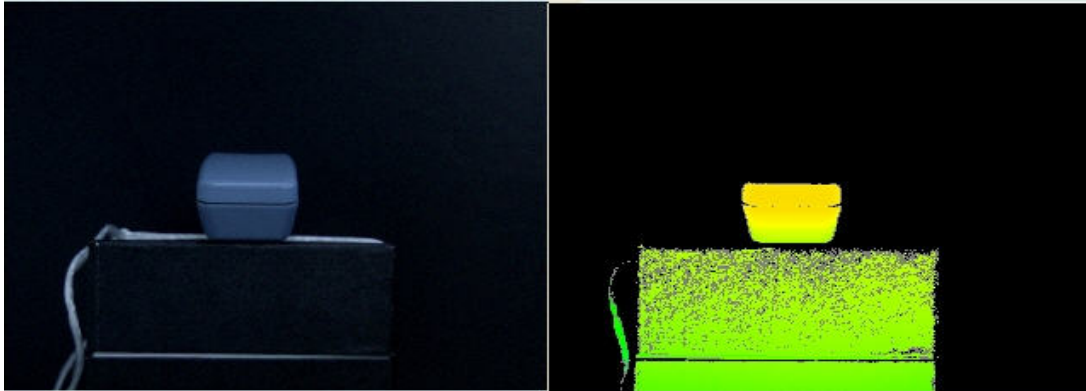
ΕΙΚΟΝΑ 4.12: ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ LEFT SIDE ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ = 750 mm ΚΑΙ LD = 17.



ΕΙΚΟΝΑ 4.13: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ LEFT SIDE ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ PET.

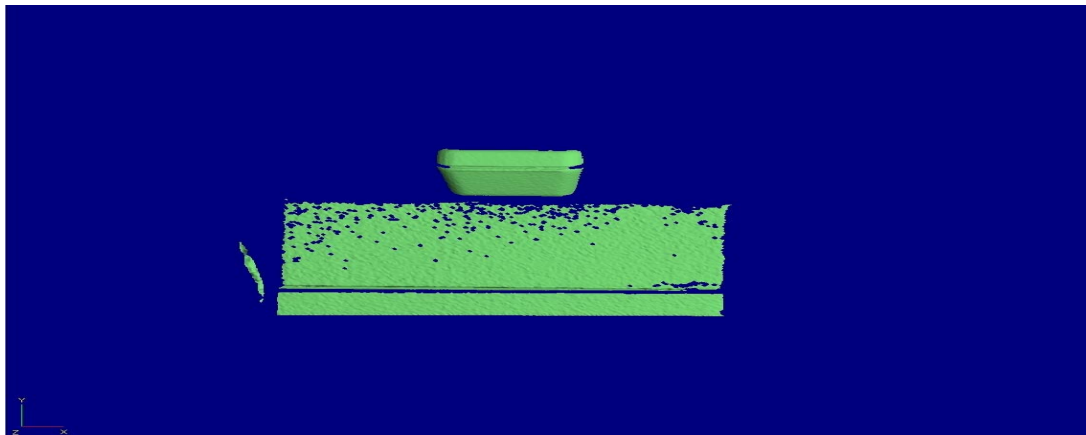
Εκτελώ τη σάρωση της right side εστιάζοντας το φακό στα 740 mm από το ακουστικό και ρυθμίζοντας την ένταση του laser στο 10. Το αποτέλεσμα είναι αρκετά καλής ποιότητας.





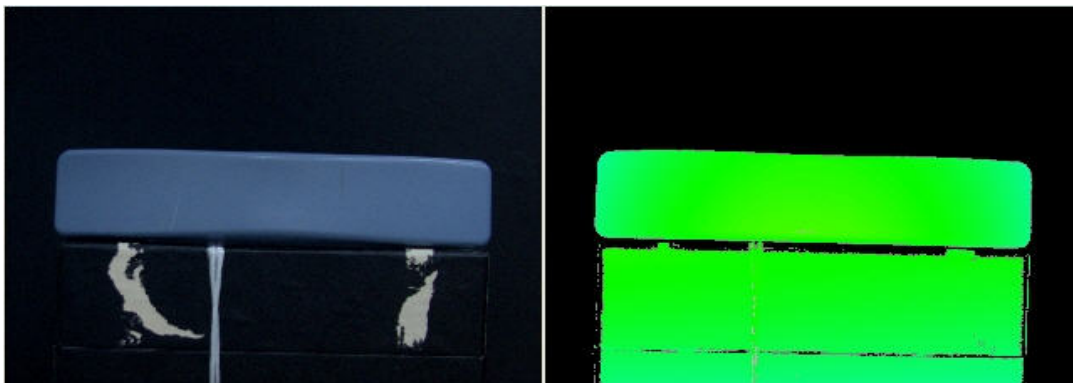
ΕΙΚΟΝΑ 4.14: ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ RIGHT SIDE ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ = 740 mm ΚΑΙ LD = 10.

Δεν επαναλαμβάνω τη σάρωση αφού το αποτέλεσμα με ικανοποιεί και το εισάγω στο PET.



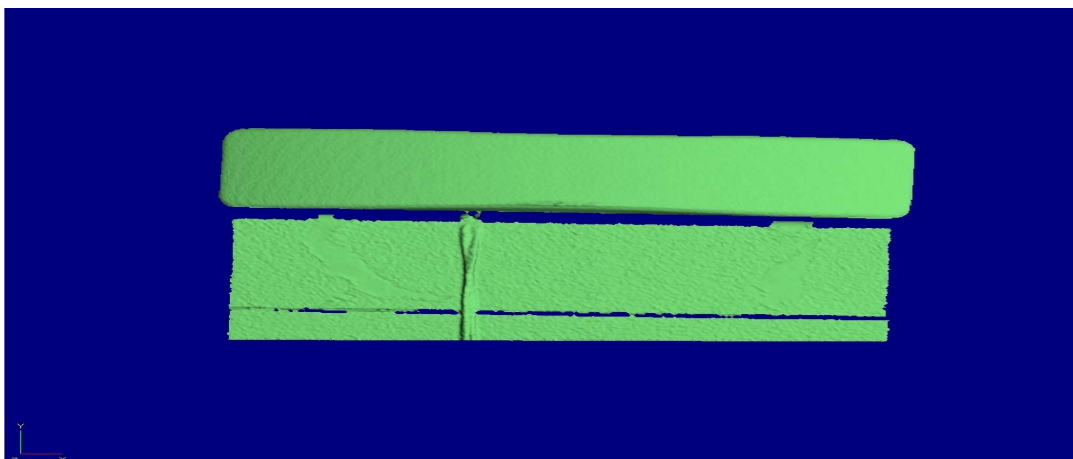
ΕΙΚΟΝΑ 4.15: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ RIGHT SIDE ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ PET.

Η top side εξαιτίας του σχήματός του αντικειμένου γέρνει προς το εσωτερικό της βάσης στήριξης. Για το λόγο αυτό τοποθετώ ένα μικρών διαστάσεων υποστήριγμα στο εσωτερικό της, ώστε να στοιχισθεί παράλληλα με το επίπεδο της οθόνης και να μην έχω απώλεια ή παραμόρφωση των data κατά τη σάρωση. Ορίζω την εστιακή απόσταση στα 760 mm και την ένταση του laser στο 14 και εκτελώ τη σάρωση.



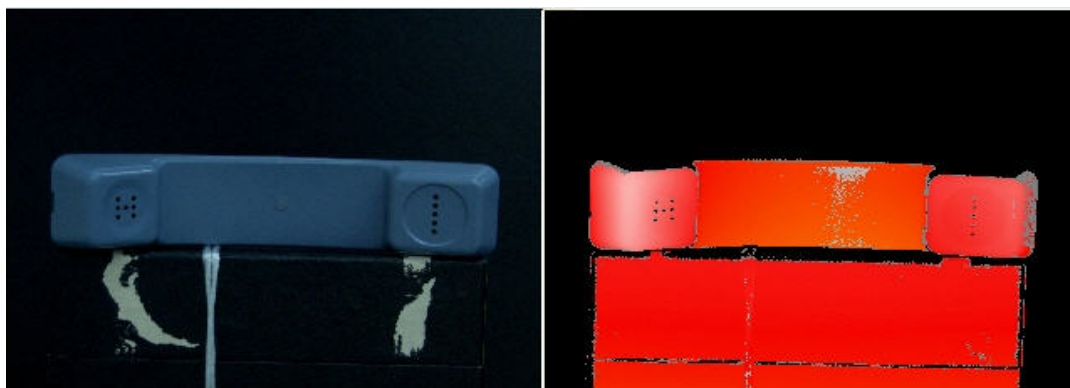
ΕΙΚΟΝΑ 4.16: ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ TOP SIDE ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ = 740 mm ΚΑΙ LD = 10.

Τα ψηφιοποιημένα δεδομένα είναι πολύ καλής ποιότητας.



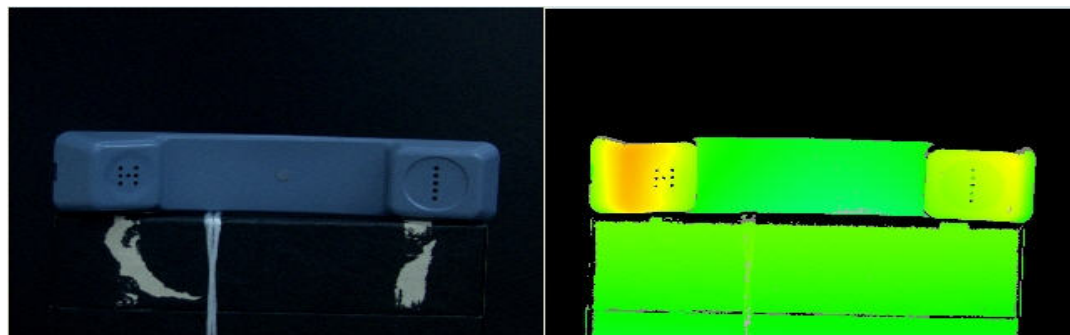
ΕΙΚΟΝΑ 4.17: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ TOP SIDE ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ PET.

Ακολουθεί η τελευταία όψη του αντικειμένου (bottom side). Εκτελώ αρχικά τη σάρωση με χρήση αυτόματης εστίασης (η εστιακή απόσταση ορίζεται στα 822 mm) και ρυθμίζω την ένταση του laser στο 12.



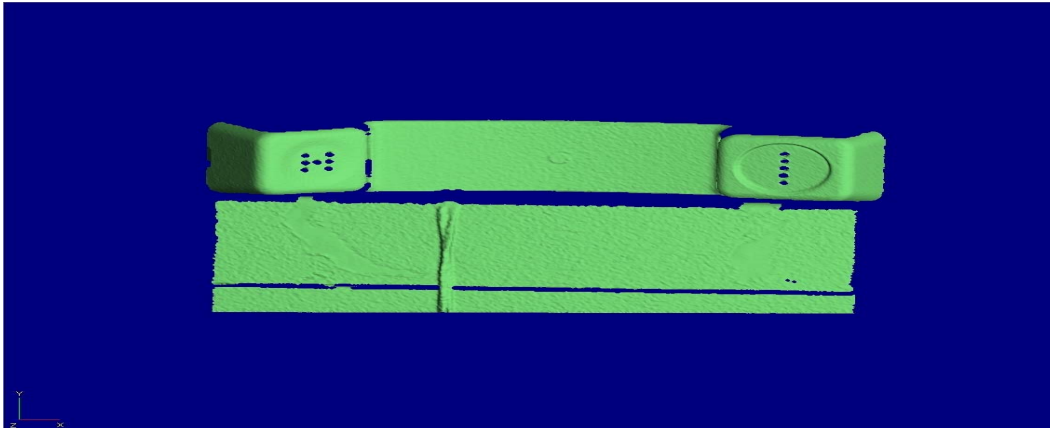
ΕΙΚΟΝΑ 4.18: ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ BOTTOM SIDE ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ = 822 mm ΚΑΙ LD = 12.

Το κόκκινο χρώμα υποδηλώνει ότι είναι αναγκαία η μείωση της απόστασης, ενώ η ύπαρξη data με σκούρο γκρι χρώμα ότι απαιτείται αύξηση της έντασης του laser. Επαναλαμβάνω τη σάρωση ορίζοντας την απόσταση στα 760 mm και την ένταση του laser στο 14, οπότε παίρνω:



ΕΙΚΟΝΑ 4.19: ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ BOTTOM SIDE ΜΕ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ = 760 mm ΚΑΙ LD = 14.

Η ψηφιοποίηση είναι πολύ καλής ποιότητας και στο PET έχω:



ΕΙΚΟΝΑ 4.20: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ BOTTOM SIDE ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ PET.

Οι 6 ψηφιοποιημένες όψεις του ακουστικού μετατρέπονται σε ένα file της μορφής \*.vnd και εισάγονται στο Rapidoform για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

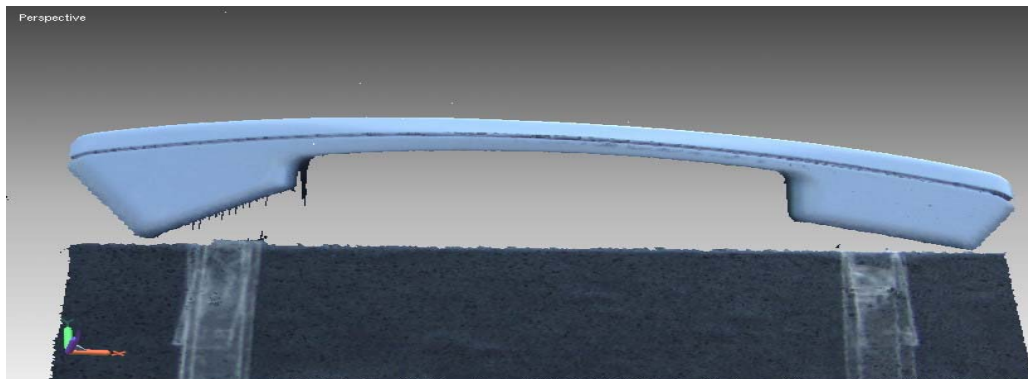
## 4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ RAPIDFORM

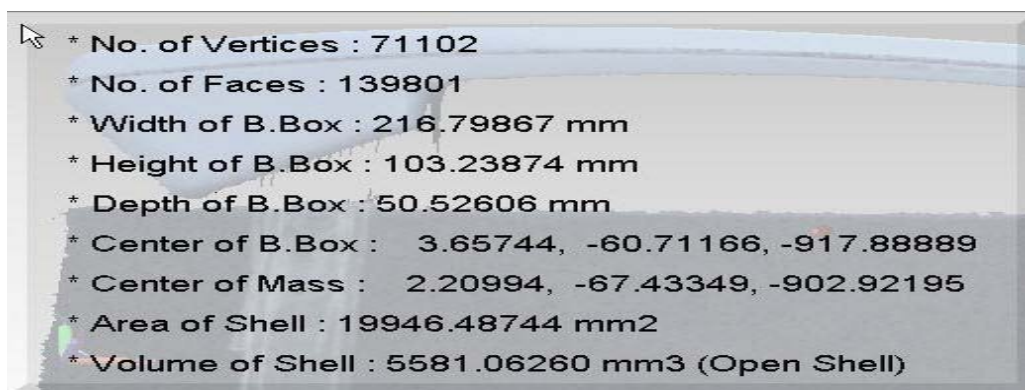
Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η πορεία που ακολουθήσαμε για την επανασχεδίαση του ακουστικού στα διάφορα workbenches του Rapidform. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων σε ένα workbench, είναι εφικτή η μεταπήδηση σε προηγούμενο, καθώς η λειτουργία τους είναι αλληλοσυμπληρούμενη.

### 4.2.1 SCAN WORKBENCH

#### 4.2.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΛΕΓΜΑΤΩΝ (IMPORT MESHES)

Εισάγω το αρχείο με τις ψηφιοποιημένες όψεις του ακουστικού στο Scan Workbench. Επιλέγω textured display mode για την απεικόνισή τους και smooth shading για τη σκίαση. Κάθε μια από τις όψεις αναγνωρίζεται ως διαφορετικό shell στο project tree window. Εκτελώ την εντολή *Information* >> *Shell* για κάθε ένα από τα shells και εμφανίζεται ένα menu με πληροφορίες. Το menu περιλαμβάνει πληροφορίες για τον αριθμό των κορυφών και των εδρών του shell, τις διαστάσεις του bounding box (μήκος, πλάτος, ύψος) σε mm, καθώς και τις συντεταγμένες του κέντρου του και του κέντρου μάζας του. Τέλος, αναφέρονται το εμβαδόν της επιφάνειας και ο όγκος του. Ακολουθούν εικόνες για κάθε shell.





EIKONA 4.21: FRONT SHELL.

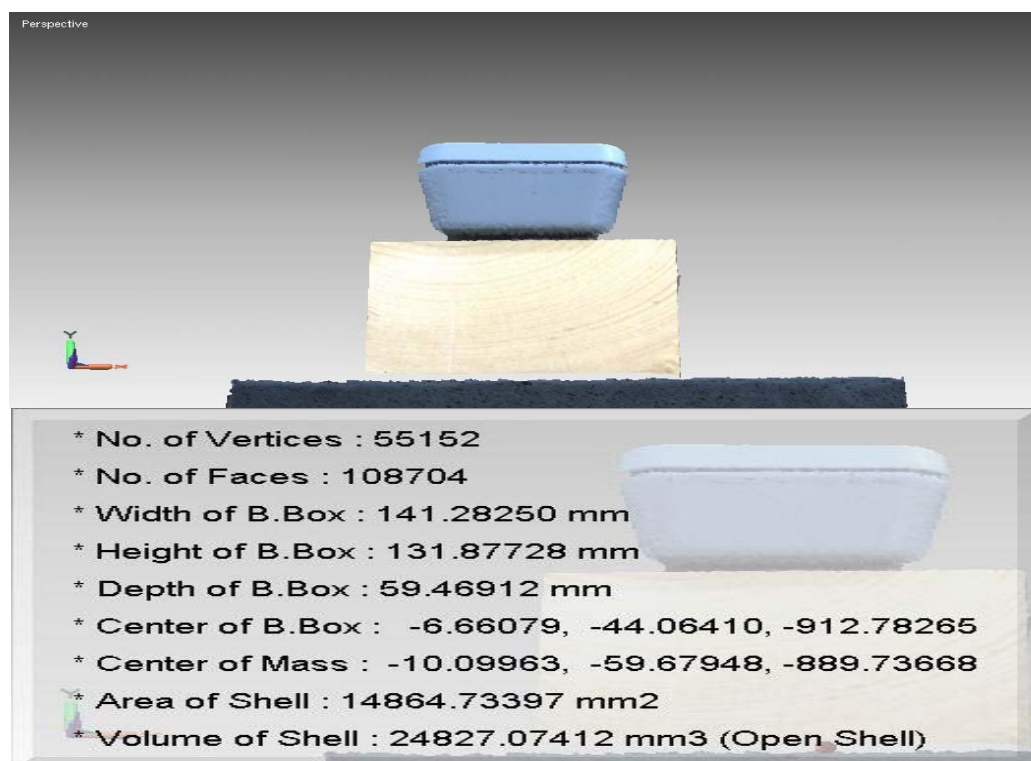


EIKONA 4.22: BACK SHELL.

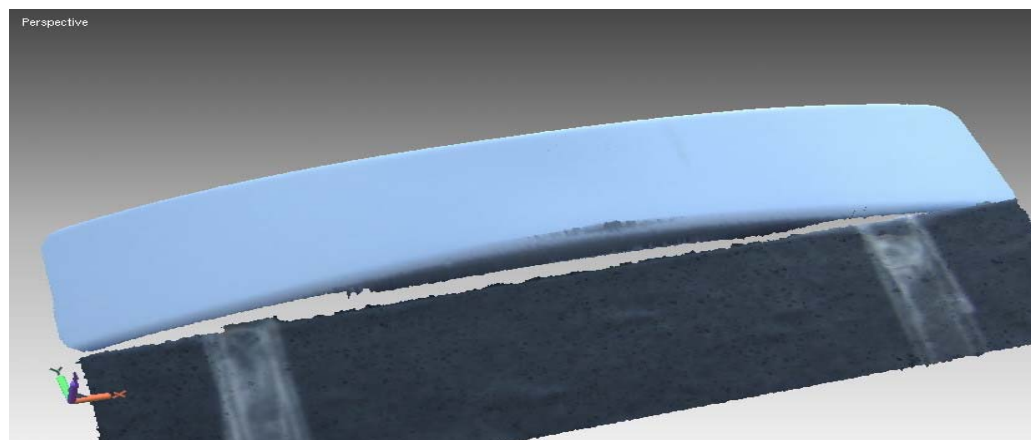




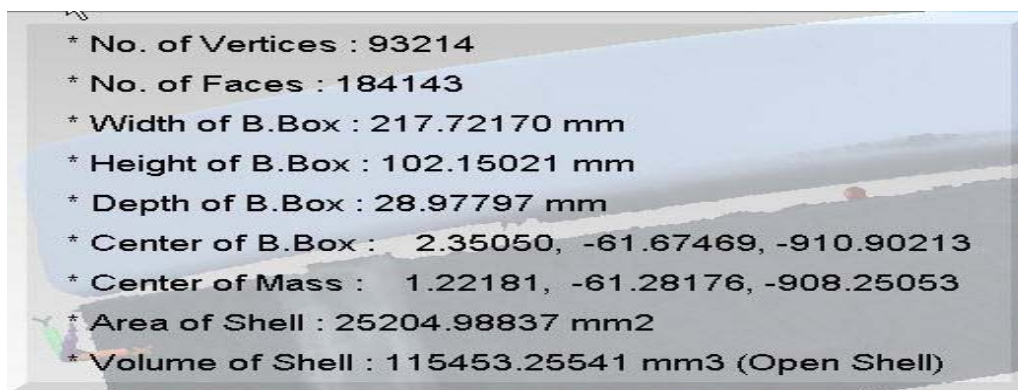
EIKONA 4.23: LEFT SHELL.



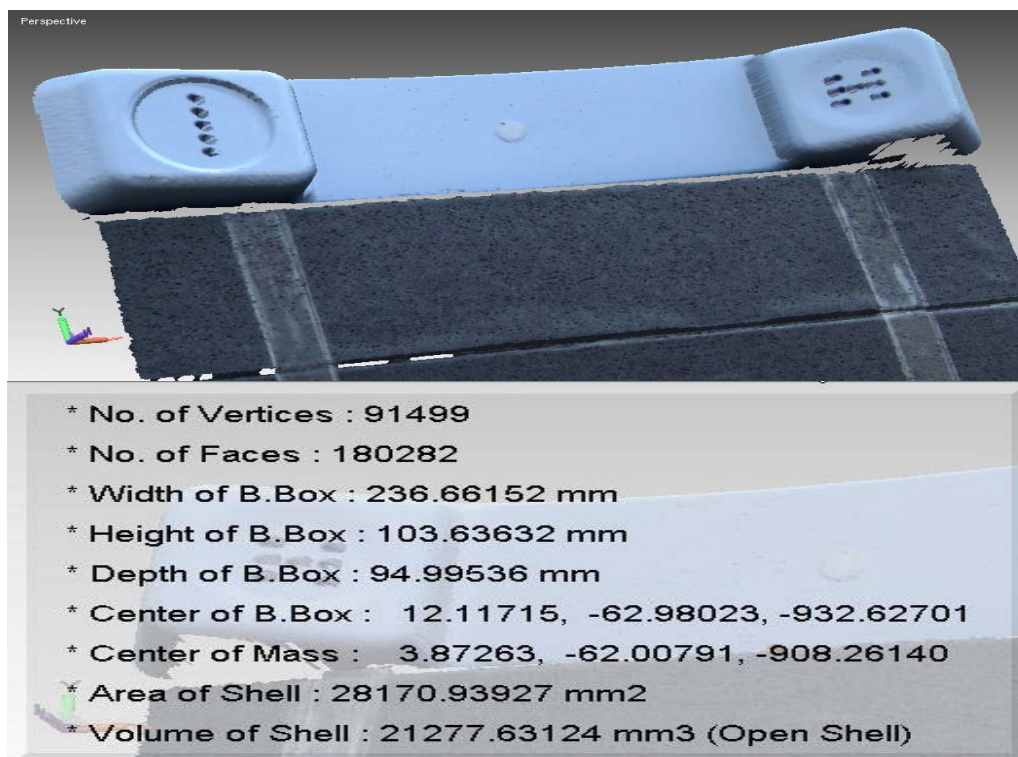
EIKONA 4.24: RIGHT SHELL.







ΕΙΚΟΝΑ 4.25: TOP SHELL.

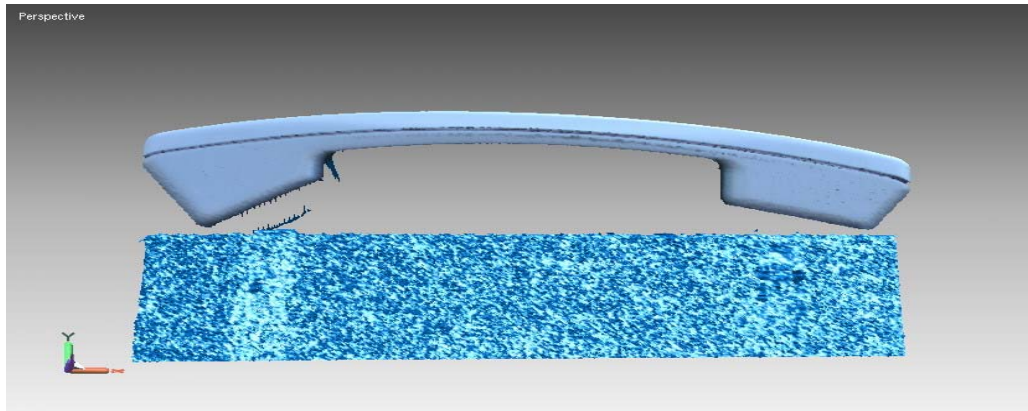


ΕΙΚΟΝΑ 4.26: BOTTOM SHELL.

Σε όλες τις παραπάνω εικόνες, οι πληροφορίες για κάθε shell αναφέρονται συνολικά στο ακουστικό και τα ανεπιθύμητα data.

#### 4.2.1.2 ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΩΝ ERRONEOUS DATA / ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ

Κατά την ψηφιοποίηση των sides του ακουστικού, αποτυπώθηκε και ένα σύνολο από ανεπιθύμητα data (erroneous data), όπως η βάση στήριξης και πλήθος από απομονωμένες κορυφές (isolated vertices). Με χρήση της εντολής *Select >> Faces* επιλέγω τα ανεπιθύμητα αυτά δεδομένα (απεικονίζονται με ανοιχτό μπλέ χρώμα στην 4.27) και στη συνέχεια με επιλογή της *Edit >> Delete Face* τα αφαιρώ από κάθε shell. Ενδεικτικά για το front shell έχω:

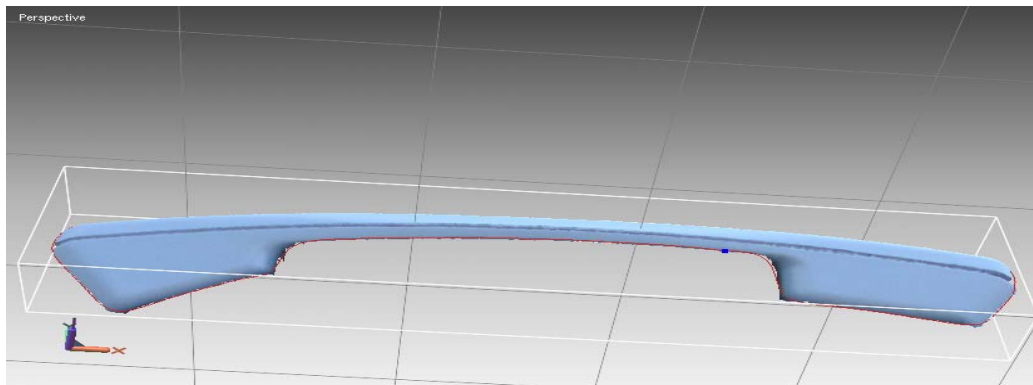


ΕΙΚΟΝΑ 4.27: ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΑ DATA ΣΤΟ FRONT SHELL.

Η διαδικασία τριγωνοποίησης αποτυγχάνει να δημιουργήσει ακριβή όρια (boundary). Για το λόγο αυτό με χρήση της εντολής *Curve >> Create >> Fit Boundary* στο *Curve Workbench* δημιουργώ μια καμπύλη, η οποία προσεγγίζει τις οριακές κορυφές κάθε shell.

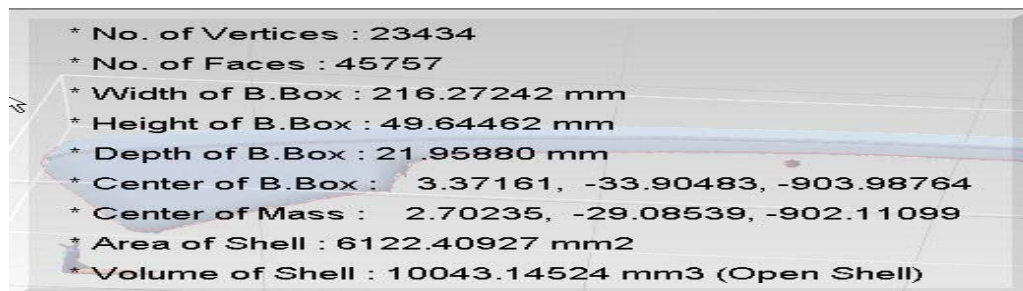
Στο *Polygon Workbench*, με την εντολή *Select >> Vertices Around >> Curves* επιλέγω τις οριακές κορυφές του shell και με την εντολή *Tool >> Fit Boundaries to Curves* τις προσαρμόζω στην καμπύλη που δημιούργησα. Με τον τρόπο αυτό διαμορφώνω βελτιωμένα όρια στο shell.

Ενδεικτικά για το front shell έχω:



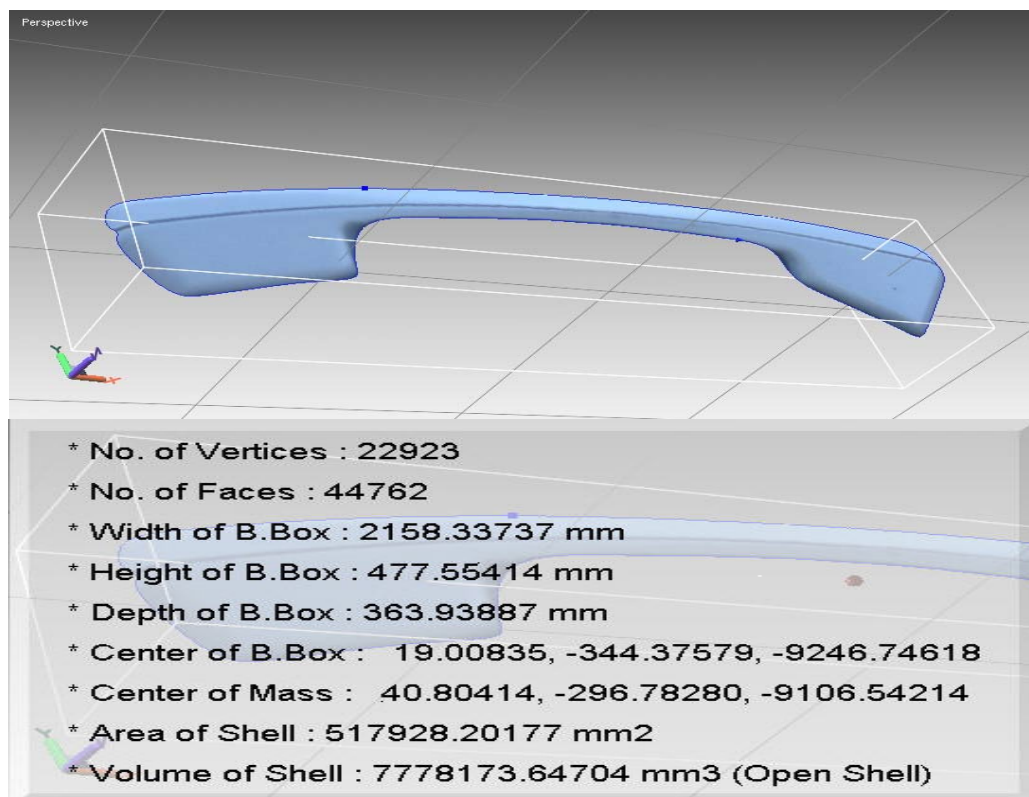
ΕΙΚΟΝΑ 4.28: ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΟΥ FRONT SHELL.

Με ανάλογο τρόπο αφαιρώ τα ανεπιθύμητα data και διαμορφώνω τα όρια και στα υπόλοιπα shells. Εκτελώ πάλι την εντολή *Information >> Shell* για καθένα από αυτά. Ακολουθούν ζεύγη εικόνων για κάθε shell (στην πρώτη εμφανίζεται η βελτιωμένη του εκδοχή, ενώ στη δεύτερη ο πίνακας πληροφοριών του).

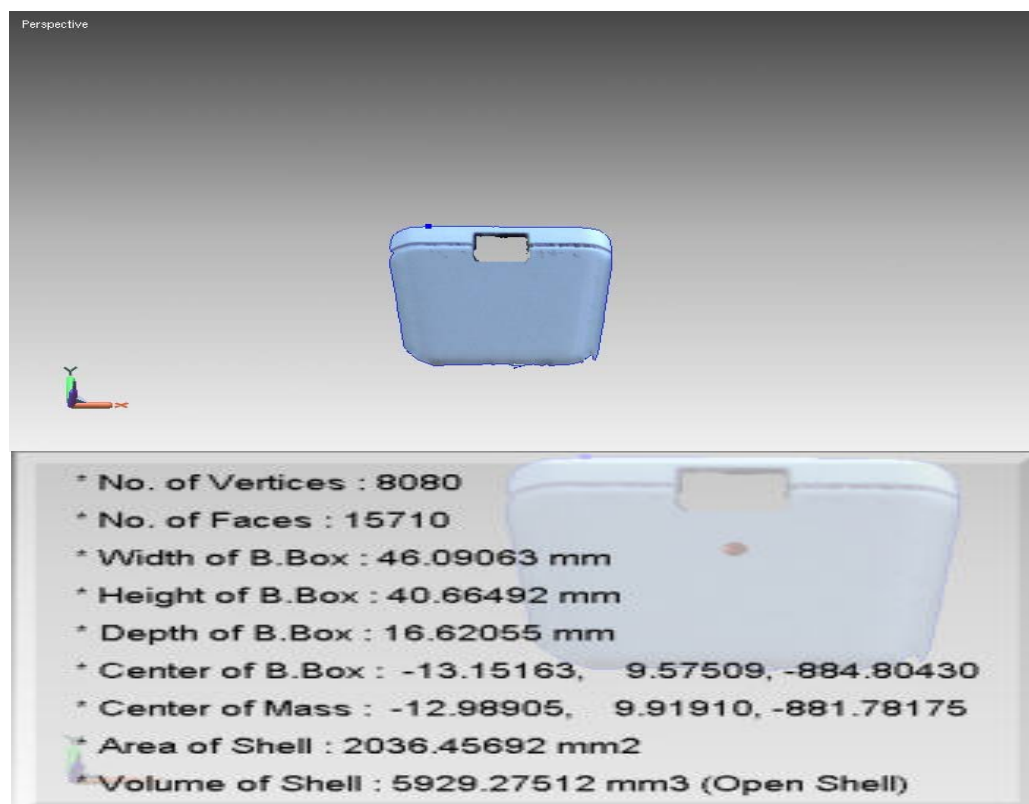


ΕΙΚΟΝΑ 4.29: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ FRONT SHELL.

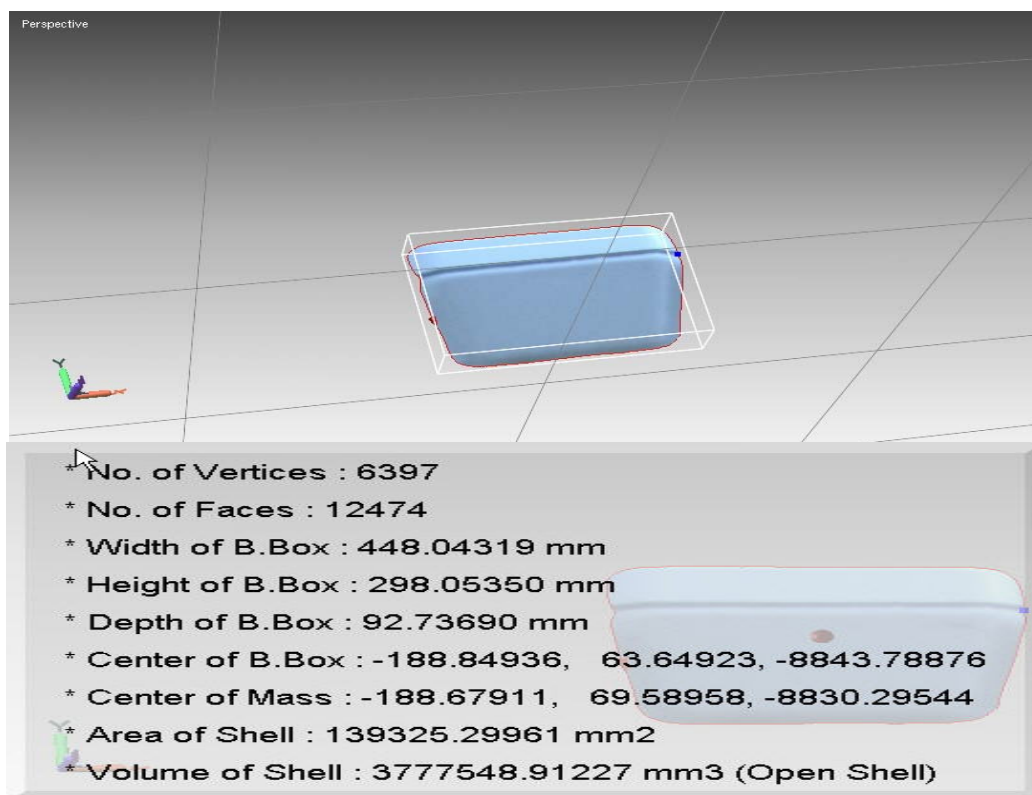




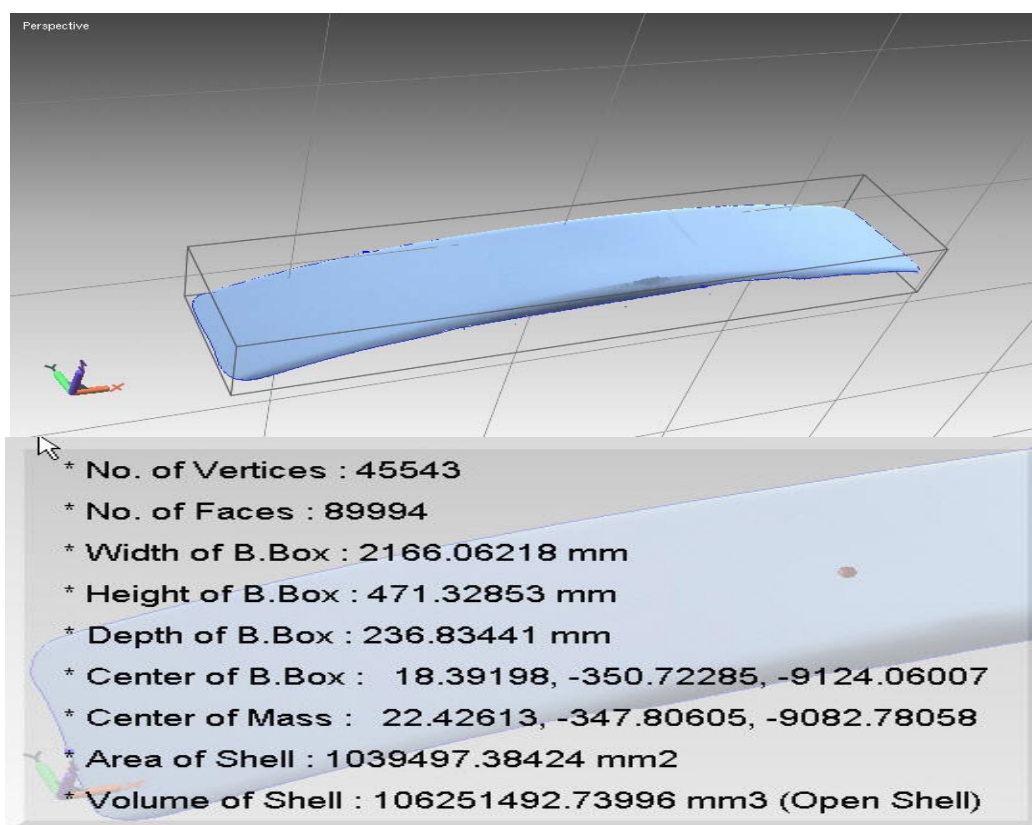
EIKONA 4.30: BACK SHELL.



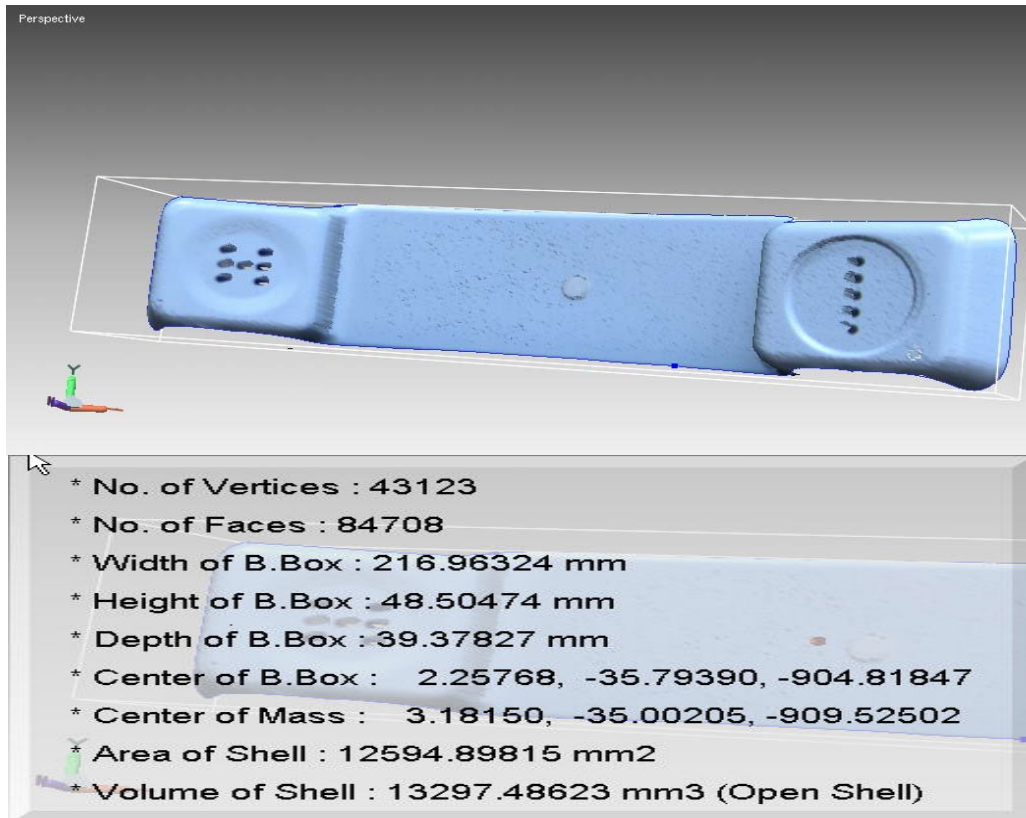
EIKONA 4.31: LEFT SHELL.



EIKONA 4.32: RIGHT SHELL.



EIKONA 4.33: TOP SHELL.



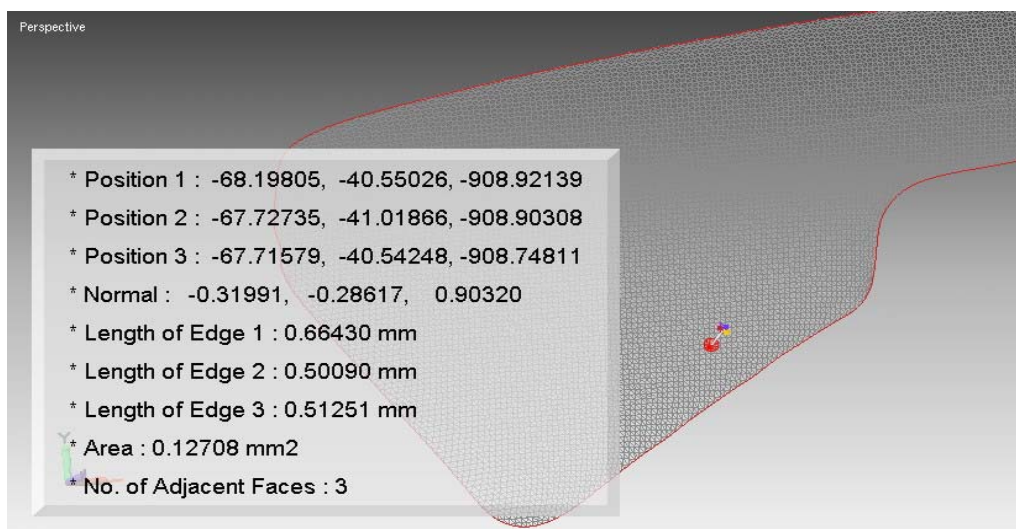
ΕΙΚΟΝΑ 4.34: BOTTOM SHELL.

Παρατηρώ ότι ο αριθμός των κορυφών και των εδρών κάθε shell εμφανίζεται μειωμένος σε σχέση με τον αντίστοιχο αριθμό των αρχικών shells. Κατ' αναλογία, οι διαστάσεις του bounding box έχουν μειωθεί, το ίδιο και το εμβαδόν της επιφάνειάς του και ο όγκος του, ενώ το κέντρο μάζας εμφανίζεται μετατοπισμένο. Όλα αυτά οφείλονται στην αφαίρεση των erroneous data και στη διαμόρφωση των ορίων των shells.

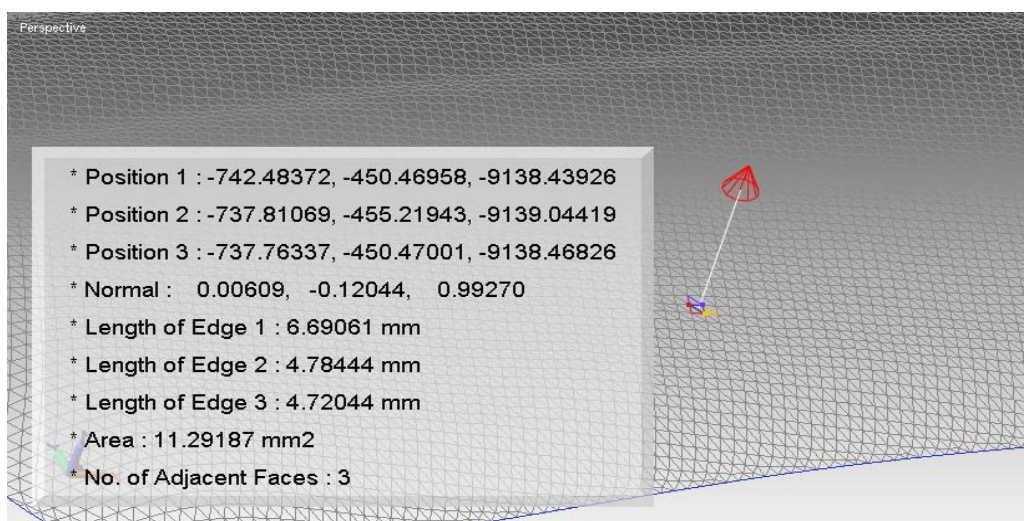
#### 4.2.1.3 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΕ WIREFRAME

Τα 6 shells απεικονίζονται σε μορφή wireframe (σκιαγραφούνται δηλαδή οι κορυφές και οι ακμές του πλέγματος). Κάθε shell εμφανίζει ιδιαίτερα καλή ποιότητα πλέγματος και επιλέγοντας τυχαία μια έδρα του, παρατηρώ ότι οι διαστάσεις της προσεγγίζουν με ικανοποιητική ακρίβεια τις διαστάσεις ενός ισοπλεύρου τριγώνου.

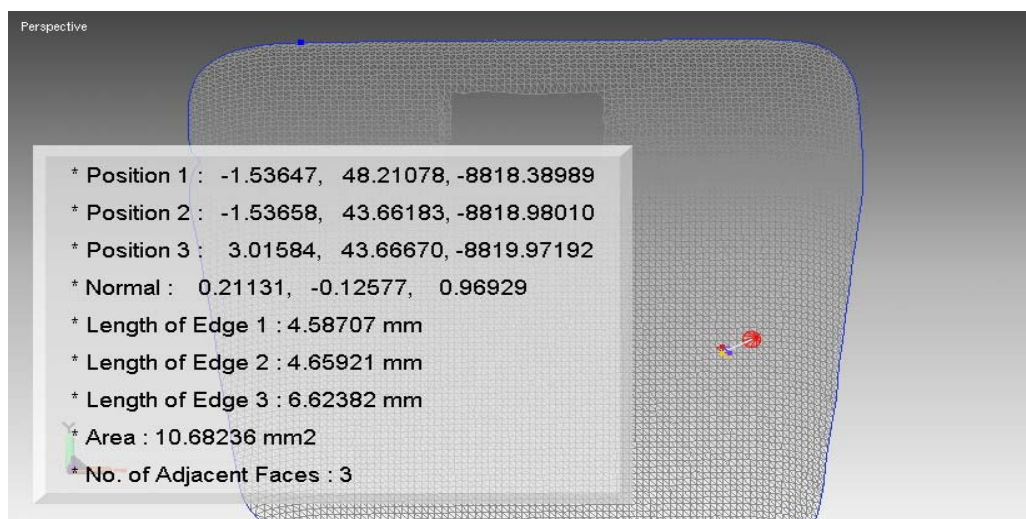
Στις εικόνες που ακολουθούν παίρνω πληροφορίες για τις συντεταγμένες των τριών κορυφών της έδρας στο χώρο (position 1, 2, 3), το κατακόρυφο κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια της έδρας (normal), τα μήκη των 3 πλευρών της, το εμβαδόν της επιφάνειας και τον αριθμό των γειτονικών εδρών της επιλεγμένης έδρας.



EIKONA 4.35: FRONT SHELL.

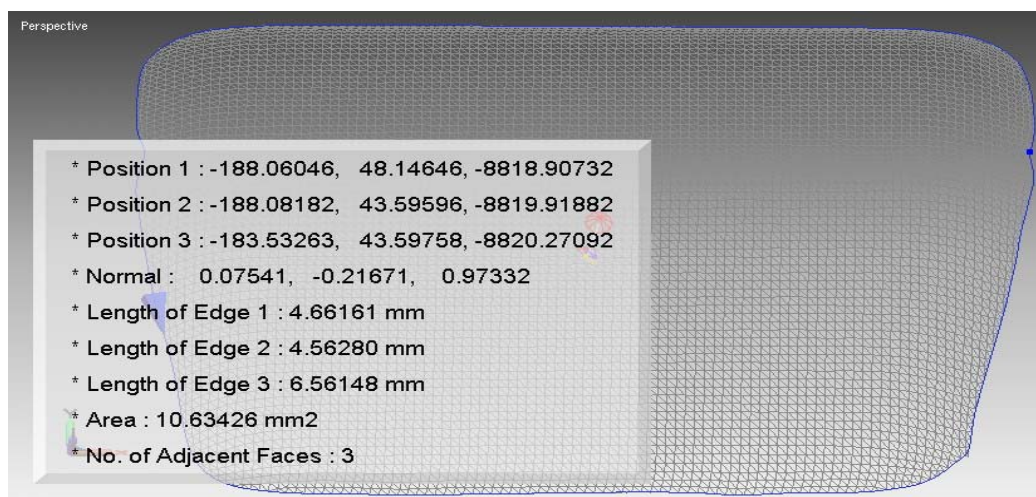


EIKONA 4.36: BACK SHELL.

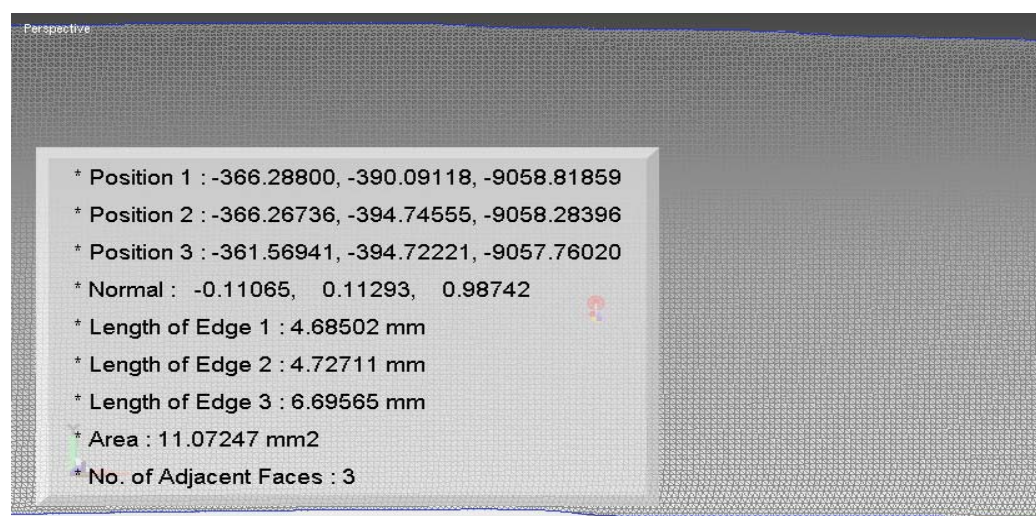


EIKONA 4.37: LEFT SHELL.

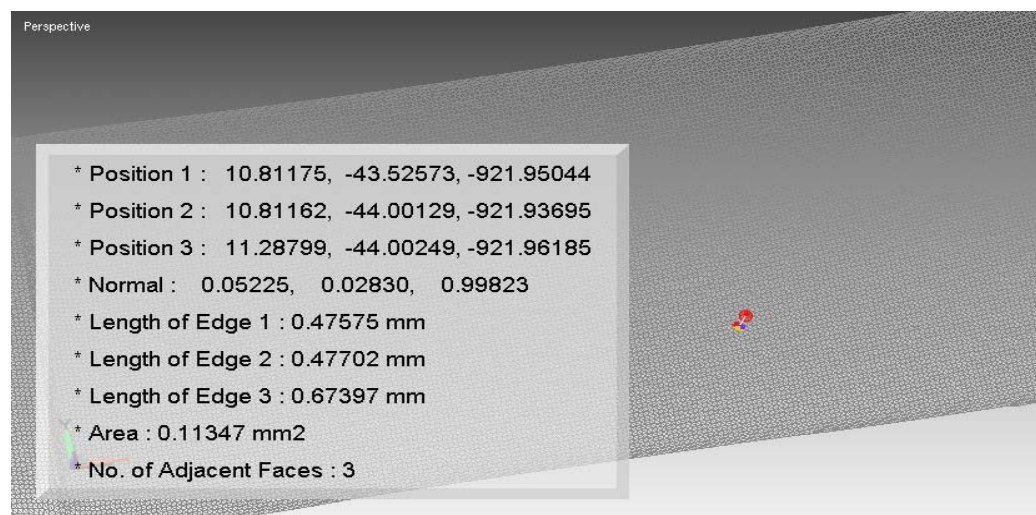




EIKONA 4.38: RIGHT SHELL.



EIKONA 4.39: TOP SHELL.



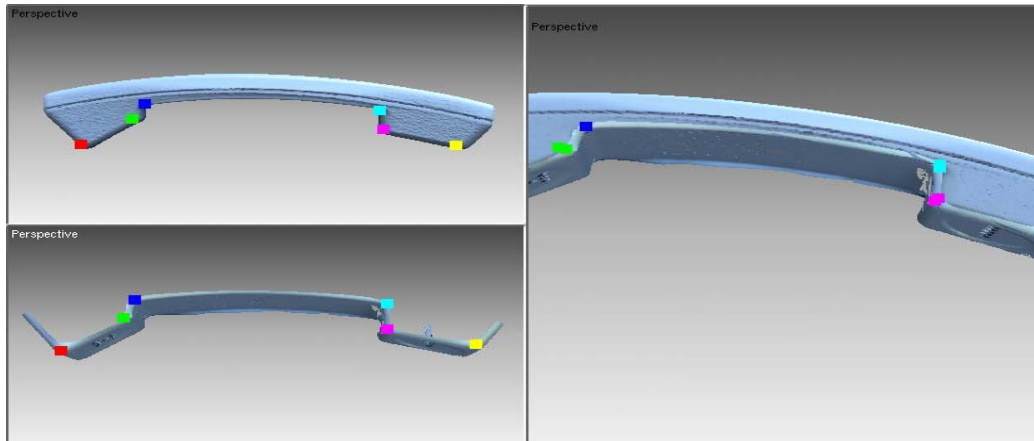
EIKONA 4.40: BOTTOM SHELL.

#### 4.2.1.4 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ 6 SHELLS ΣΕ 1 (REGISTRATION AND MERGING) .

Ευθυγραμμίζω αρχικά δύο shells (προσεγγιστικά και στη συνέχεια με ακρίβεια) και τα ενώνω σε ένα shell. Στη συνέχεια ευθυγραμμίζω το ενοποιημένο shell με ένα άλλο και τα συγχωνεύω σε ένα νέο shell. Επαναλαμβάνω τη διαδικασία μέχρι να συγχωνεύσω και τα 6 shells στο τελικό shell, το οποίο αναπαριστά τη μορφή του ακουστικού.

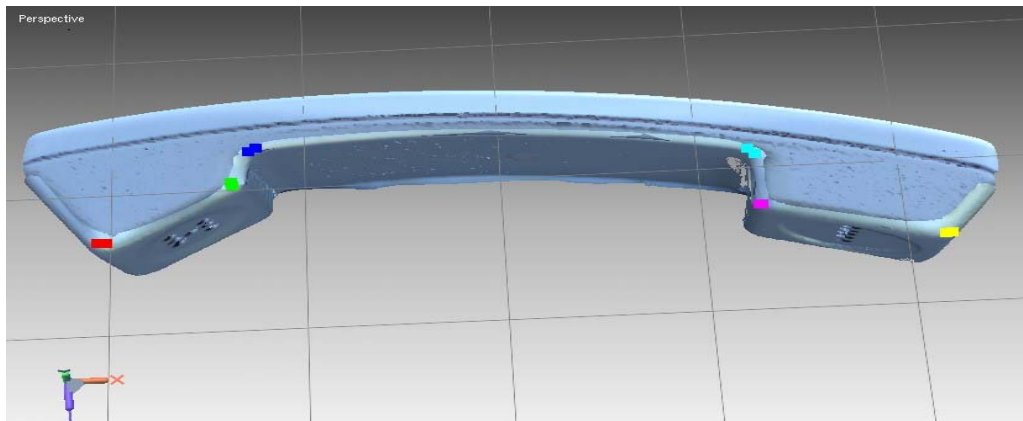
##### ➤ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΟΥ FRONT ME TO BOTTOM SHELL.

- Εκτελώ την εντολή *Build >> Register >> 2 Shells >> Initial* για την αρχική ευθυγράμμιση των δύο shells. Επιλέγω πρώτα το front shell (το οποίο και θα μετακινηθεί) και μετά το bottom (βάση της ευθυγράμμισης και παραμένει ακίνητο). Με αυτόν τον τρόπο, ευθυγραμμίζω τα shells ως προς το σύστημα συντεταγμένων του bottom shell. Στη συνέχεια επιλέγω 6 ζευγάρια αντίστοιχων σημείων στην κοινή περιοχή των δύο shells με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Στο πάνω αριστερά παράθυρο της εικόνας 4.41 εμφανίζεται το front shell, στο κάτω αριστερά το bottom shell και στο δεξιό παράθυρο γίνεται η προεπισκόπηση της ευθυγράμμισης.



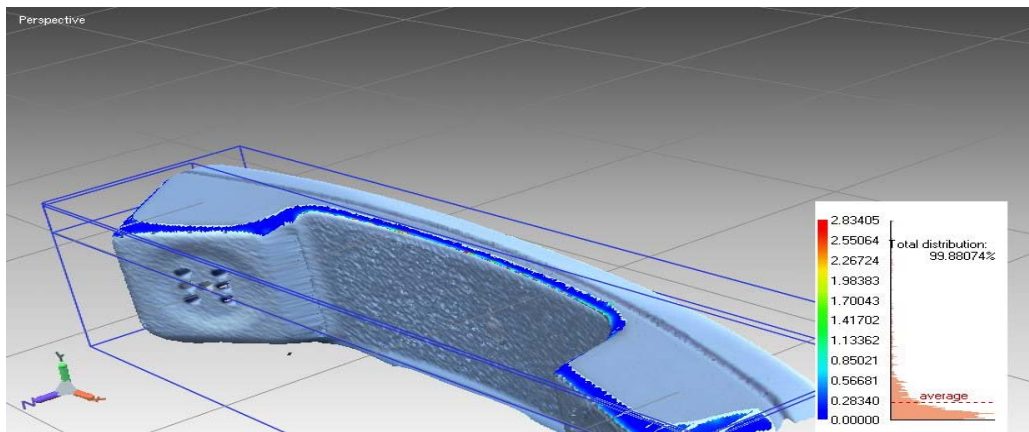
ΕΙΚΟΝΑ 4.41: ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΤΩΝ SHELLS.

Στοχεύω σε Excellent αποτέλεσμα κατά την ευθυγράμμιση και επαναλαμβάνω αρκετές φορές την επιλογή των σημείων μέχρι να το πετύχω, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



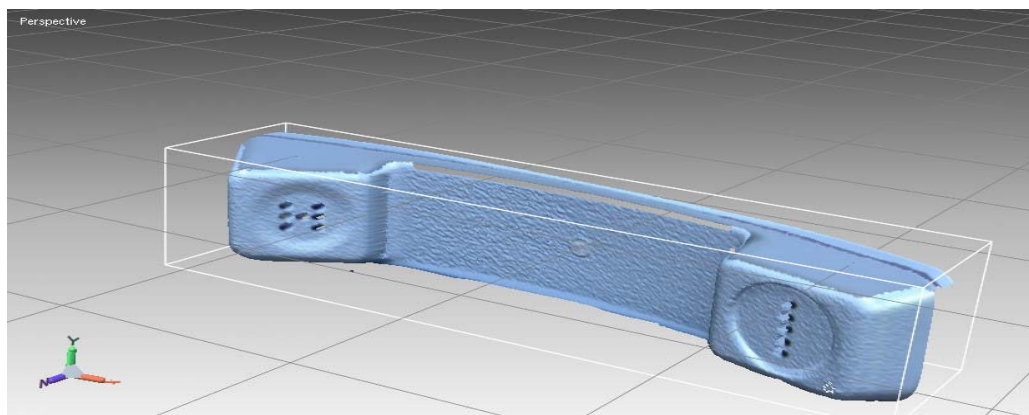
ΕΙΚΟΝΑ 4.42: ΑΡΧΙΚΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΜΕΝΟ SHELL.

- Εκτελώ την εντολή *Build >> Registration >> Fine* για τα δύο shells, ώστε να πετύχω την ακριβή τους ευθυγράμμιση. Με τη χρήση της υπολογίζεται αυτόματα η επικαλυπτόμενη περιοχή (στην εικόνα 4.43 απεικονίζεται με μπλέ σκούρο χρώμα) και τα όρια των δύο shells αναδιατάσσονται ως προς αυτή.
- Εκτελώ την εντολή *Measure >> Shell/Shell Deviation* για να ελέγξω το αποτέλεσμα του registration. Η απόκλιση ανάμεσα στα δύο shells απεικονίζεται μέσω ενός έγχρωμου χάρτη, ενώ μετακινώντας το mouse πάνω από την επικαλυπτόμενη περιοχή η απόκλιση εμφανίζεται σε real time. Ο μέσος όρος της απόκλισης ανάμεσα στα δύο shells είναι 0.28340 mm (ικανοποιητικός), επομένως δε χρειάζεται να επαναλάβω την ευθυγράμμιση.



ΕΙΚΟΝΑ 4.43: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΡΙΒΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ.

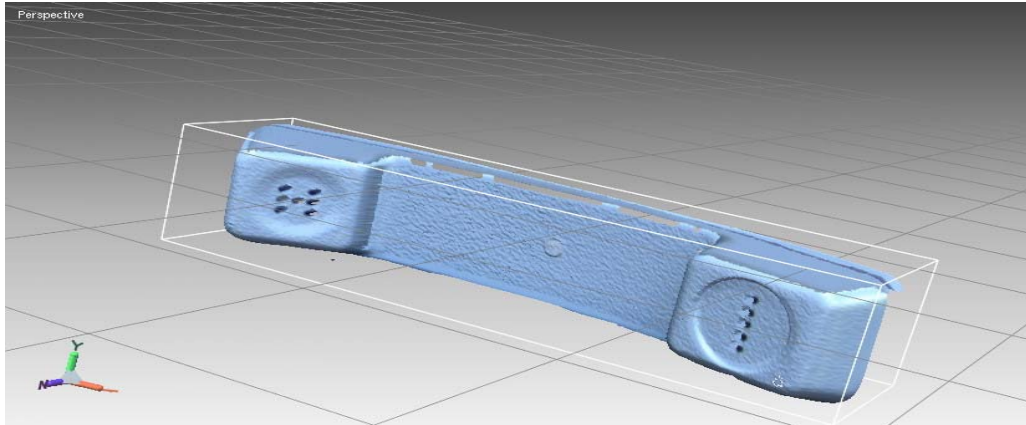
- Εκτελώ την *Build >> Merge >> Meshes >> Surface* για τη συγχώνευση των shells.



ΕΙΚΟΝΑ 4.44: ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ SURFACE MERGE.

- Παρατηρώ ότι στο συγχωνευμένο shell υπάρχει μια οπή (hole). Επαναλαμβάνω τη συγχώνευση εκτελώντας αυτή τη φορά την εντολή *Build >> Merge >> Meshes >> Volume* για να πετύχω καλύτερο αποτέλεσμα.



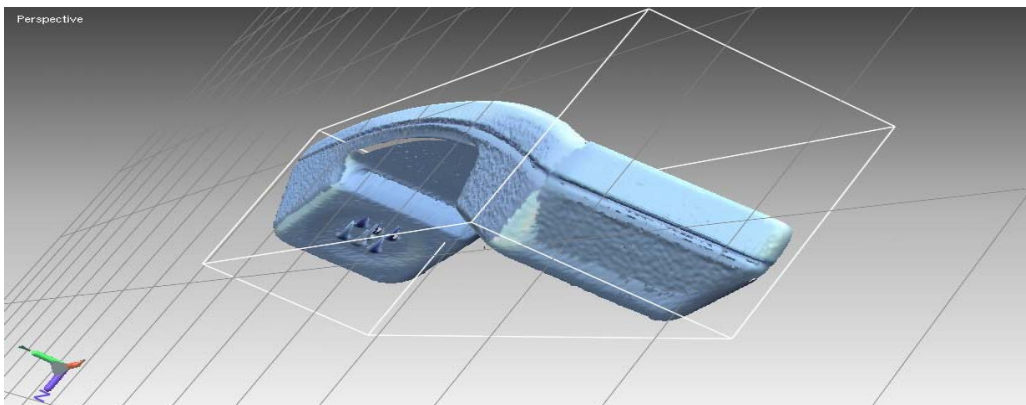


ΕΙΚΟΝΑ 4.45: ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ VOLUME MERGE.

Παρατηρώ μερική κάλυψη της οπής και μείωση του μεγέθους της συγκριτικά με τη χρήση *surface merge*. Η ύπαρξη της οπής σε αυτό το στάδιο δεν προσβάλλει την αξιοπιστία του μοντέλου καθώς το *Polygon Workbench* παρέχει λειτουργίες για την κάλυψή της. Επιλέγω να καλύψω την παραπάνω οπή, αφού ενοποιήσω όλα τα *shells* στο τελικό. Ονομάζω το ενοποιημένο *shell first merged* και εφαρμόζω ανάλογη διαδικασία για την ευθυγράμμιση και συγχώνευσή του με τα υπόλοιπα *shells*.

➤ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ RIGHT ΚΑΙ FIRST MERGED SHELLS.

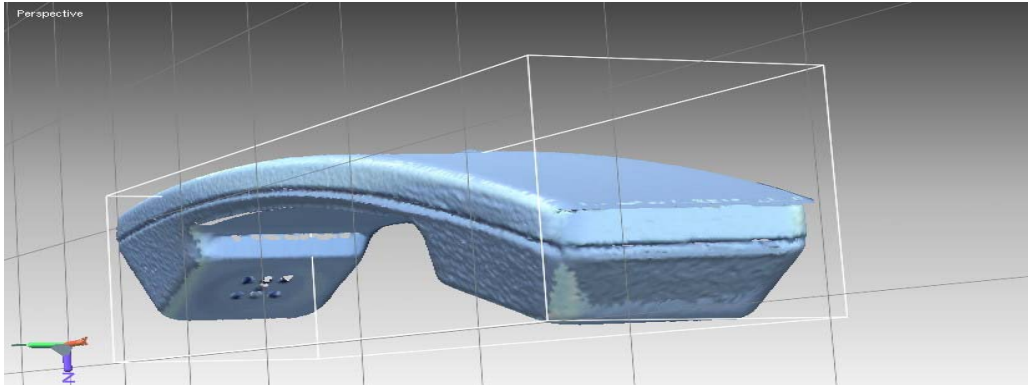
- Αρχικά τα ευθυγραμμίζω με χρήση των *Build >> Register >> 2 Shells Initial* (επιλέγοντας και πάλι 6 ζεύγη αντίστοιχων σημείων) και *Build >> Registration >> Fine* (επιλέγοντας ως βάση της ευθυγράμμισης το *first merged shell*). Στη συνέχεια με χρήση της *Build >> Merge >> Meshes >> Volume* τα ενοποιώ σε ένα *shell*, το οποίο ονομάζω *second merged shell*.



ΕΙΚΟΝΑ 4.46: ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ RIGHT ΚΑΙ FIRST MERGED.

➤ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ TOP ΚΑΙ SECOND MERGED SHELLS.

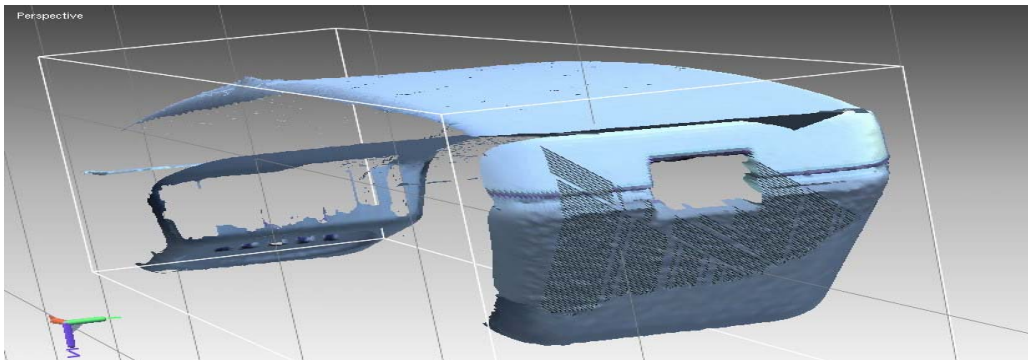
Με την ίδια αλληλουχία εντολών επιλέγω ως βάση ευθυγράμμισης το *second merged shell* και τα ενοποιώ στο *third merged shell*.



ΕΙΚΟΝΑ 4.47: TO THIRD MERGED SHELL.

➤ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ LEFT ΚΑΙ THIRD MERGED SHELLS.

Εφαρμόζω τις ίδιες εντολές με την ίδια σειρά. Επιλέγω ως βάση ευθυγράμμισης το third merged shell και τα ενοποιώ στο fourth merged shell.

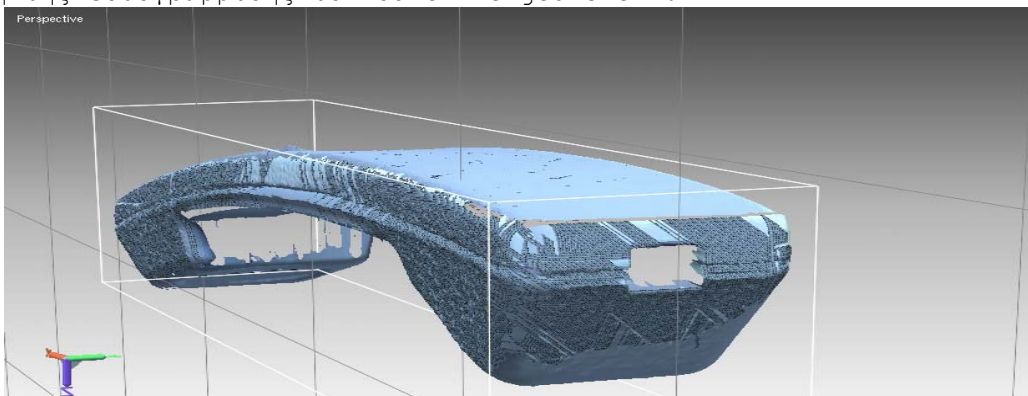


ΕΙΚΟΝΑ 4.48: TO FOURTH MERGED SHELL.

Η γκρίζα περιοχή οφείλεται στην απόδοση ακατάλληλης textured υφής από το Rapidform κατά τη συγχώνευση, κάτι το οποίο διορθώνεται εύκολα μέσω της επιλογής Change Material στο Polygon Workbench.

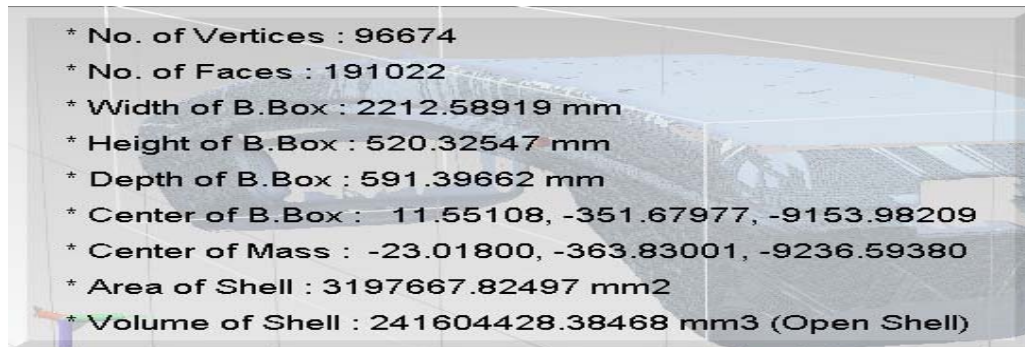
➤ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ BOTTOM ΚΑΙ FOURTH MERGED SHELLS.

Καταλήγω στο τελικό ενοποιημένο μοντέλο της εικόνας 4.49, επιλέγοντας ως βάση της ευθυγράμμισης το fourth merged shell.



ΕΙΚΟΝΑ 4.49: TO ΤΕΛΙΚΟ SHELL.

Και σε αυτή την περίπτωση έγινε προσθήκη λανθασμένης textured υφής στα data (γκρί περιοχές). Με χρήση της Information >> Shell, εμφανίζονται πληροφορίες για τον αριθμό των κορυφών και των εδρών του shell καθώς και για τις διαστάσεις του bounding box.

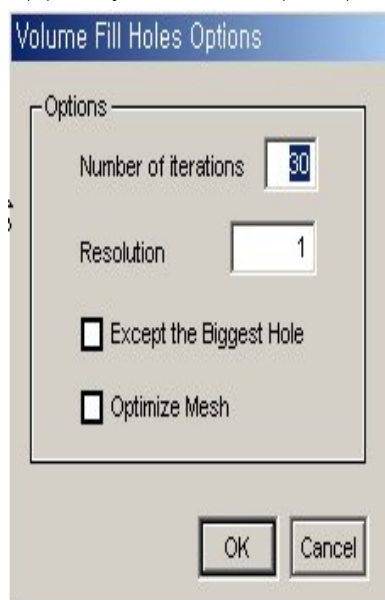


ΕΙΚΟΝΑ 4.50: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΤΕΛΙΚΟ SHELL.

## 4.2.2 POLYGON WORKBENCH

### 4.2.2.1 ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΟΠΩΝ (FILL HOLES)

Το τελικό shell έχει αρκετές οπές, τις οποίες θα συμπληρώσω εκτελώντας την εντολή Tool >> Fill Holes >> Volume. Η λειτουργία αυτή δημιουργεί ένα νέο άρτιο shell χρησιμοποιώντας μια μέθοδο κατασκευής ενός voxel μοντέλου αναφοράς, βασισμένο στα χαρακτηριστικά του original shell, και στη συνέχεια συμπληρώνει τις οπές προεκτείνοντας τα όρια των holes. Voxel μοντέλο είναι ένα τρισδιάστατο δικτυωτό πλέγμα με ομοιόμορφο μέγεθος εσωτερικά. Επιλέγωντας την εντολή και το τελικό shell, εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου της εικόνας 4.51.

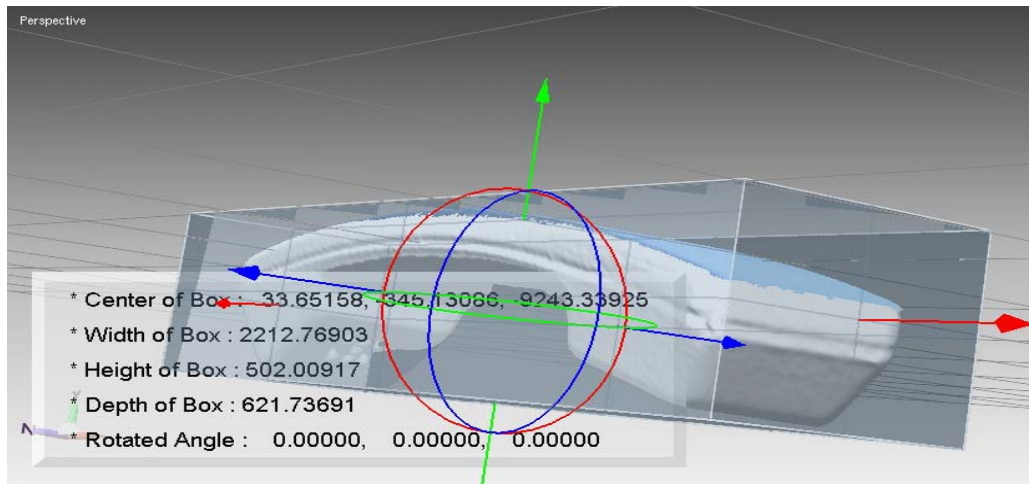


ΕΙΚΟΝΑ 4.51: VOLUME MENU.

Με την επιλογή Number of Iterations καθορίζω το βάθος στο οποίο θα επεκτείνω τα όρια του shell, ενώ το Resolution είναι μια σταθερά αναλογίας του μέσου όρου μήκους κάθε τριγωνικής πλευράς. Αν πάρει τιμές μεγαλύτερες του 1, το μέσο μήκος των πλευρών των τριγώνων που θα προστεθούν στις κενές περιοχές θα είναι μεγαλύτερο του μέσου μήκους των ήδη υπάρχοντων πλευρών των τριγώνων και το αντίστροφο για τιμές του μικρότερες της μονάδας. Επομένως, το επιλέγω ίσο με 1.

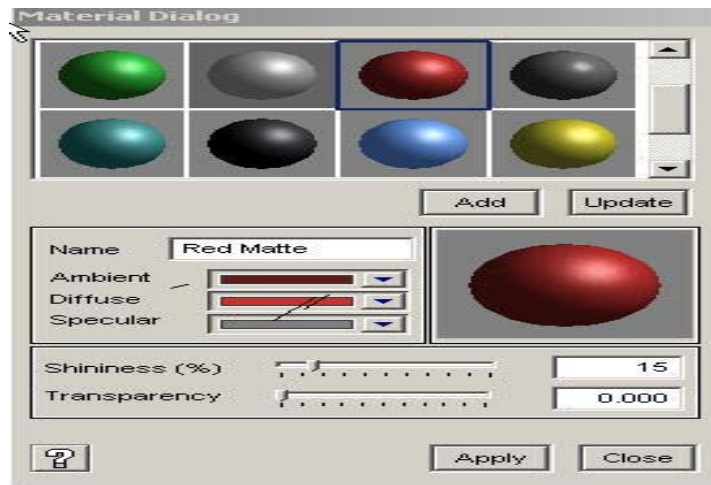
Επειδή θέλω να συμπληρώσω όλες τις οπές δεν κάνω χρήση της επιλογής Except the Biggest Hole, η οποία θα άφηνε ακάλυπτη τη μεγαλύτερη οπή και επίσης δεν επιλέγω το Optimize Mesh γιατί αν και θεωρητικά ομαλοποιεί το πλέγμα, συνήθως οδηγεί σε κατάρρευση του συστήματος.

Κανοντας χρήση του virtual trackball καθορίζω τα όρια επέκτασης του shell. Τοποθετώντας τον στο κέντρο του επιλεγμένου shell, περιορίζω την επέκταση των ορίων των holes εντός του bounding box.



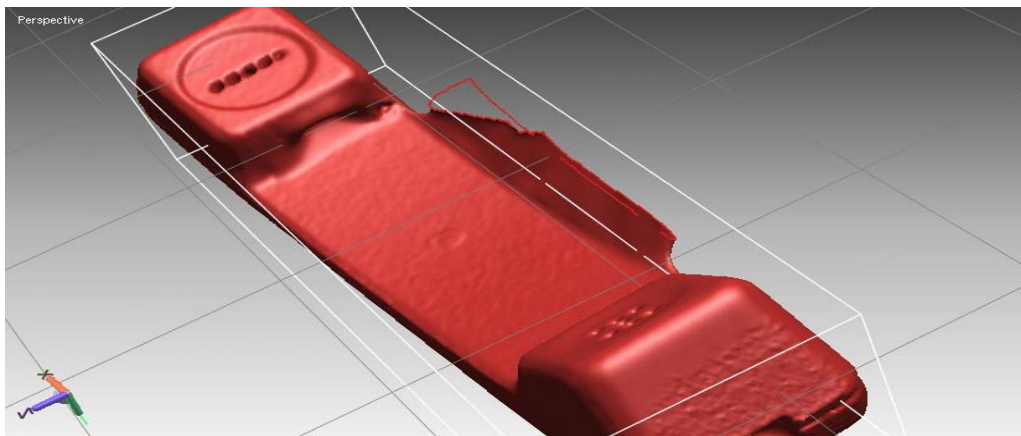
ΕΙΚΟΝΑ 4.52: ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ VIRTUAL TRACKBALL ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ BOX.

Με RMB στο Project Tree Window επιλέγω την εντολή Change Material και στο παράθυρο διαλόγου της εικόνας 4.53 επιλέγω το Red Matte. Με αυτόν τον τρόπο χρωματίζω κόκκινο το shell.



ΕΙΚΟΝΑ 4.53: CHANGE MATERIAL MENU.

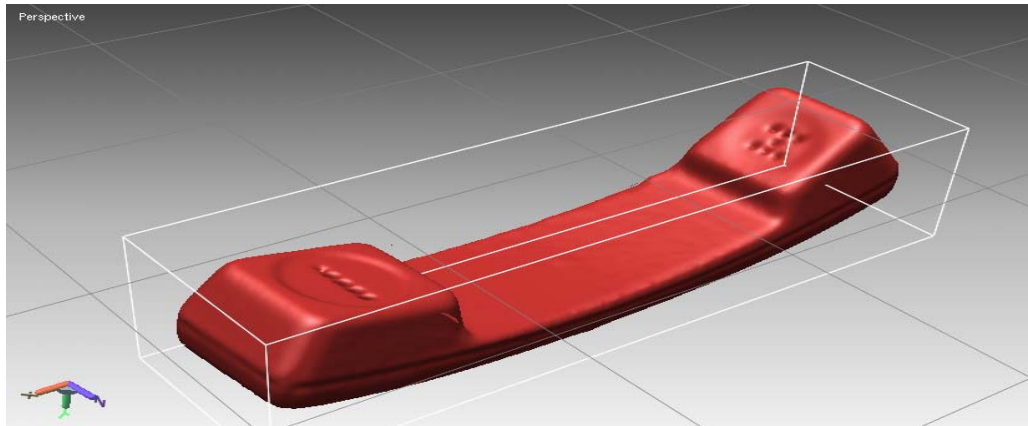
Το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην εικόνα 4.54.



ΕΙΚΟΝΑ 4.54: VOLUME HOLE FILLING ME NUMBER OF ITERATIONS = 30.

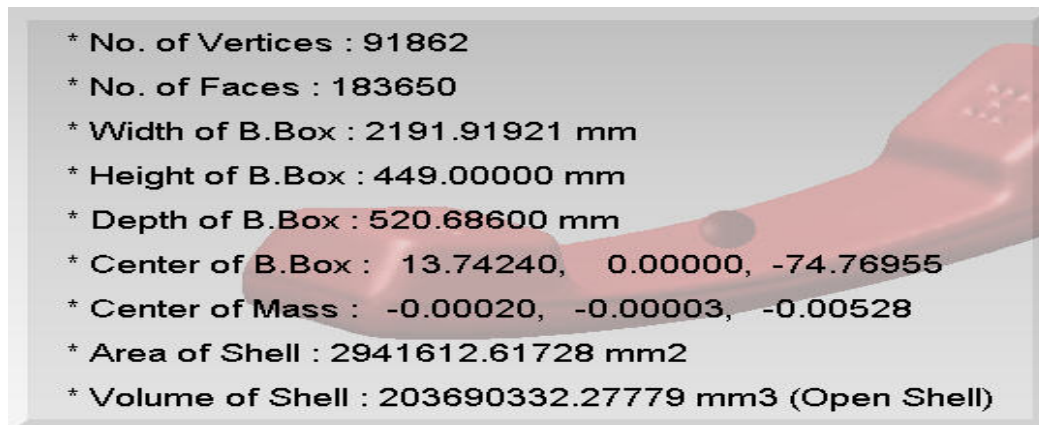


Παρατηρώ την προσθήκη ανεπιθύμητου υλικού στη bottom side του τελικού shell, η οποία οφείλεται σε λανθασμένη επιλογή του Number of Iterations. Τα όρια των πρόσθετων εδρών σημειώνονται με την κόκκινη γραμμή. Επειδή η αφαίρεση των ανεπιθύμητων εδρών δε μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς την αφαίρεση και σωστών εδρών του shell, επαναλαμβάνω την εντολή μειώνοντας τον αριθμό των επαναλήψεων. Στόχος είναι η ακριβής κάλυψη της οπής χωρίς την προσθήκη επιπλέον faces. Ύστερα από αρκετές δοκιμές, εισάγοντας το 20 στον αριθμό των επαναλήψεων, καταλήγω στο επιθυμητό αποτέλεσμα.



ΕΙΚΟΝΑ 4.55: VOLUME HOLE FILLING ME NUMBER OF ITERATIONS = 20.

Εφαρμόζοντας την εντολή *Information >> Shell* για το τελικό shell, παίρνω πληροφορίες για τον αριθμό των κορυφών, των εδρών και τις διαστάσεις του bounding box.

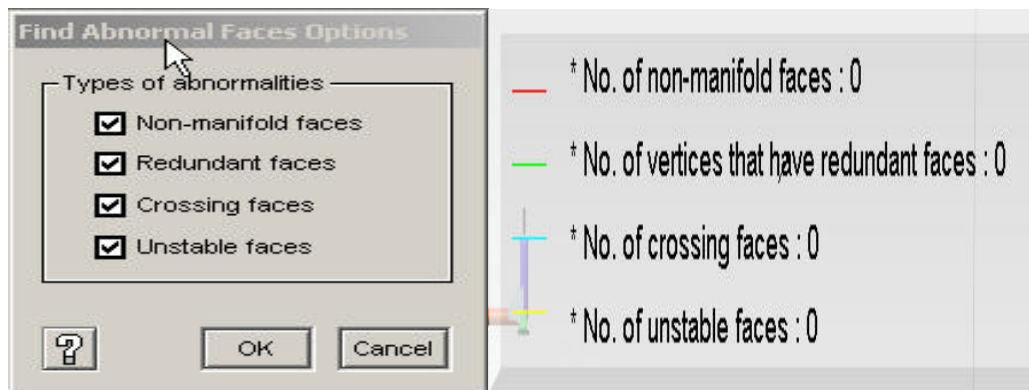


ΕΙΚΟΝΑ 4.56: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΤΕΛΙΚΟ SHELL.

Η κάλυψη των οπών με χρήση της εντολής *Tool >> Fill Holes >> Surface* αδυνατεί να δώσει έγκυρα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο μοντέλο.

#### 4.2.2.2 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ (CLEAN)

Εκτελώ την εντολή *Clean >> Find Abnormal Faces* για τον εντοπισμό μη φυσιολογικών εδρών στο shell (non-manifold, redundant, crossing faces), οι οποίες πιθανόν να δημιουργήθηκαν κατά την εφαρμογή του Volume Hole Filling. Στην εικόνα 4.57 εμφανίζονται το παράθυρο διαλόγου και το τελικό αποτέλεσμα του ελέγχου.



ΕΙΚΟΝΑ 4.57: MENU ABNORMAL FACES ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.

Παρατηρώ ότι το τελικό μοντέλο είναι απαλλαγμένο από abnormal faces και δε χρειάζεται καθαρισμό.

#### 4.2.2.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ (OPTIMISATION)

##### • REMESH

Εκτελώ την εντολή *Tool >> Remesh Global* για τη βελτίωση της ποιότητας του τριγωνοποιημένου πλέγματος με εφαρμογή νεάς τριγωνοποίησης. Επιλέγω απεικόνιση shaded with edges του shell της εικόνας 4.55, ώστε να συγκρίνω την ποιότητα του πλέγματος πριν και μετά την εφαρμογή της εντολής. Το shell πριν και μετά την εφαρμογή της remesh εμφανίζεται στην εικόνα 4.58 με αυτή τη σειρά.



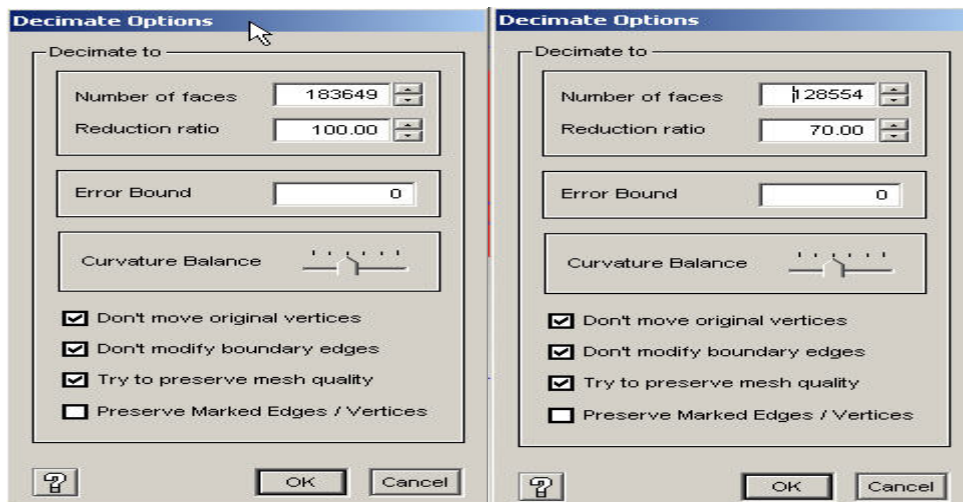
ΕΙΚΟΝΑ 4.58: ΤΟ SHELL ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ REMESH.



Παρατηρώ αύξηση στον αριθμό των κορυφών και των εδρών του shell και τη δημιουργία πλέγματος ελαφρώς χειρότερης ποιότητας (πολλαπλασιασμός των δινών), οπότε και εγκαταλείπω την εντολή.

#### • DECIMATE

Εκτελώ την εντολή *Tool >> Decimate >> High Quality* ώστε να βελτιώσω την ποιότητα του πλέγματος με μείωση του αριθμού εδρών του shell. Ακολουθούν τα μενού διαλόγου πριν και μετά την εφαρμογή της εντολής (αριστερά και δεξιά αντίστοιχα).



ΕΙΚΟΝΑ 4.59: ΑΡΧΙΚΟ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΟ ΜΕΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ DECIMATE.

Στο αρχικό menu εμφανίζεται ο αριθμός των εδρών του shell πριν τη μείωση (Number of Faces = 183649 και Reduction Ratio = 100%). Στο τελικό menu επιθυμούμε μείωση του αριθμού των εδρών κατά 30%, οπότε επιλέγουμε Reduction Ratio = 70% (το ποσοστό των εδρών το οποίο επιθυμούμε να διατηρήσουμε κατά την εφαρμογή της εντολής συγκριτικά με τις συνολικές έδρες). Το Number of Faces μειώνεται αυτόματα σε 128554. Θέτω μηδενική τιμή στο Error Bound για την απόκλιση των κορυφών κατά την εφαρμογή της εντολής. Επιλέγω Do not move original vertices, ώστε να διατηρήσω τις θέσεις των κορυφών που θα απομείνουν και Do not modify boundary vertices, ώστε να διατηρήσω τη θέση των οριακών κορυφών. Τέλος, με τη επιλογή Try to preserve mesh quality προσπαθώ να διατηρήσω την ποιότητα του πλέγματος στο βαθμό που κάτι τέτοιο είναι δυνατό. Το shell που προκύπτει εμφανίζεται στην εικόνα 4.60.

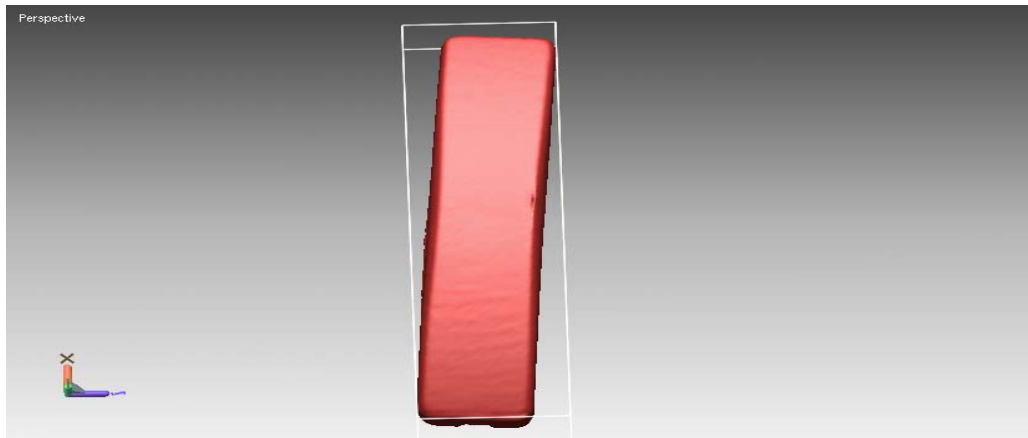


ΕΙΚΟΝΑ 4.60: ΤΟ SHELL ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ DECIMATE.

Παρατηρώ αλλοίωση της ομοιόμορφης δομής του πλέγματος, επομένως δε δοκιμάζω μείωση του αριθμού των faces σε ποσοστό μεγαλύτερο του 30% (γιατί θα προκύψουν χειρότερα αποτελέσματα). Επιλέγοντας μείωση κατά 10% ή 20% παίρνω επίσης ανομοιόμορφα δομημένο πλέγμα, οπότε εγκαταλείπω την εφαρμογή της εντολής.

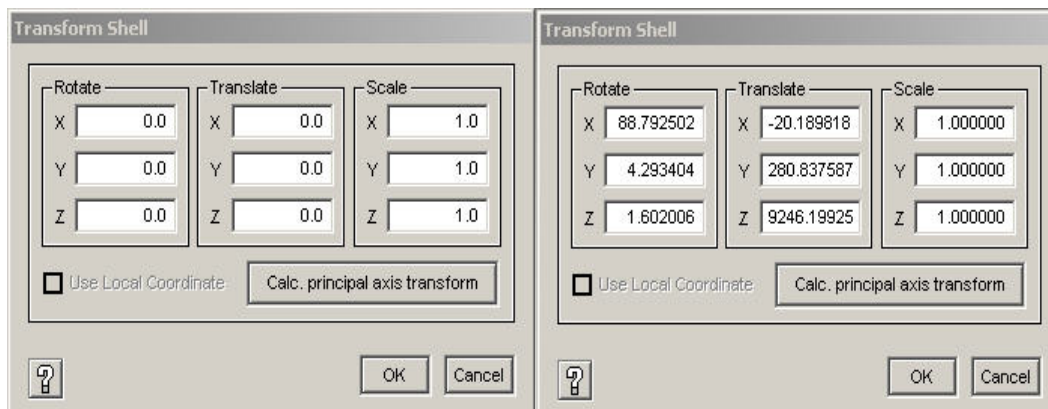
#### 4.2.2.4 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ (TRANSFORMATION)

Στο τέλος της εφαρμογής οι επιφάνειες, οι οποίες θα παραχθούν στο Rapidform, θα εξαχθούν στο Pro-E (Wildfire). Καθώς δεν επιθυμούμε ούτε να αιωρούνται στο workspace window, ούτε να έχουν περιστραφεί αναφορικά στις datum planes και να εμφανίζονται μακριά από το σύστημα συντεταγμένων, επαναπροσανατολίζουμε το μοντέλο πριν την περαιτέρω επεξεργασία του. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούμε είναι τα rotation (για περιστροφή), translation (για μετακίνηση) και scale (για αλλαγή των διαστάσεων). Ωστόσο, επιλέγοντας την *Edit >> Transform >> Shell >> Calc. Princ. Axis* μπορούμε να μετασχηματίσουμε το μοντέλο με βάση τον κύριο άξονα του bounding box. Με αυτόν τον τρόπο το κέντρο μάζας του μοντέλου μετακινείται στο σημείο μηδέν και το bounding box αποκτά τον μικρότερο δυνατό όγκο.



ΕΙΚΟΝΑ 4.61: ΤΟ SHELL ΠΡΙΝ ΤΟΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ.

Εμφανίζεται το αρχικό menu διαλόγου της εικόνας 4.62 (αριστερά) και επιλέγοντας το Calc. Princ. Axis Transform έχουμε το τελικό menu (δεξιά).



ΕΙΚΟΝΑ 4.62: MENU ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ.

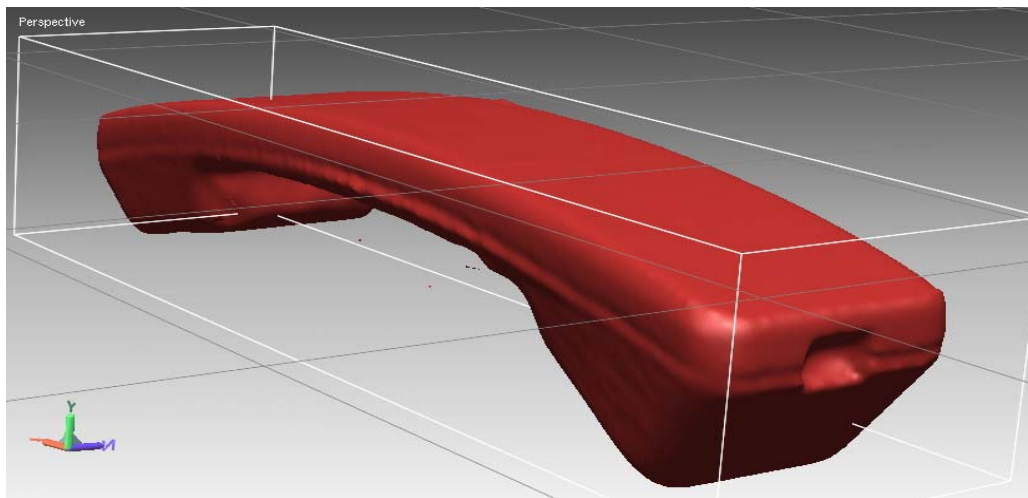
Με Calc. Principal axis Transform, το μοντέλο μετασχηματίζεται αφού πρώτα υπολογιστεί ο κύριος άξονάς του ως προς το bounding box. Με αυτόν τον τρόπο, το Rapidform υπολογίζει αυτόματα τις περιστροφές και τις μετατοπίσεις που απαιτούνται ως προς τους τρεις άξονες για την προσαρμογή του μοντέλου στο κέντρο του bounding box. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



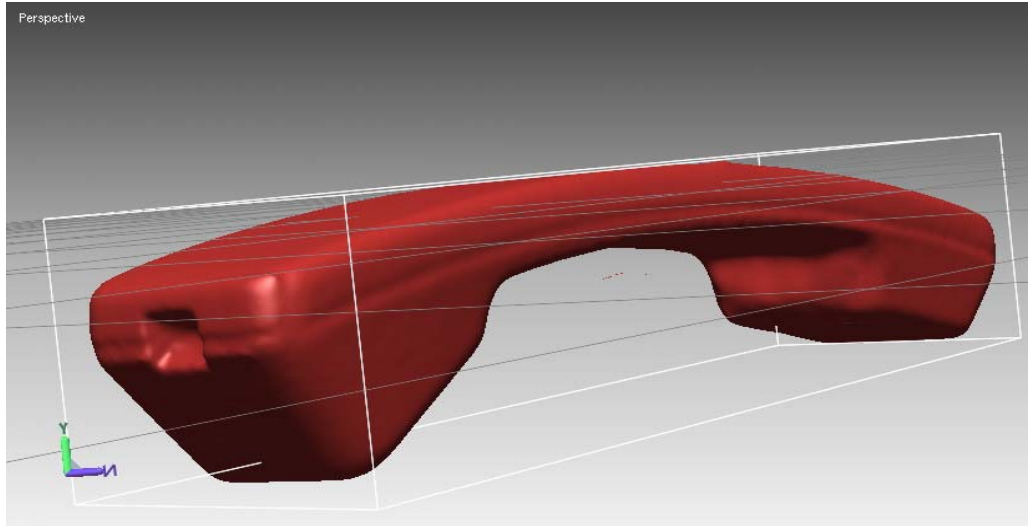
ΕΙΚΟΝΑ 4.63: ΤΟ SHELL ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ.

#### 4.2.2.5: ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΤΟΠΤΡΙΣΜΟΣ (DIVIDE & MIRROR)

Παρατηρώντας την back side του αντικειμένου εντοπίζω ατέλειες (εξογκώματα κατά μήκος της), ενώ η front side εμφανίζεται τέλεια.



ΕΙΚΟΝΑ 4.64: ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ BACK SIDE.

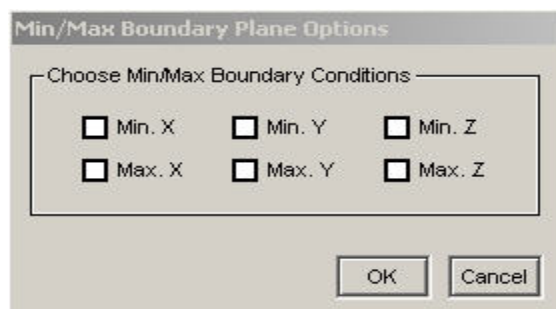


ΕΙΚΟΝΑ 4.65: FRONT SIDE TOY SHELL.

Για το λόγο αυτό θα διαιρέσω το μοντέλο σε δύο συμμετρικά τμήματα ως προς τον άξονα Y, θα αφαιρέσω το ελαττωματικό part (προς την πλευρά της back side) και θα αντιγράψω το τέλειο part (προς την πλευρά της front side) με τον εαυτό του προκειμένου να δημιουργήσω ένα τέλειο, συμμετρικό αντικείμενο. Η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας είναι εφικτή με την προϋπόθεση ότι το μισό τμήμα του shell είναι τέλειο.

Η εντολή Divide επιτρέπει τον τεμαχισμό (slice) ενός μοντέλου κάνοντας χρήση ενός επίπεδου αναφοράς. Κατά την εφαρμογή της επιλέγοντας Mirror μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα αντίγραφο του τεμαχισμένου μοντέλου. Αντιστρέφοντας το αντίγραφο (ώστε να έχει αντίθετη διεύθυνση ως προς το αρχικό πλάνο αναφοράς) και ενώνοντας το με το μη αντεστραμμένο αντίγραφο δημιουργώ ένα συμμετρικό μοντέλο.

Η διαίρεση θα γίνει κατά μήκος του Y άξονα, επομένως πρέπει να δημιουργήσω δύο planes (επίπεδα αναφοράς) εφαιπόμενα του bounding box κατά την Y διεύθυνση. Ο απλούστερος τρόπος είναι μέσω της *Reference Geometry >> Create >> Plane >> At min/max Boundary with X, Y, Z Axis* επιλέγοντας στο menu διαλόγου τις -Y, +Y.

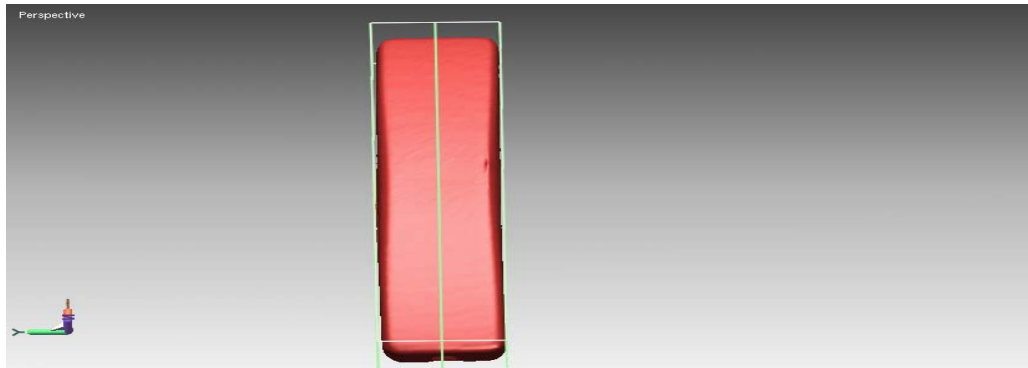


ΕΙΚΟΝΑ 4.66: Min / Max Boundary Plane Options.

Υπολογίζοντας την απόσταση ανάμεσα στις -Y και +Y planes (499.9992 mm) δημιουργώ μια νέα plane στο κέντρο των δύο, η οποία χωρίζει το μοντέλο σε δύο συμμετρικά τμήματα κατά τη διεύθυνση του Y επιπέδου.

Η νέα plane δημιουργείται από προέκταση με την εντολή *Reference Geometry >> Create >> Plane >> Offset*. Επιλέγω την -Y, ή Y ως βάση αναφοράς από την οποία θα δημιουργήσω την νέα plane και θέτω ως απόσταση 244.49996 mm

( $=499.9992/2$ ) ή  $-244.49996$  mm αντίστοιχα. Οι planes που δημιουργήθηκαν σημειώνονται με έντονο πράσινο χρώμα στην 4.67.



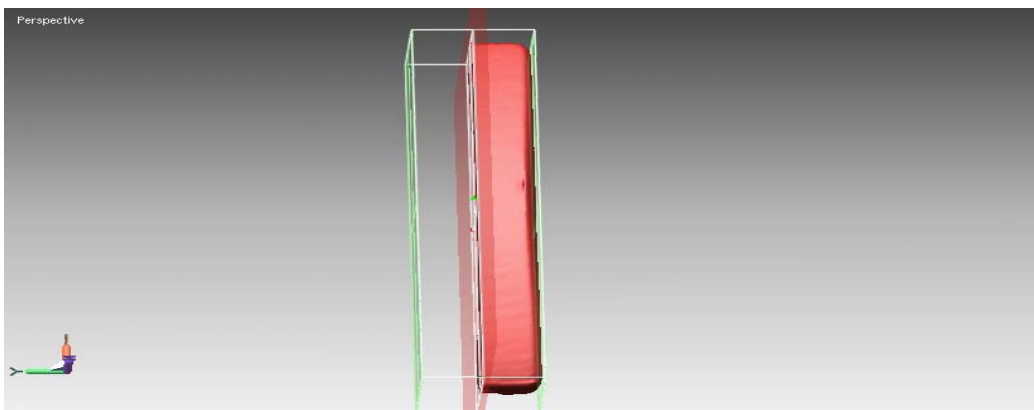
ΕΙΚΟΝΑ 4.67: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ OFFSET PLANE ΑΠΟ ΤΙΣ -Y, +Y PLANES.

Επιλέγω την εντολή *Tool >> Divide >> Mirror* και εμφανίζεται η εικόνα 4.68 (με ανοιχτό κόκκινο χρώμα απεικονίζεται το default επίπεδο της διαίρεσης).



ΕΙΚΟΝΑ 4.68: ΤΟ DEFAULT ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΔΙΑΙΡΕΣΗΣ.

Στο RMB menu επιλέγω *Pick Reference Plane* για να δημιουργήσω το κατάλληλο επίπεδο αναφοράς, ως προς το οποίο θα διαιρέσω και θα αντικατοπτρίσω το επιλεγμένο part. Επιλέγω την offset plane ως reference plane για την διαίρεση και έχω την εικόνα 4.69 και το νέο menu της εικόνας 4.70.



ΕΙΚΟΝΑ 4.69: ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΔΙΑΙΡΕΣΗΣ (OFFSET PLANE).



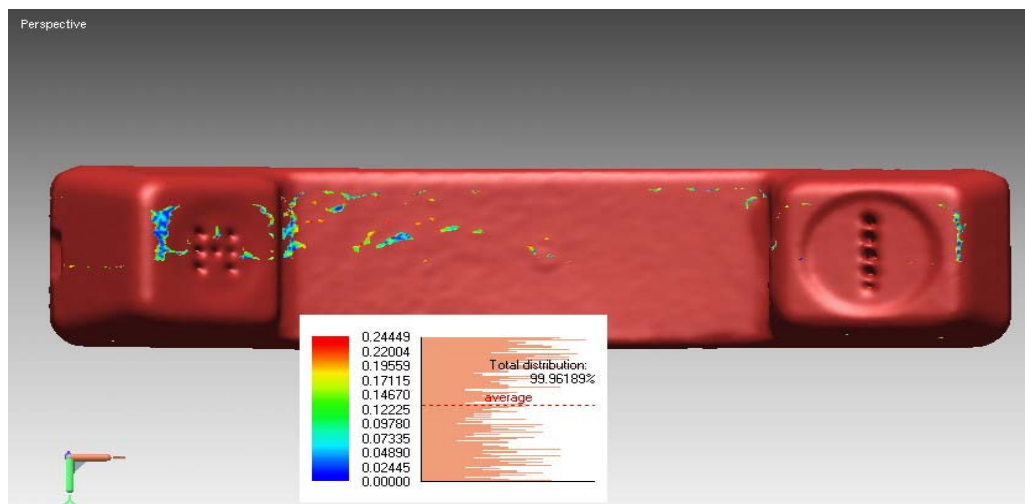
ΕΙΚΟΝΑ 4.70: DIVIDE MENU.

Το τελικό shell που διαμορφώνεται με την παραπάνω εντολή εμφανίζεται στην εικόνα 4.71.



ΕΙΚΟΝΑ 4.71: ΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ SHELL.

Ελέγχω την απόκλιση του κατοπτρισμένου μοντέλου από το αρχικό με χρήση της *Analyze >> Shell to Shell Deviation*. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



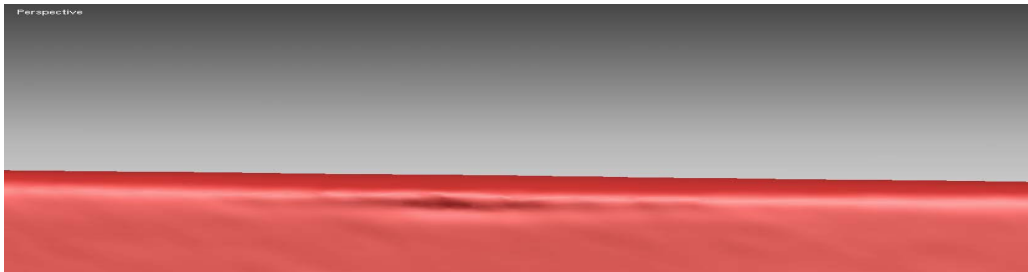
ΕΙΚΟΝΑ 4.72: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ MIRRORED SHELL.



Ο μέσος όρος της απόκλισης ανάμεσα στα δύο shells κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα (μεταξύ 0.12225 έως 0.14670 mm) και επιπλέον απόκλιση εμφανίζεται σε ιδιαίτερα μικρό εύρος περιοχών **μόνο** στην bottom side του μοντέλου. Το αποτέλεσμα λοιπόν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο και αποδέχομαι το mirrored μοντέλο.

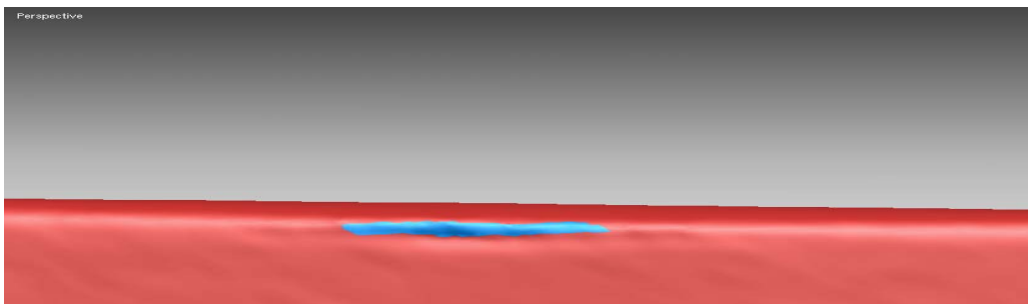
#### 4.2.2.6 ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ (SMOOTH)

Εκτελώ την εντολή *Tool >> Smooth >> Region*, ώστε να μειώσω την τραχύτητα σε ορισμένες περιοχές της επιφάνειας, όπως σε αυτή της εικόνας 4.73.

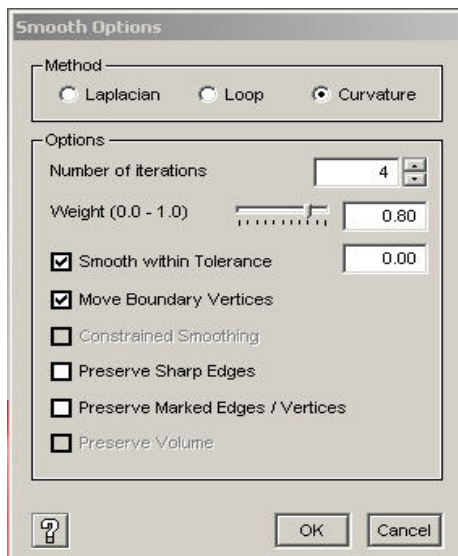


ΕΙΚΟΝΑ 4.73: ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.

Επιλέγω με ακρίβεια την περιοχή στην οποία θα εφαρμόσω την εξομάλυνση (γαλάζιο χρώμα στην εικόνα 4.74). Εκτελώ την εντολή *Select Faces* προσέχοντας να έχω απενεργοποιησει την επιλογή *Select Through*, ώστε να επιλέξω μόνο την ορατή περιοχή (*Visible Only*).



ΕΙΚΟΝΑ 4.74: ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΡΩΝ ΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΘΑ ΕΞΟΜΑΛΥΝΩ.

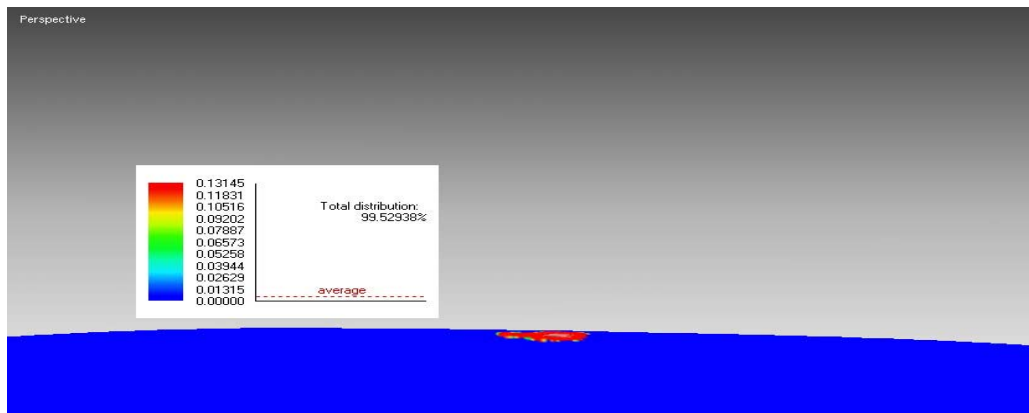


ΕΙΚΟΝΑ 4.75: SMOOTH MENU

Στο RMB menu που εμφανίζεται επιλέγω *Curvature method* (όπως ανέφερα στην 3.3 είναι ο μοναδικός αξιόπιστος αλγόριθμος από τους τρεις για την εφαρμογή της εξομάλυνσης). Επειδή η τραχύτητα των επιφανειών είναι αρκετά μεγάλη, αυξάνω το *Weight* (βάρος) σε 0.80 και μειώνω το *Number Of Iterations* (αριθμός επαναλήψεων) σε 4. Επιλέγω μηδενικό επιτρεπτό εύρος μετακίνησης των vertices κατά την εφαρμογή του smooth και μετακίνηση των οριακών κορυφών. Ακόμη όμως και με χρήση της *Curvature method* απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή της εξομάλυνσης, καθώς με αύξηση του αριθμού των επαναλήψεων είναι σχεδόν βέβαιο ότι το μοντέλο θα παραμορφωθεί και θα χάσω σε ακρίβεια και λεπτομέρεια.

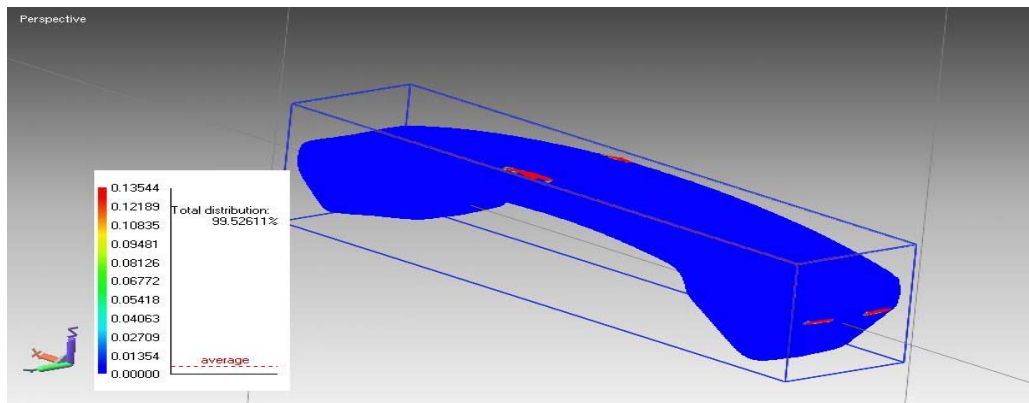
Για το λόγο αυτό πριν εφαρμόσω την εντολή *Tool >> Smooth >> Region* δημιουργώ ένα αντίγραφο του shell στο project tree window, το οποίο και συγκρίνω με το shell το οποίο έχει υποστεί την εξομάλυνση (με χρήση της *Analyze >> Shell To Shell Deviation*). Αν η απόκλιση ανάμεσα στα δύο shells δεν είναι ικανοποιητική, διαγράφω το τροποποιημένο shell και επαναλαμβάνω τη διαδικασία.

Για την περιοχή στην οποία εφάρμοσα την εξομάλυνση, το αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό καθώς ο μέσος όρος απόκλισης είναι πολύ κοντά στο μηδέν.



ΕΙΚΟΝΑ 4.76: ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΚΟΡΥΦΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ.

Επαναλαμβάνω την εντολή για τις περιοχές του shell στις οποίες εμφανίζεται τραχύτητα (4 συνολικά) και ελέγχω την αξιοπιστία του.



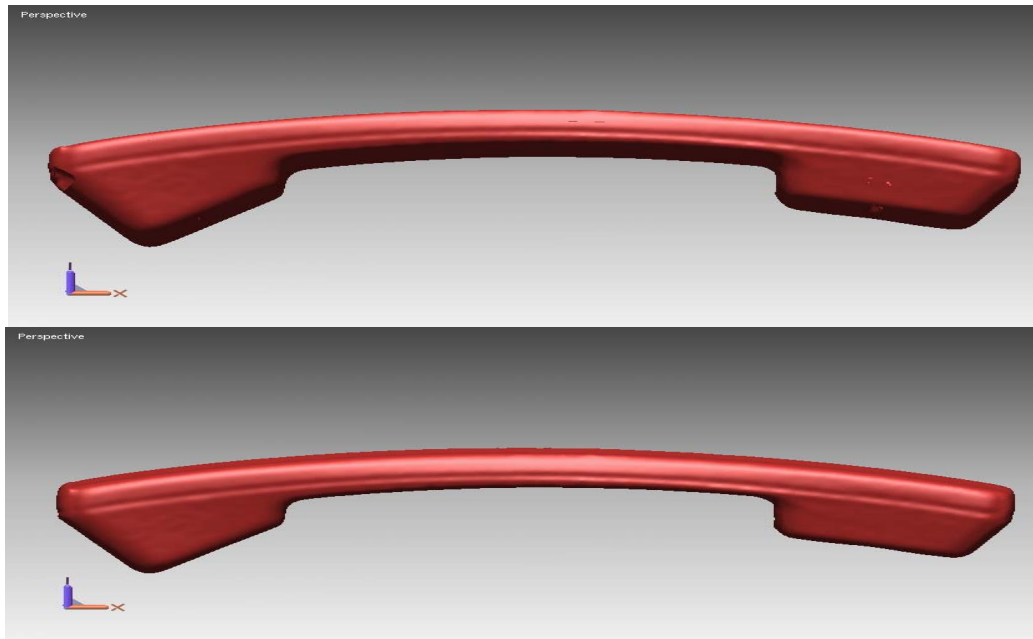
ΕΙΚΟΝΑ 4.77: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΟΥ SHELL ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ.

Ο μέσος όρος της απόκλισης είναι ικανοποιητικός (η μέγιστη τιμή είναι 0.13544 mm, ενώ η μέση τιμή μικρότερη των 0.01964), οπότε η διαδικασία της εξομάλυνσης συνοδεύτηκε με επιτυχία.

### 4.2.3 CURVE WORKBENCH

#### 4.2.3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Πρίν ξεκινήσω τη δημιουργία καμπύλων απενεργοποιώ το Perspective View προκειμένου να χαράξω straight curves. Η διαφορά στην απεικόνιση του μοντέλου είναι εμφανής στην εικόνα 4.78.

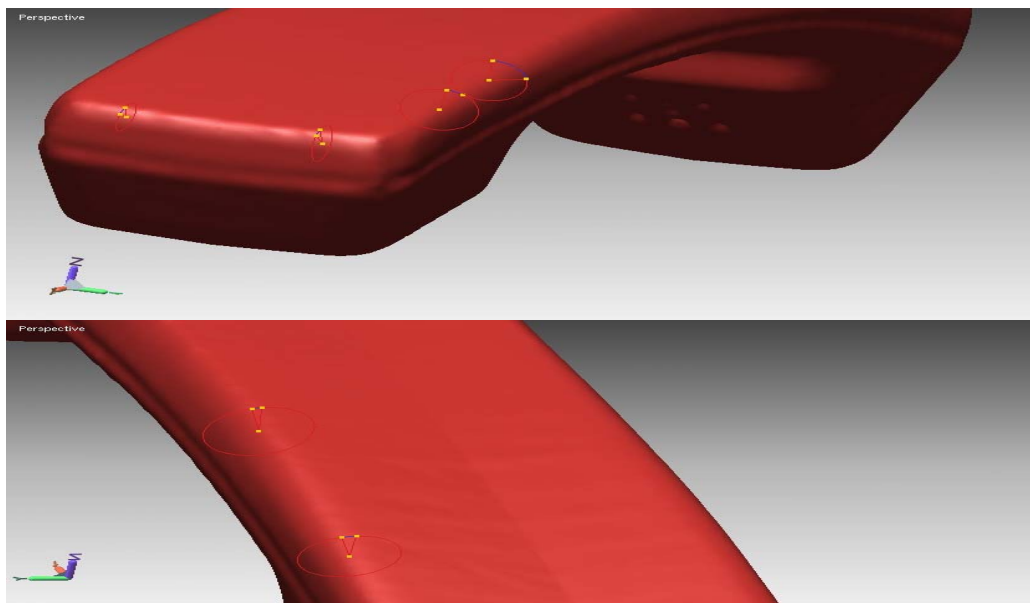


ΕΙΚΟΝΑ 4.78: PERSPECTIVE VIEW (ΠΑΝΩ) – NO PERSPECTIVE VIEW (ΚΑΤΩ).

➤ **Curve >> Create >> Feature Curves**

Προσπαθώ να δημιουργήσω feature curves (δηλαδή καμπύλες βασισμένες στα χαρακτηριστικά – features του μοντέλου) εισάγοντας μια ακτίνα (Feature Radius στο βασικό menu) για τις κυκλικές περιοχές του shell.

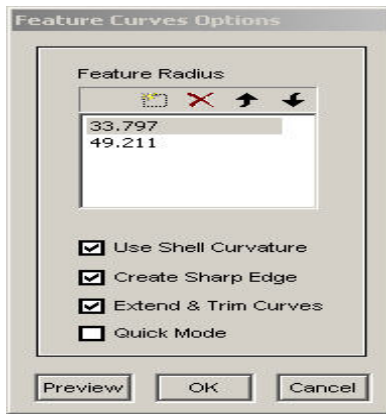
Για να καθορίσω την ακτίνα επιλέγω το Pick Radius Points στο RMB menu και δύο τουλάχιστον σημεία σε κάθε κυκλική περιοχή (rounded region), όπως φαίνεται στην εικόνα 4.79.



ΕΙΚΟΝΑ 4.79: ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ SHELL.

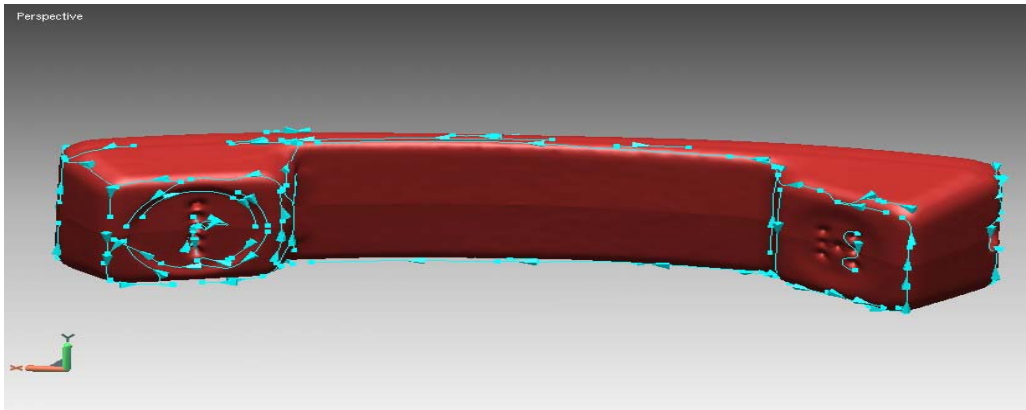
Από το σύνολο των radius points εισάγονται αυτόματα στο menu διαλόγου δύο ακτίνες (33.797 και 49.211). Επιλέγω αρχικά τη μικρότερη από τις δύο καθώς και τις Use Shell Curvature (για να ληφθεί υπ'όψη η κυρτότητα του μοντέλου κατά τη χάραξη των καμπύλων) και Create Sharp Edge (για τη

δημιουργία απότομων ακμών). Δεν επιλέγω την *Extend & Trim Curves*, καθώς η προέκταση (extend) μιας καμπύλης δίνει αναξιόπιστα αποτελέσματα. Το menu διαμορφώνεται ως εξής:

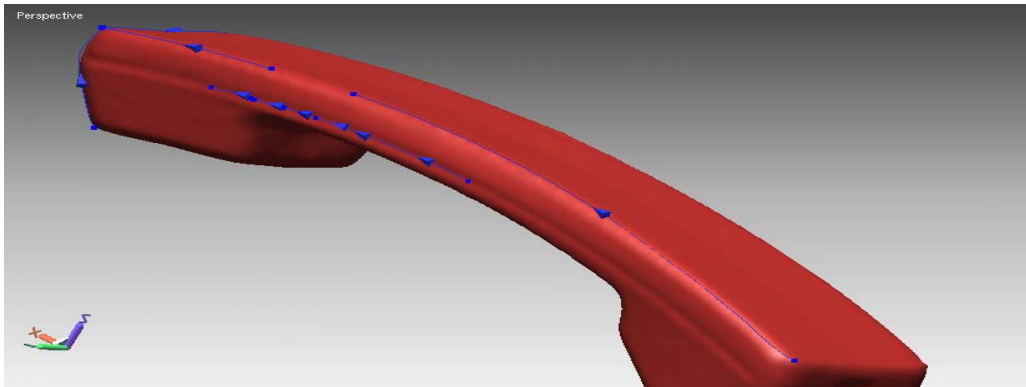


Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται καμπύλες οι οποίες προσεγγίζουν τις κυκλικές περιοχές του shell με ακτίνα μικρότερη από το Feature Radius = 33.797 mm. Επιλέγω *Preview* για την προεπισκόπηση του αποτελέσματος (οι καμπύλες εμφανίζονται με γαλάζιο χρώμα στην εικόνα 4.81). Παρατηρώ τη δημιουργία ανεπιθήμητων καμπύλων, οι οποίες δεν προσεγγίζουν με ακρίβεια το μοντέλο. Επιλέγω *Cancel* και επαναλαμβάνω την εντολή θέτοντας  $R = 49.211$  mm και διατηρώντας τις προηγούμενες επιλογές. Εκτελώ *Preview* για να ελέγξω το αποτέλεσμα (εικόνα 4.82).

ΕΙΚΟΝΑ 4.80: FEATURE MENU.



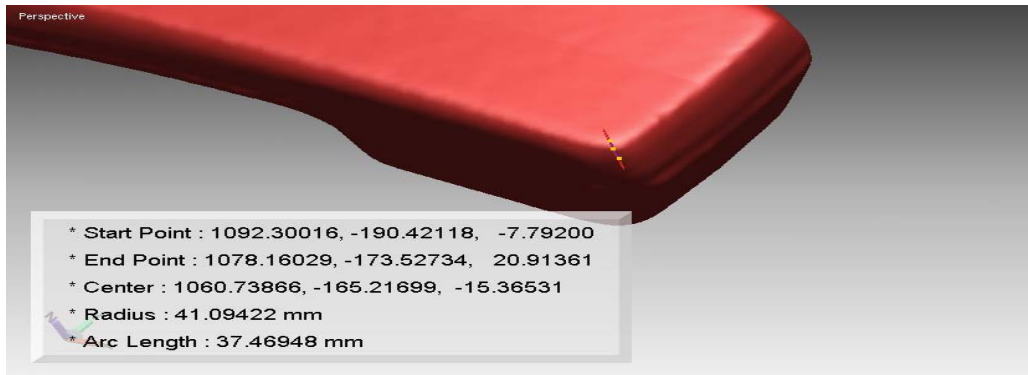
ΕΙΚΟΝΑ 4.81: FEATURE CURVES ΓΙΑ  $R = 33.797$  MM.



ΕΙΚΟΝΑ 4.82: FEATURE CURVES ΓΙΑ  $R = 49.211$  MM.

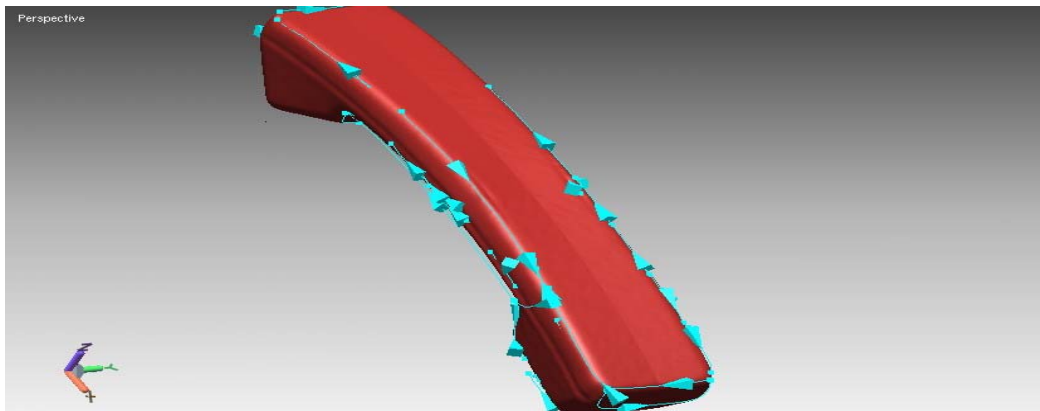
Στην εικόνα 4.82 οι καμπύλες με το μπλέ χρώμα είναι αυτές που επέλεξα με *Accept Curves* στο RMB menu από το σύνολο των Feature Curves που δημιουργήθηκαν. Παρατηρώ ότι προσεγγίζουν με ακρίβεια το μοντέλο, αλλά ακυρώνω την εντολή καθώς οι καμπύλες προσεγγίζουν μόνο μια μικρή περιοχή του shell.

Προσπαθώ να προσεγγίσω με μεγαλύτερη ακρίβεια την ακτίνα. Επιστρέφω στο Polygon Workbench και επιλέγω την *Measure >> Rounded Area Radius*. Επιλέγω ένα σημείο στο μέσο της rounded region και ένα ακόμη στο άκρο της, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.83. Η ακτίνα προκύπτει ίση με 41.09422 mm.



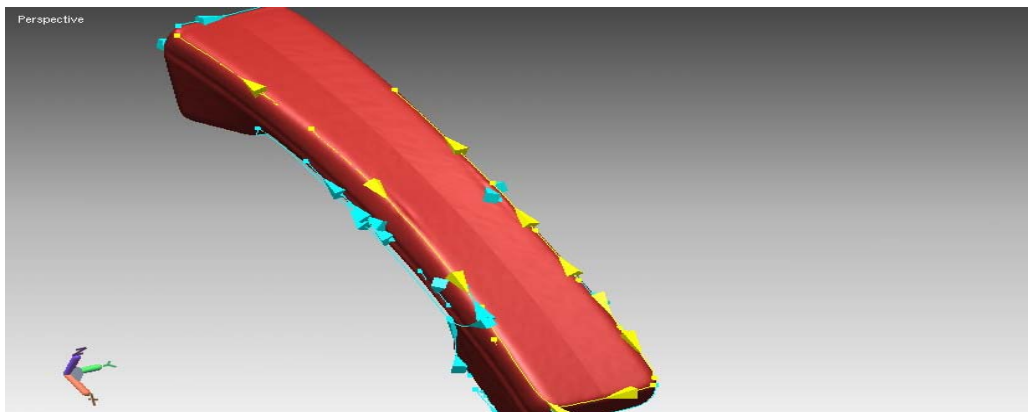
ΕΙΚΟΝΑ 4.83: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.

Εισάγω την ακτίνα ως Feature Radius στο menu της εικόνας 4.80 και εκτελώ Preview, οπότε προκύπτουν οι καμπύλες της εικόνας 4.84.



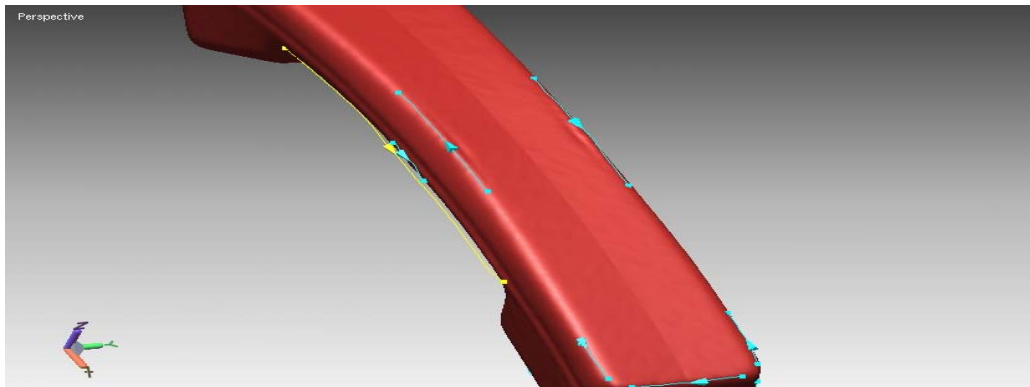
ΕΙΚΟΝΑ 4.84: FEATURE CURVES ΓΙΑ R = 41.09422 MM.

Με Pick Accepted Curves στο RMB menu επιλέγω όσες καμπύλες προσεγγίζουν με ακρίβεια το μοντέλο (κίτρινο χρώμα).



ΕΙΚΟΝΑ 4.85: ΕΠΙΛΟΓΗ FEATURE CURVES.

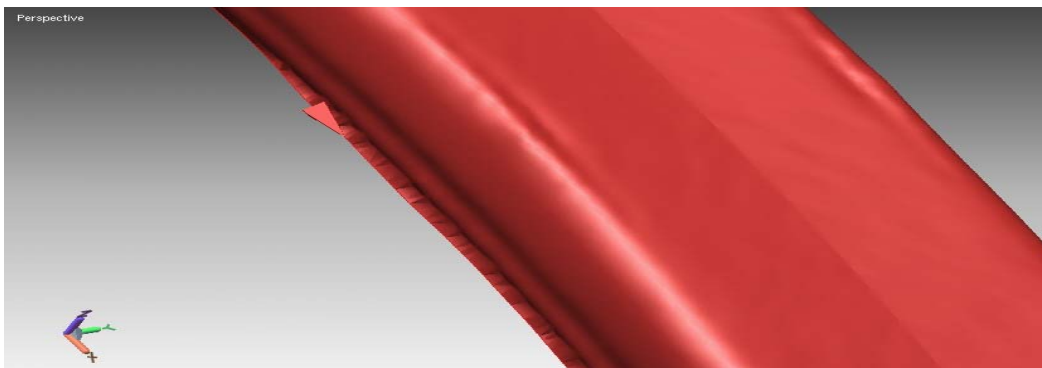
Επιλέγω μία από τις space curves που αιωρούνται και δεν εφαρμόζουν στο shell (εμφανίζεται με κίτρινο χρώμα στην εικόνα 4.86). Με την εντολή *Tool >> Attach to Shell* τη μετατρέπω σε shell curve.



ΕΙΚΟΝΑ 4.86: ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ SPACE CURVE ΣΕ SHELL CURVE.

Παρατηρώ ότι η καμπύλη εξακολουθεί να μην εφαρμόζει στο μοντέλο. Προσπαθώ να προσαρμόσω τις ακμές του μοντέλου κατά μήκος της καμπύλης, ώστε να πετύχω την εφαρμογή της στο shell. Εκτελώ την *Tool >> Fit Edges To Curves* στο Polygon Workbench.

Η εντολή αυτή αναδιατάσσει τις περιοχές του πλέγματος, οι οποίες γειτονεύουν με την επιλεγμένη καμπύλη, έτσι ώστε τα όρια τους να συμπίπτουν με αυτή. Στην εικόνα 4.87 φαίνεται η προσθήκη ανεπιθύμητων faces στο μοντέλο εξ' αιτίας εφαρμογής της προηγούμενης εντολής.



ΕΙΚΟΝΑ 4.87: ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ ΕΔΡΩΝ ΣΤΟ SHELL.

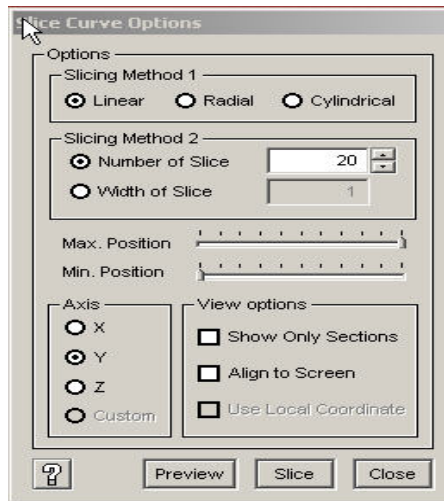
Επιλέγω *Undo* και εγκαταλείπω τη μέθοδο *Feature Curve*, καθώς αν και είναι μια από τις βασικές εντολές για τη χάραξη καμπύλων, στο συγκεκριμένο μοντέλο αδυνατεί να δώσει έγκυρα αποτελέσματα. Ο λόγος είναι η ύπαρξη πολλών rounded features τα οποία δυσχεραίνουν τον ακριβή υπολογισμό της ακτίνας.

#### ➤ **Curve >> Create >> Slice**

Δημιουργώ καμπύλες οι οποίες τμηματοποιούν το μοντέλο (section curves). Επιλέγω αρχικά την τμηματοποίησή του ως προς τον άξονα των Y (δημιουργώ 20 καμπύλες) και στη συνέχεια την τμηματοποίηση του ως προς τον άξονα των X (δημιουργώ 50 καμπύλες) για να δημιουργήσω τις καμπύλες των ορίων του μοντέλου. Προφανώς δε χρειάζομαι τις 70 συνολικά καμπύλες. Η επιλογή ενός τόσο μεγάλου αριθμού καμπύλων γίνεται για να εξασφαλίσω ακριβή προσαρμογή των καμπύλων στις οριακές περιοχές του μοντέλου.



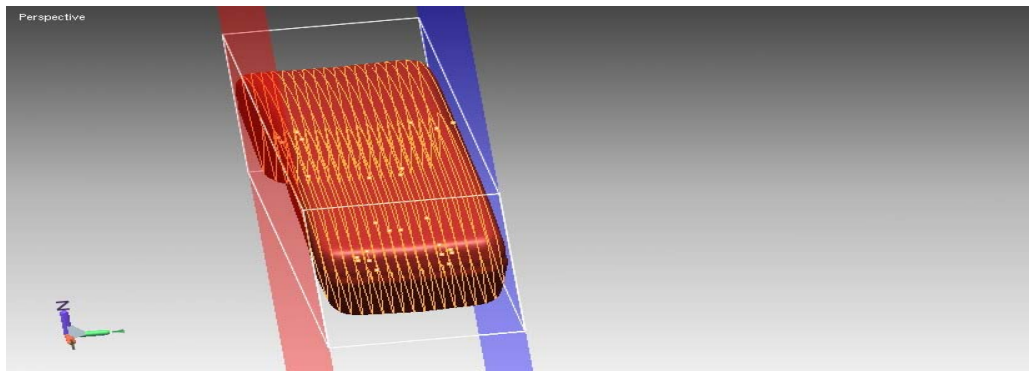
Θα δημιουργήσω πρώτα slice curves ως προς τον άξονα Y και στη συνέχεια ως προς τον X. Εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου της εικόνας 4.88.



ΕΙΚΟΝΑ 4.88: SLICE MENU.

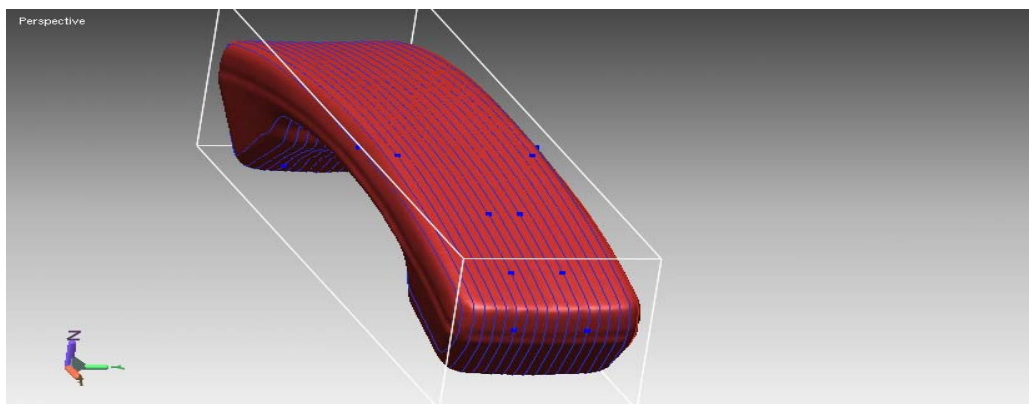
Στο Slicing Method 1 επιλέγω Linear (εφ' όσον επιθυμώ τη δημιουργία καμπύλων γραμμικής μορφής και όχι ακτινικής ή κυλινδρικής) και στο Slicing Method 2 ορίζω τον αριθμό των section curves (Number of slices = 20). Οι καμπύλες θα ισαπέχουν μεταξύ τους (κάτι που καθορίζεται από την default επιλογή Width of slice = 1), ενώ τα Max/Min Position οριοθετούν τις slice curves (για τις δεδομένες τιμές επιλέγω τα όρια του μοντέλου). Τέλος, επιλέγω ως άξονα τεμαχισμού τον Y και ελέγχω με Preview το αποτέλεσμα.

Η προεπισκόπηση ακολουθεί στην εικόνα 4.89. Τα Min/Max Position (όρια εντός των οποίων δημιουργούνται οι section curves) απεικονίζονται με τις ροζ/μωβ επιφάνειες αντίστοιχα, στη διεύθυνση του άξονα Y.



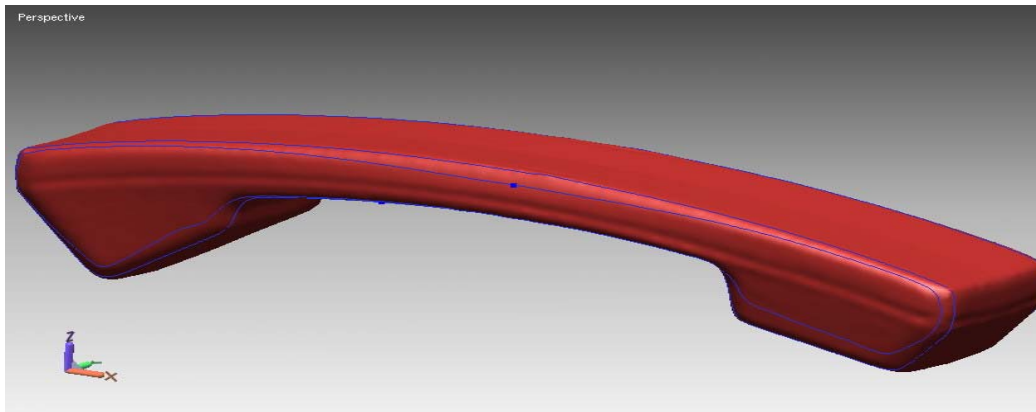
ΕΙΚΟΝΑ 4.89: ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ SECTION CURVES ΤΟΥ Y ΑΞΟΝΑ.

Οι καμπύλες προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις οριακές περιοχές του μοντέλου ως προς τον Y άξονα, οπότε επιλέγω slice στο βασικό menu.



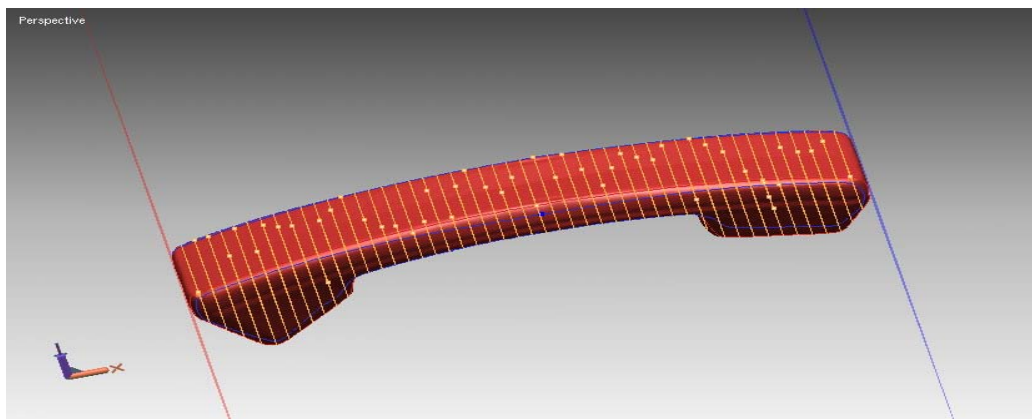
ΕΙΚΟΝΑ 4.90: ΟΙ SECTION CURVES ΤΟΥ Y ΑΞΟΝΑ.

Διαγράφω από το project tree window όσες καμπύλες δε με ενδιαφέρουν και κρατώ τις 4 καμπύλες της εικόνας 4.91, οι οποίες προσεγγίζουν με ακρίβεια τις οριακές περιοχές του μοντέλου.



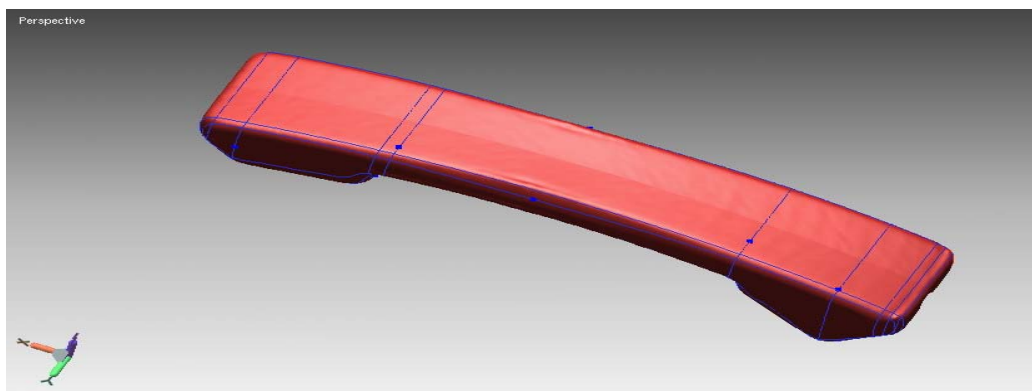
4.91: ΟΙ 4 SECTION CURVES ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ Y ΑΞΟΝΑ.

Εκτελώ προεπισκόπηση των 50 slice curves ως προς τον X άξονα (διατηρώ τις ίδιες επιλογές στο βασικό menu εκτός από το Number Of Slice = 50 και φυσικά τον άξονα X). Οι οριακές ρόζ/μώβ επιφάνειες εκτείνονται κατά μήκος του άξονα X.



ΕΙΚΟΝΑ 4.92: ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ SECTION CURVES ΣΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ Χ ΑΞΟΝΑ.

Επιλέγω 8 από τις καμπύλες, οι οποίες προσεγγίζουν με ακρίβεια τις οριακές περιοχές του μοντέλου στη διεύθυνση του άξονα X.



ΕΙΚΟΝΑ 4.93: ΟΙ 8 SECTION CURVES ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ.

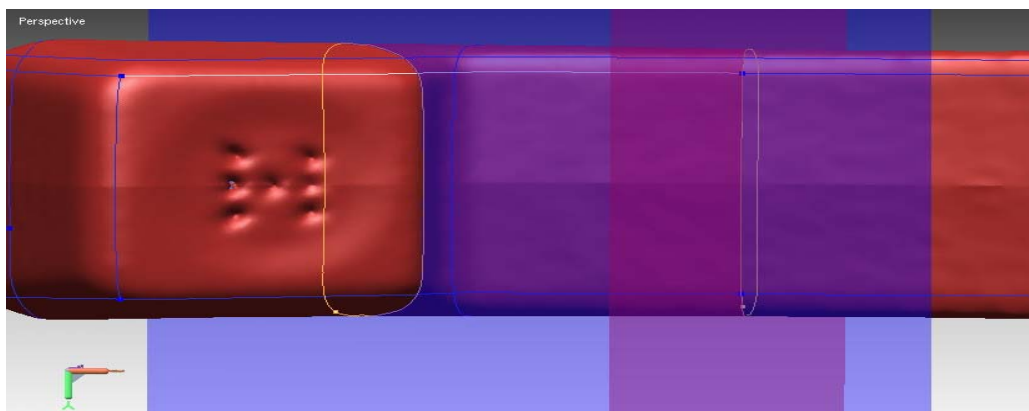
Προεκτείνω την καμπύλη στα όρια των top & left sides κατά την X διεύθυνση, ώστε να προσεγγίσει με ακρίβεια με την τομή τους. Για το λόγο αυτό εκτελώ την εντολή *Curve >> Tool >> Offset >> Distance*, επιλέγοντας την καμπύλη η οποία εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα στην εικόνα 4.94 ως βάση της προέκτασης. Επιλέγω ως Offset Distance το 20, ώστε η προέκταση να πραγματοποιηθεί στα 20 mm από την καμπύλη.



ΕΙΚΟΝΑ 4.94: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ OFFSET CURVES.

Παρατηρώ τη δημιουργία δύο offset curves εκατέρωθεν αυτής με το κόκκινο χρώμα. Διαγράφω την ανεπιθύμητη και κρατώ αυτή στα όρια των top και left sides.

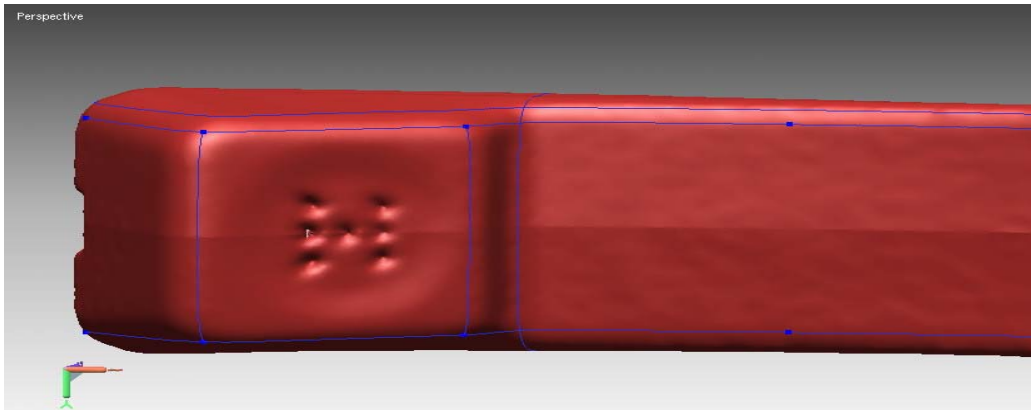
Εφαρμόζω μία ακόμη φορά την *Curve >> Create >> Slice* για τη δημιουργία μιας νέας καμπύλης στη bottom side του μοντέλου. Στο menu ορίζω ως άξονα τεμαχισμού την άσπρη καμπύλη (επιλέγοντας Custom Axis και έχοντας ορίσει την άσπρη καμπύλη ως Custom). Οι Min/Max Positions προσαρμόζονται στα άκρα της. Μετακινώ τη Max Position (μωβ επιφάνεια) περίπου στο 60%, ώστε να προσεγγίσει με ακρίβεια την περιοχή που θέλω να δημιουργήσω την section curve. Η θέση της Min Position δεν με ενδιαφέρει. Θέτω Number of Slice = 1 και εκτελώντας Preview παίρνω το αποτέλεσμα της εικόνας 4.95.



ΕΙΚΟΝΑ 4.95: ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ SECTION CURVES.

Παρατηρώ τη δημιουργία δύο καμπύλων στα όρια των μωβ/ροζ επιφανειών (εμφανίζονται με κίτρινο χρώμα). Διαγράφω την καμπύλη στα όρια της ροζ επιφάνειας η οποία δε με ενδιαφέρει. Από την καμπύλη στα όρια της μωβ επιφάνειας, κρατώ το τμήμα της το οποίο περικλείεται από την άσπρη καμπύλη, τη συμμετρική της ως προς τον άξονα X και το μωβ επίπεδο αναφοράς. Αυτό γίνεται με χρήση της εντολής *Curve >> Trim >> Curve / Curve* (παράδειγμα εφαρμογής της ακολουθεί στην επόμενη σελίδα). Με αυτόν

τον τρόπο, η διάτρητη περιοχή της εικόνας 4.96 περικλείεται από 4 καμπύλες οι οποίες ενώνονται στα άκρα τους.

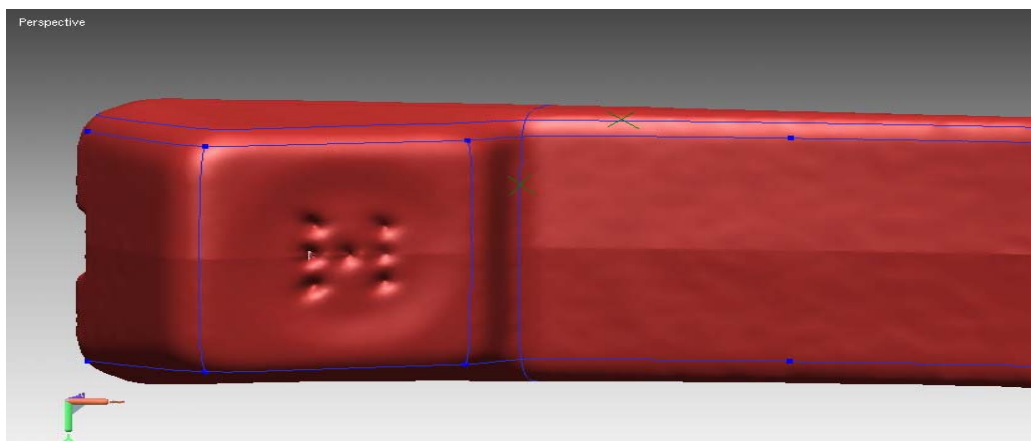


ΕΙΚΟΝΑ 4.96: ΟΙ 4 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΤΡΗΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ.

➤ **Curve >> Trim >> Curve / Curve.**

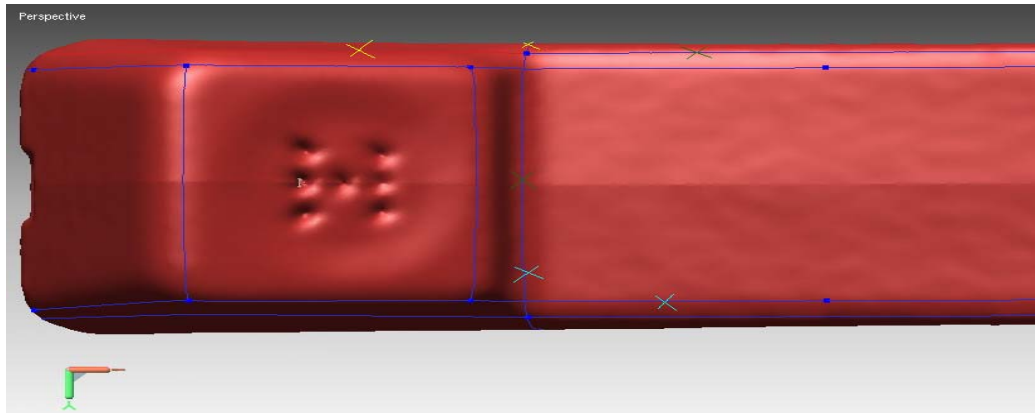
Χρησιμοποιώ αυτή την εντολή για την αποκοπή δύο καμπύλων που τέμνονται στα σημεία τομής τους. Αυτόματα οι δύο επιλεγμένες καμπύλες διαιρούνται σε 4 με τις δύο νέες να προστίθενται στο project tree window. Κάθε μια από τις 4 νέες καμπύλες συνδέεται με τις υπόλοιπες τρεις, γεγονός που διευκολύνει την ένωση των καμπύλων σε ένα δίκτυο και είναι ο τελικός στόχος στο Curve Workbench.

Ένα παράδειγμα εφαρμογής της εντολής εμφανίζεται στις εικόνες 4.97 και 4.98. Εκτελώ την αποκοπή για τις καμπύλες που σημειώνονται με πράσινο x στην εικόνα 4.97.



ΕΙΚΟΝΑ 4.97: ΕΚΤΕΛΩ ΑΠΟΚΟΠΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ Χ.

Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.98 (με τη μπλέ τελεία συμβολίζεται το seam position, ο κόμβος ένωσης δηλαδή των τεσσάρων καμπύλων).



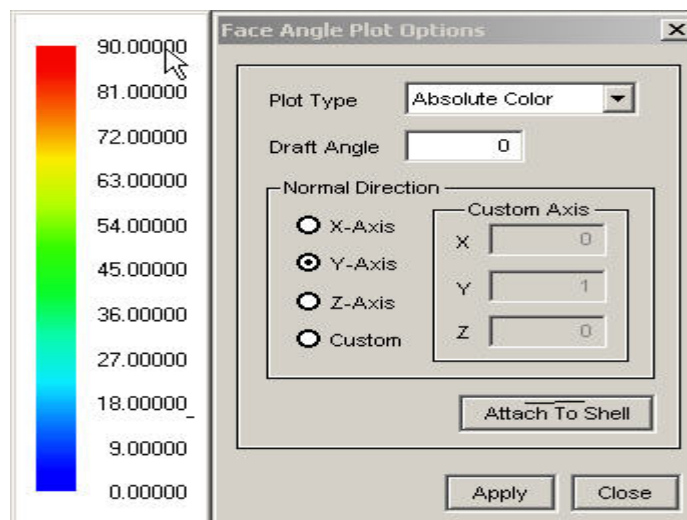
ΕΙΚΟΝΑ 4.98: ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΑΠΟΚΟΠΗΣ.

Στην εικόνα 4.98 σημειώνω τις καμπύλες που κρατώ με πράσινο x, ενώ τις καμπύλες που διαγράφω με κίτρινο x. Για τις καμπύλες με γαλάζιο x εφαρμόζω νέα αποκοπή και ανάλογα συνεχίζω για όλο το μοντέλο.

➤ **Curve >> Create >> Interpolate.**

Ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο κατά τη σχεδίαση interpolated curves είναι η επιλογή *Measure >> Face Angle Plot*. Χρησιμοποιεί έναν έγχρωμο χάρτη για να αναπαραστήσει τις γωνίες που σχηματίζονται ανάμεσα στα κατακόρυφα διανύσματα των εδρών ενός shell και σε ένα διάνυσμα επιλεγμένο από το χρήστη. Επιλέγοντας Attach To Shell στο βασικό menu, εισάγουμε το χρώμα του χάρτη στο μοντέλο. Με αυτόν τον τρόπο, σχεδιάζοντας καμπύλες στα όρια του έγχρωμου χάρτη είναι εύκολο να ορίσουμε τη διαχωριστική γραμμή για τις διάφορες επιφάνειες.

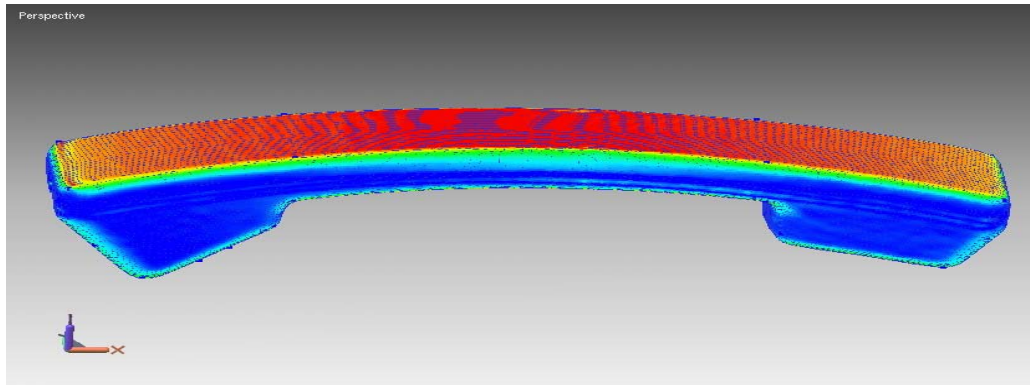
Το παράθυρο διαλόγου ακολουθεί στην εικόνα 4.99.



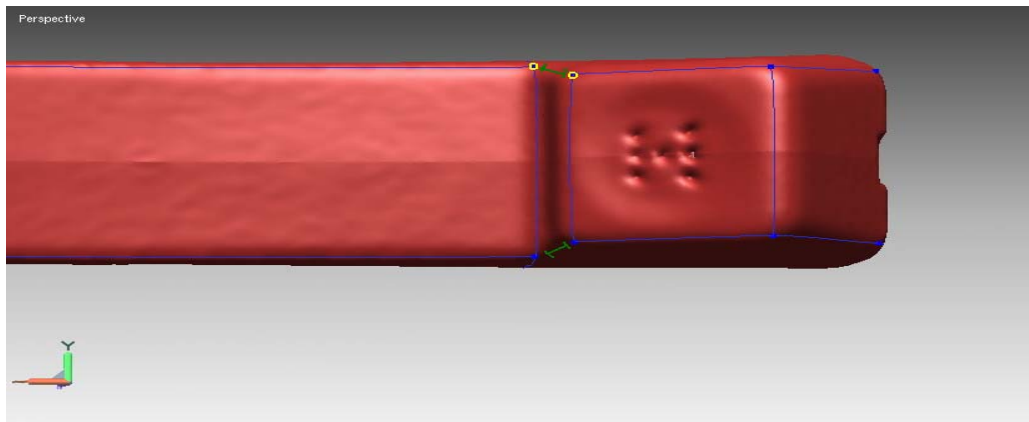
ΕΙΚΟΝΑ 4.99: MENU FACE ANGLE PLOT.

Επιλέγοντας Absolute Color στο Plot Type απεικονίζονται γωνίες κατά απόλυτη τιμή στον έγχρωμο χάρτη (η επιλογή Signed Color απεικονίζει θετικές και αρνητικές γωνίες, ενώ η 2 Color απεικονίζει τον έγχρωμο χάρτη με κόκκινο και μπλέ). Επιλέγω ως Normal Direction τον Y άξονα (ορίζω δηλαδή ένα διάνυσμα παράλληλο στον άξονα Y, το οποίο υπολογίζει τις γωνίες ανάμεσα σε αυτό και στα κατακόρυφα διανύσματα των faces ενός

shell). Με την επιλογή Attach To Shell προσαρμόζω τον έγχρωμο χάρτη στο shell. Με αυτόν τον τρόπο, οι διαχωριστικές γραμμές (οι περιοχές δηλαδή που απεικονίζονται με διαφορετικό χρώμα) καθορίζουν τα όρια των surface patches, άρα και την προσέγγιστική θέση των καμπύλων που θα δημιουργήσω με παρεμβολή.

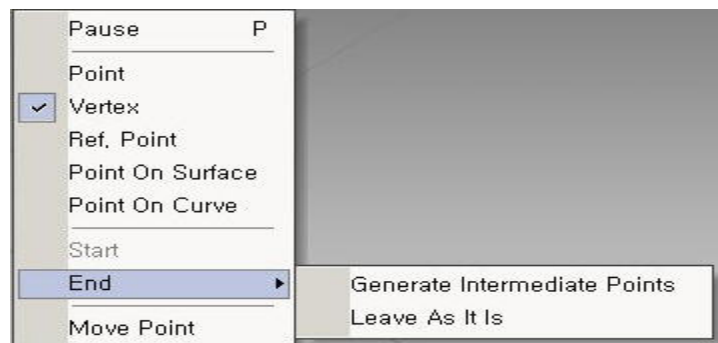


ΕΙΚΟΝΑ 4.100: ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΕΓΧΡΩΜΟΥ ΧΑΡΤΗ ΣΤΟ SHELL.



ΕΙΚΟΝΑ 4.101: ΕΚΤΕΛΩ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ.

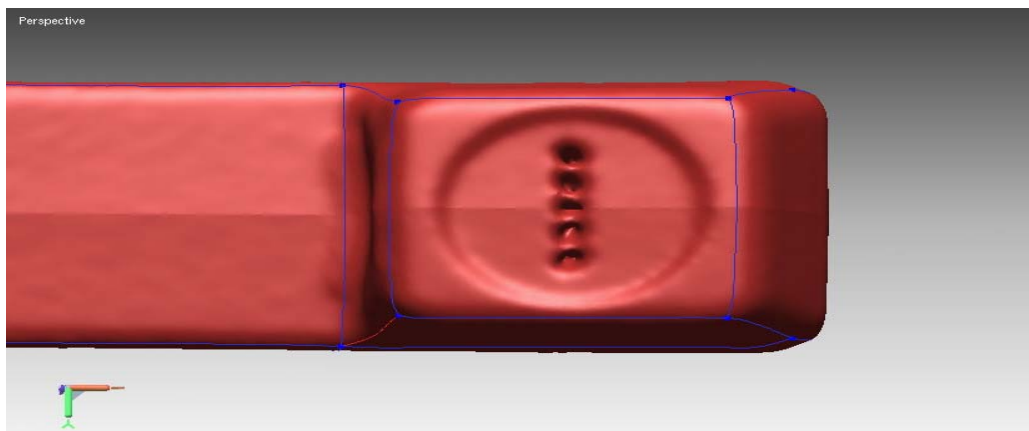
Επιχειρώ ενδεικτικά τη δημιουργία δύο καμπύλων παρεμβολής στις περιοχές που σημειώνονται με πράσινο χρώμα στην εικόνα 4.101. Αν και θα μπορούσα να δημιουργήσω μόνο τη μια με παρεμβολή και την άλλη με αντικατοπτρισμό ως προς την offset plane που δημιούργησα στο Polygon Workbench, προτιμώ να δημιουργήσω και τις δύο με παρεμβολή για μεγαλύτερη ακρίβεια. Με RMB εμφανίζεται το ακόλουθο menu:



ΕΙΚΟΝΑ 4.102: INTERPOLATION MENU.



Επιλέγω Point On Curve και ξεκινώ να χαράσσω την πρώτη καμπύλη με Start. Το πρώτο σημείο που επιλέγω είναι το seam position της μίας (περικλείεται από τον κίτρινο κύκλο) και στη συνέχεια επιλέγοντας Point χαράσσω διαδοχικά ενδιάμεσα σημεία ελέγχου ορίζοντας την καμπύλη. Το τελευταίο σημείο επιθυμώ να ανήκει στην άλλη καμπύλη, οπότε επιλέγω Point On Curve και το seam position της άλλης (ο άλλος κίτρινος κύκλος). Επιλέγω End και Leave As It Is, ώστε η καμπύλη να δημιουργηθεί μόνο από τα επιλεγμένα σημεία. Επιλέγοντας το πρώτο και το τελευταίο σημείο της νέας καμπύλης να συμπίπτει με τα seam points των άλλων δύο κατορθώνω την ένωσή τους, διευκολύνοντας τη δημιουργία δικτύου. Εφαρμόζω την ίδια διαδικασία και για την άλλη καμπύλη και παίρνω τις δύο καμπύλες της εικόνας 4.101 (η κόκκινη και η συμμετρική της ως προς τον x άξονα).



ΕΙΚΟΝΑ 4.103: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 2 ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΜΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ.

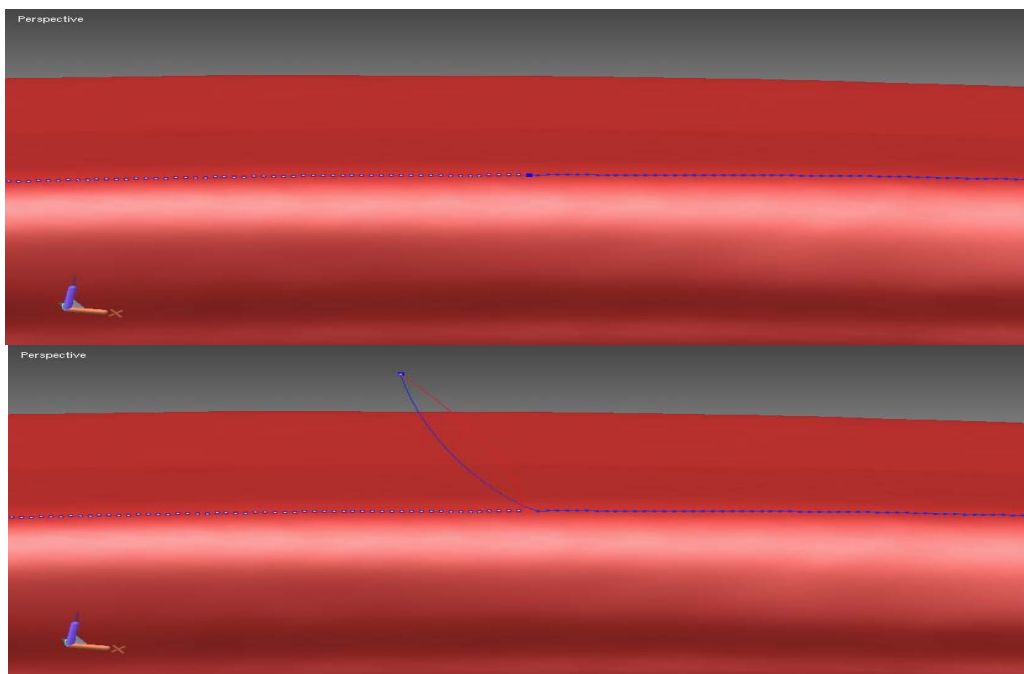
Με χρήση της παραπάνω εντολής καταλήγω στο τελικό δίκτυο καμπύλων, το οποίο αποτελείται από 50 καμπύλες, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. Η αναλυτική τους παρουσίαση ακολουθεί μετά την αναφορά στις εντολές που χρησιμοποίησα για τη βελτιστοποίηση του δικτύου.

#### 4.2.3.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Χρησιμοποιώ τις εντολές που ακολουθούν για την ομαλοποίηση των καμπύλων και τη δημιουργία κλειστών περιοχών, οι οποίες καθορίζονται από 4 ενωμένες καμπύλες. Οι κλειστές αυτές περιοχές είναι απαραίτητες για τη δημιουργία επιφανειακών μπαλωμάτων (surface patches) στο επόμενο workbench.

##### ➤ Curve >> Edit >> Interpolation Points.

Χρησιμοποιείται για τη μετατόπιση, τη διαγραφή και την εισαγωγή σημείων ελέγχου στις καμπύλες που δημιούργησα. Με LMB εμφανίζονται τα σημεία ελέγχου της καμπύλης που επέλεξα να τροποποιήσω. Όπως ανέφερα στην 3.4.2, μπορώ να διαγράψω, να μετακινήσω όσα από αυτά επιθυμώ ή και να προσθέσω νέα σημεία ελέγχου. Ενδεικτικά θα εφαρμόσω την εντολή για τη μετακίνηση (Move) ενός σημείου ελέγχου της καμπύλης που εμφανίζεται με άσπρο χρώμα στην εικόνα 4.104.

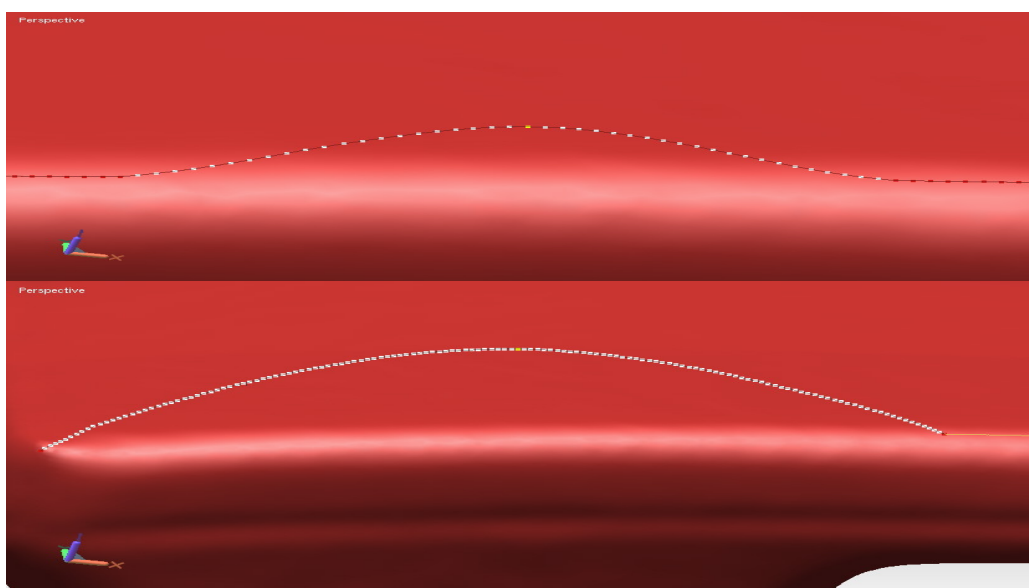


ΕΙΚΟΝΑ 4.104: ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ.

Επιλέγοντας το τελικό σημείο ελέγχου της, παρατηρώ ότι μετακινείται ταυτόχρονα και το αρχικό σημείο της γειτονικής μπλέ καμπύλης (αφού τα δύο σημεία είναι ενωμένα – κοινό seam position-).

➤ **Curve >> Edit >> Deform.**

Χρησιμοποιείται για την αλλαγή στη γεωμετρία μιας καμπύλης με μετακίνηση των σημείων ελέγχου της. Ενδεικτικά στην εικόνα 4.105 πετυχαίνω μετατόπιση ενός αριθμού σημείων με χρήση της Deform With Brush και στη συνέχεια όλων των σημείων που παρεμβάλλουν την καμπύλη, εκτός από το αρχικό και το τελικό, με χρήση της Fix End Points.

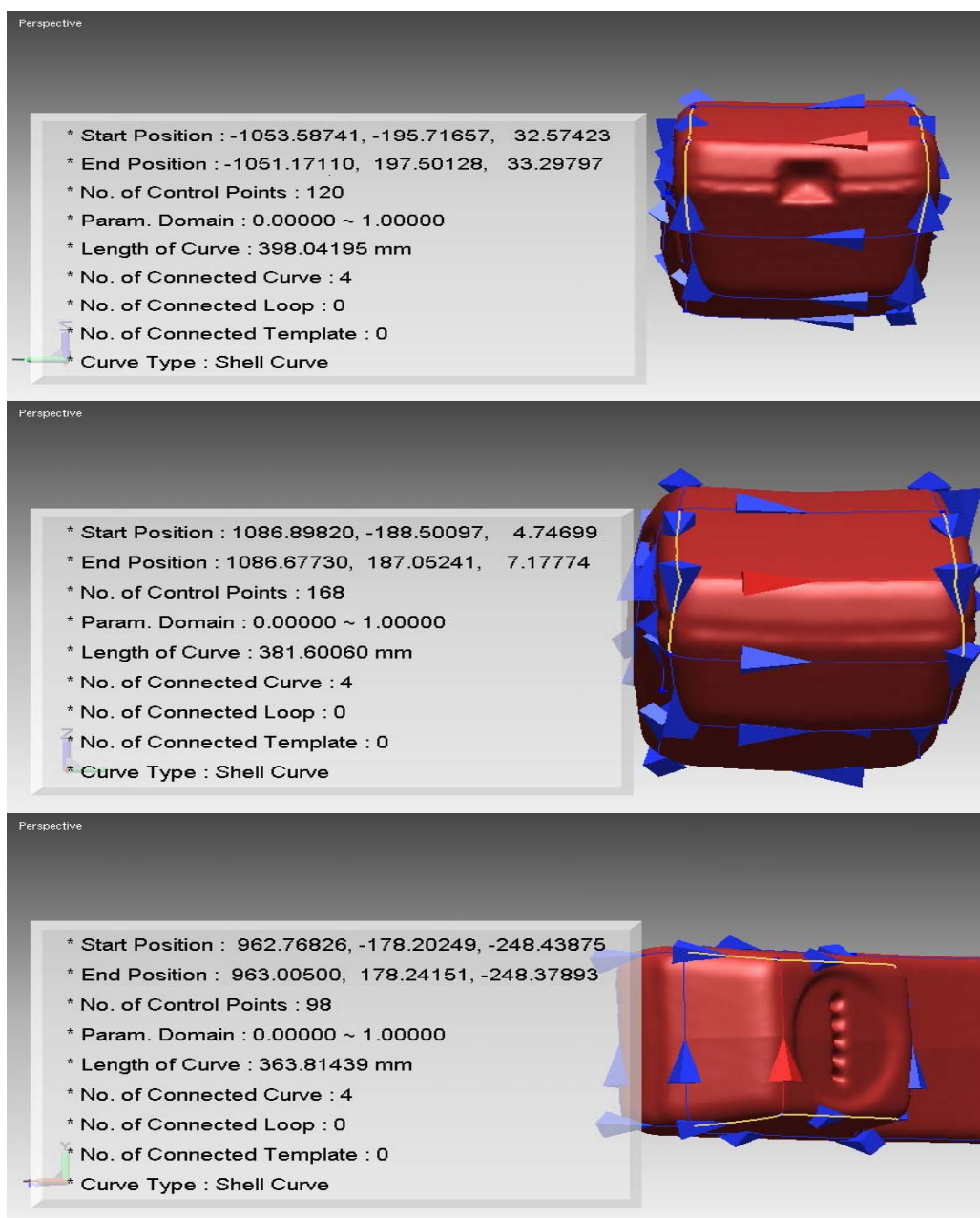


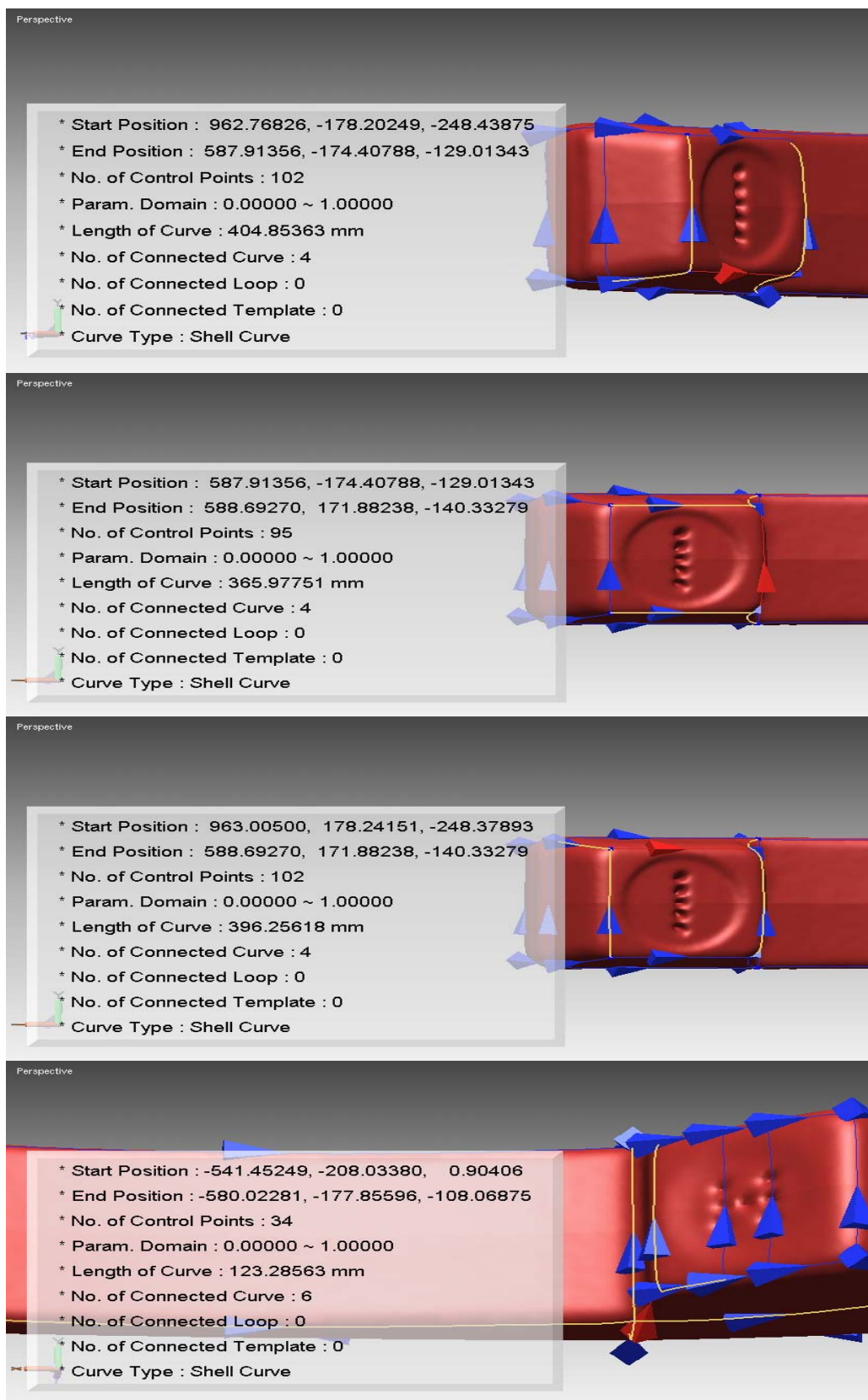
ΕΙΚΟΝΑ 4.105: ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ.

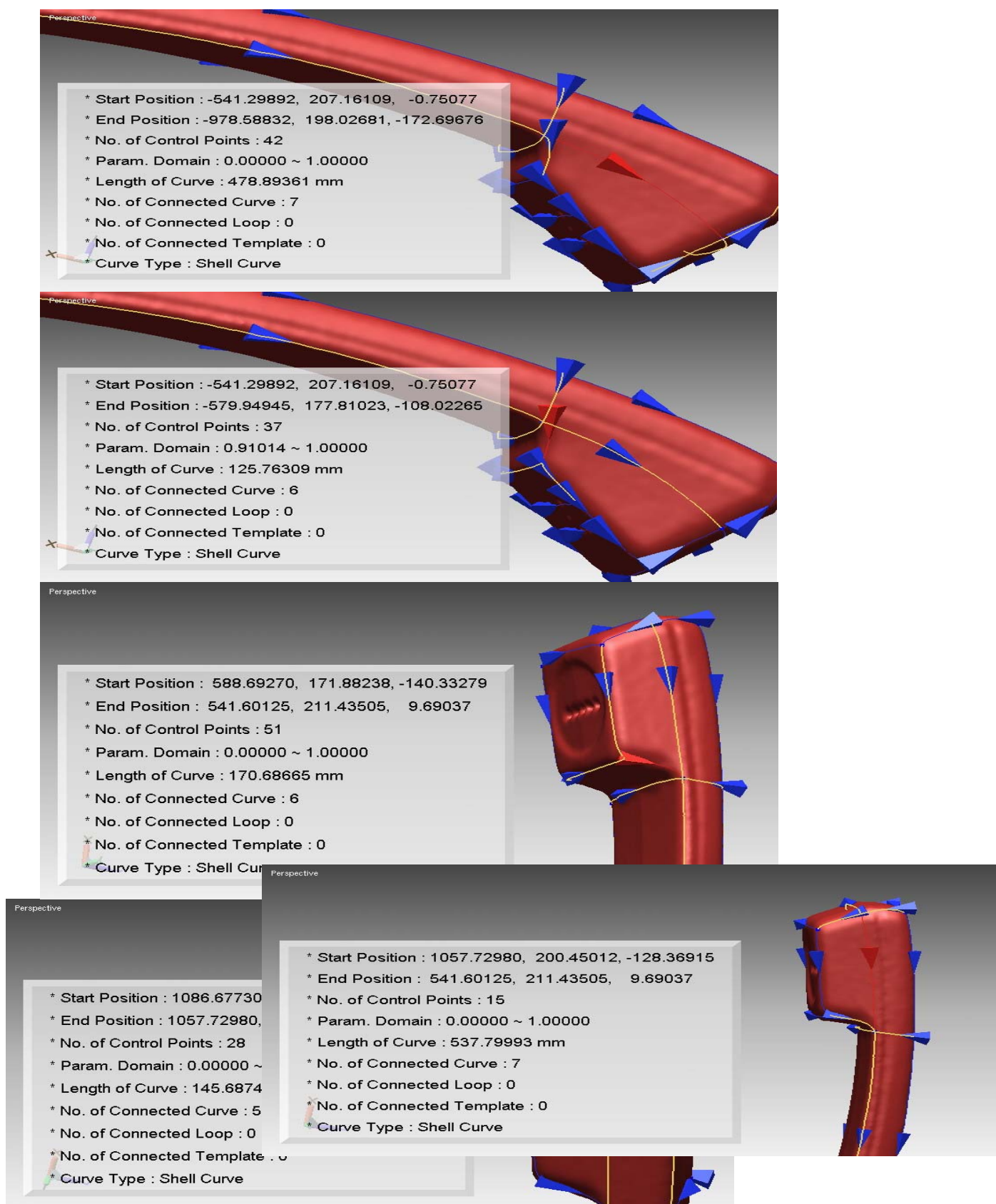
Ο έλεγχος της συνέχειας θέσης και εφαπτομένης των καμπύλων θα γίνει στο Surface Workbench, ταυτόχρονα με τον έλεγχο συνέχειας θέσης και εφαπτομένης των επιφανειών που θα παραχθούν.

#### 4.2.3.3 ΤΕΛΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

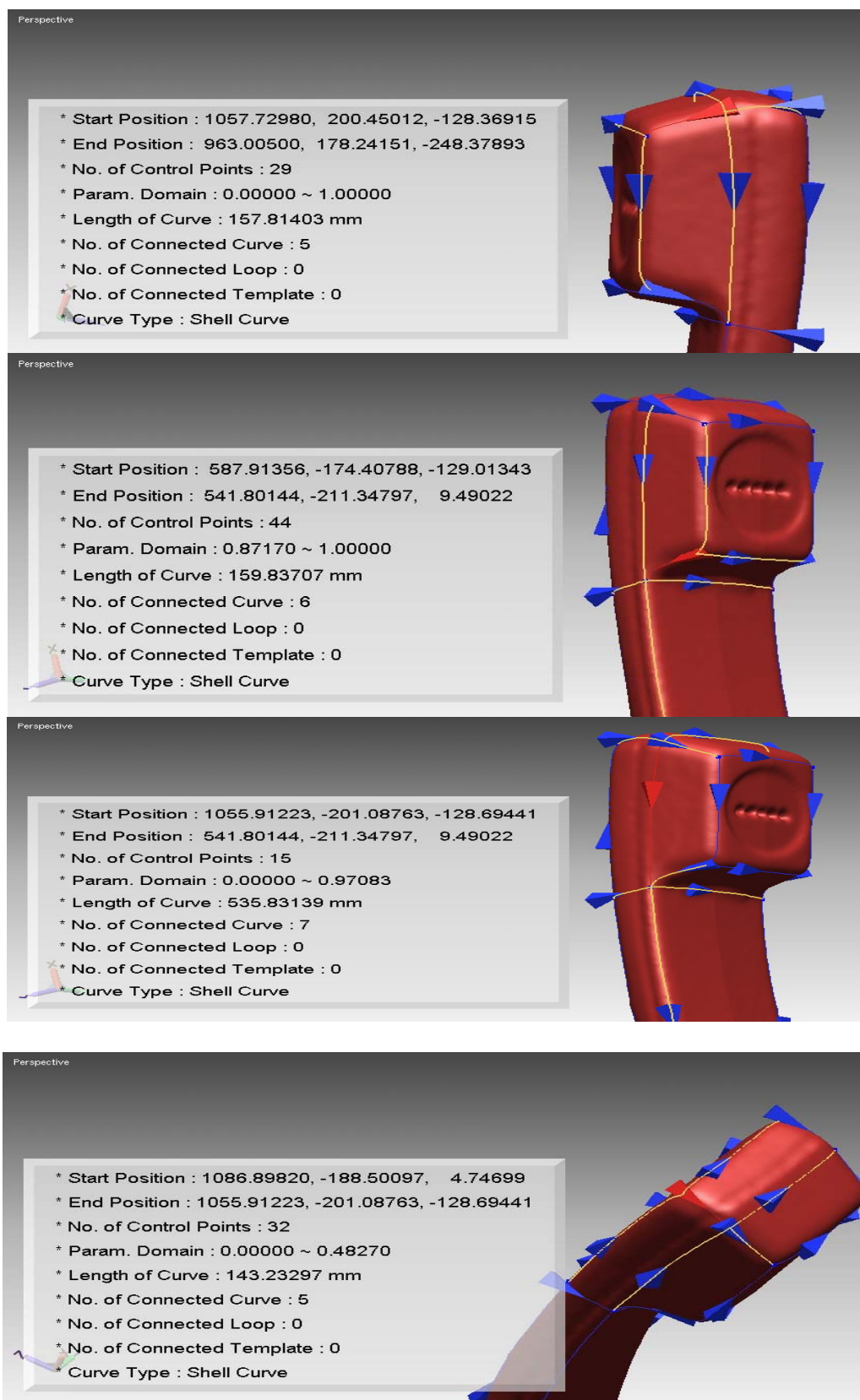
Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση των 50 καμπύλων του τελικού δικτύου. Σε κάθε μια από τις εικόνες που ακολουθούν εμφανίζεται ο αριθμός των σημείων ελέγχου της καμπύλης, το μήκος της, οι συντεταγμένες του αρχικού και του τελικού της σημείου και το πεδίο ορισμού της παραμέτρου (0, 1). Η καμπύλη στην οποία αναφέρονται οι πληροφορίες απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα, ενώ οι καμπύλες με τις οποίες συνδέεται απεικονίζονται με κίτρινο χρώμα.



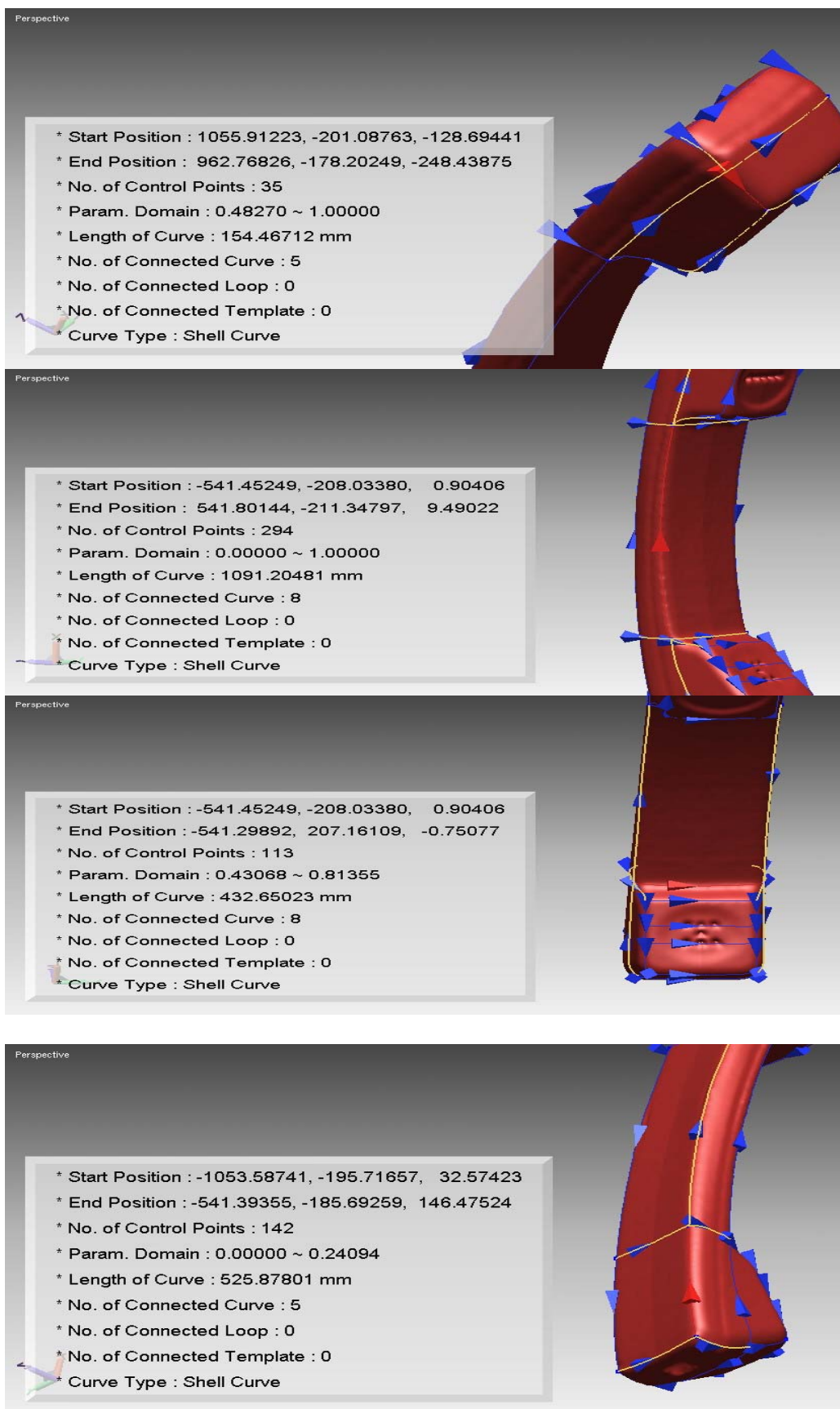


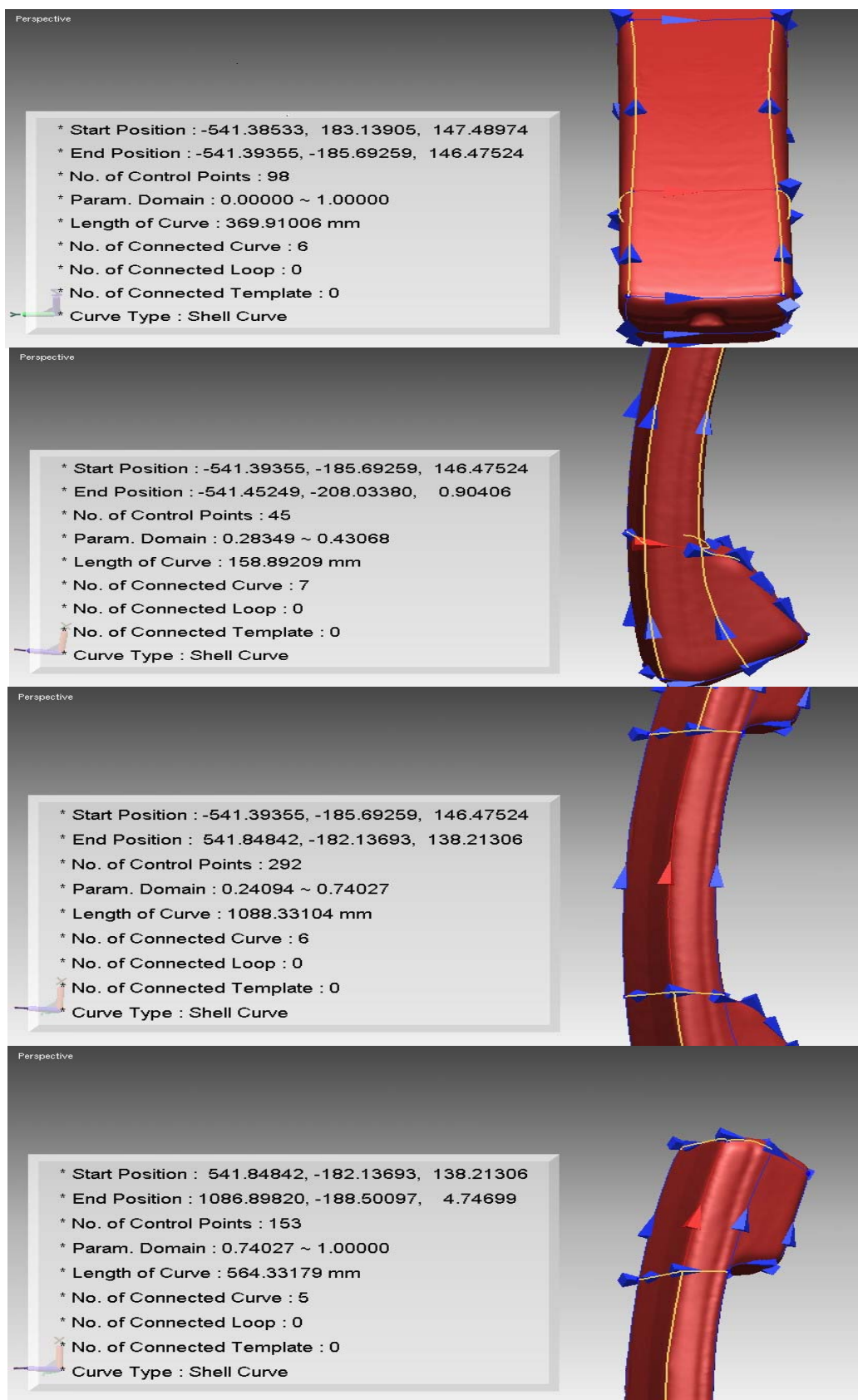


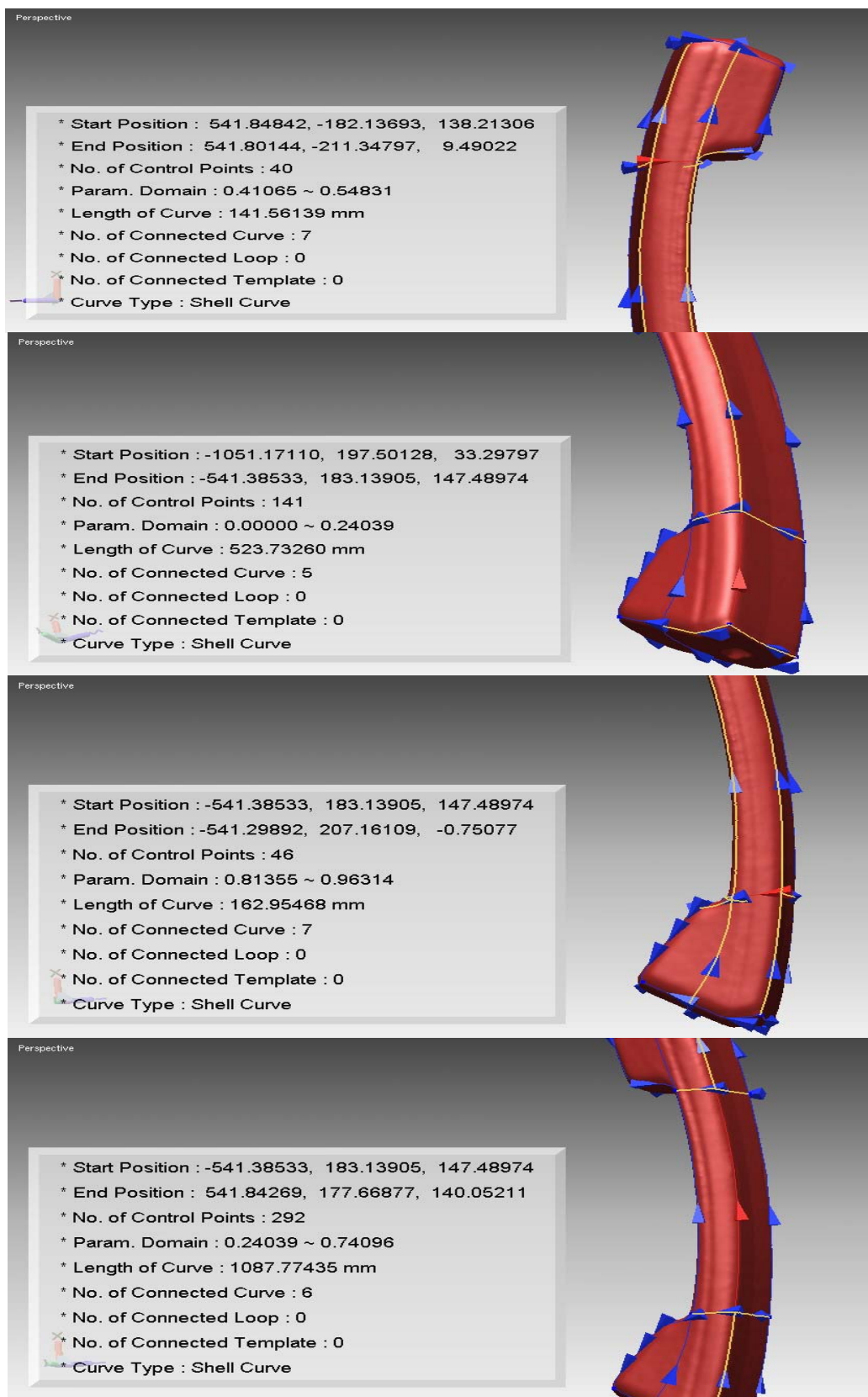


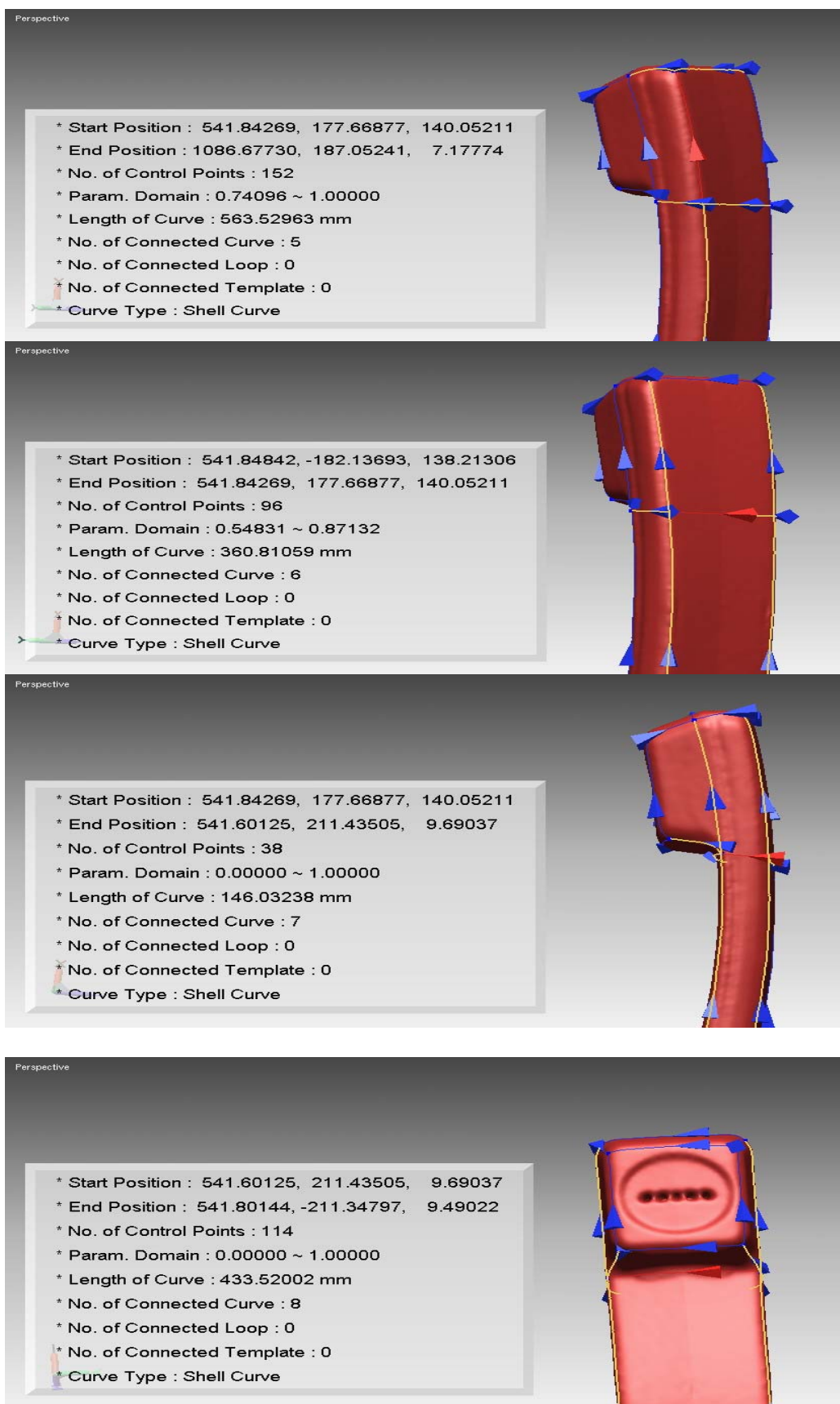




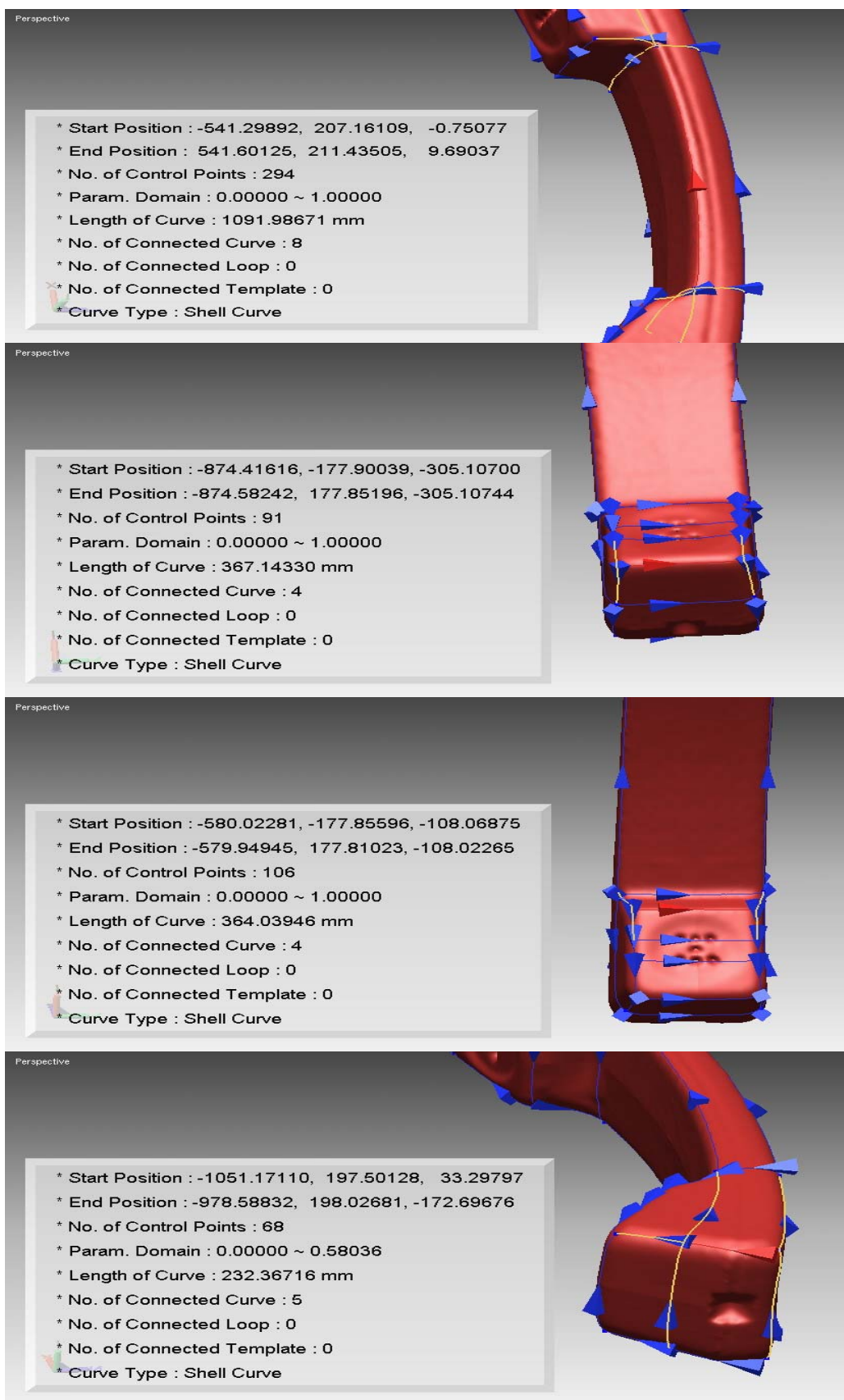


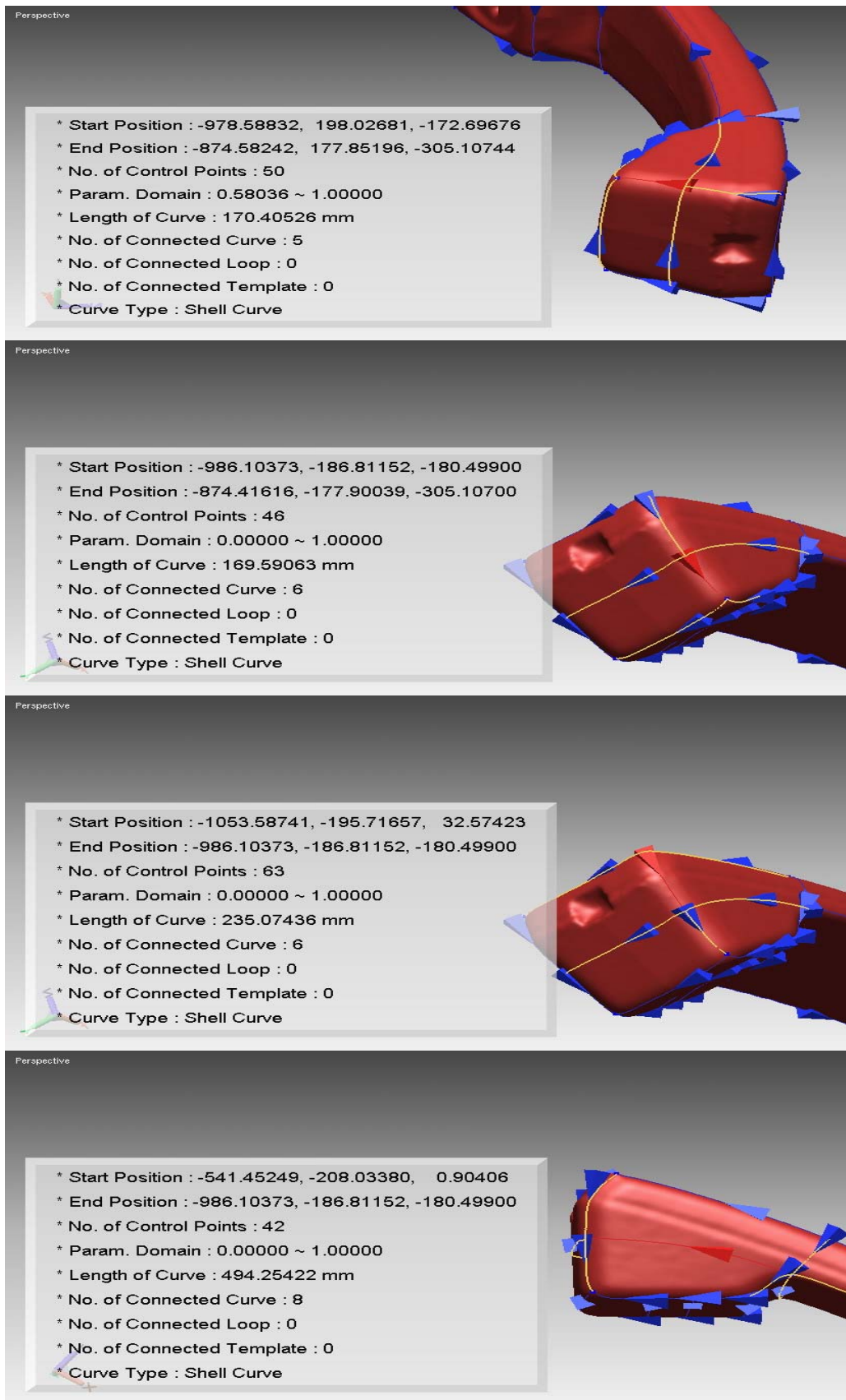




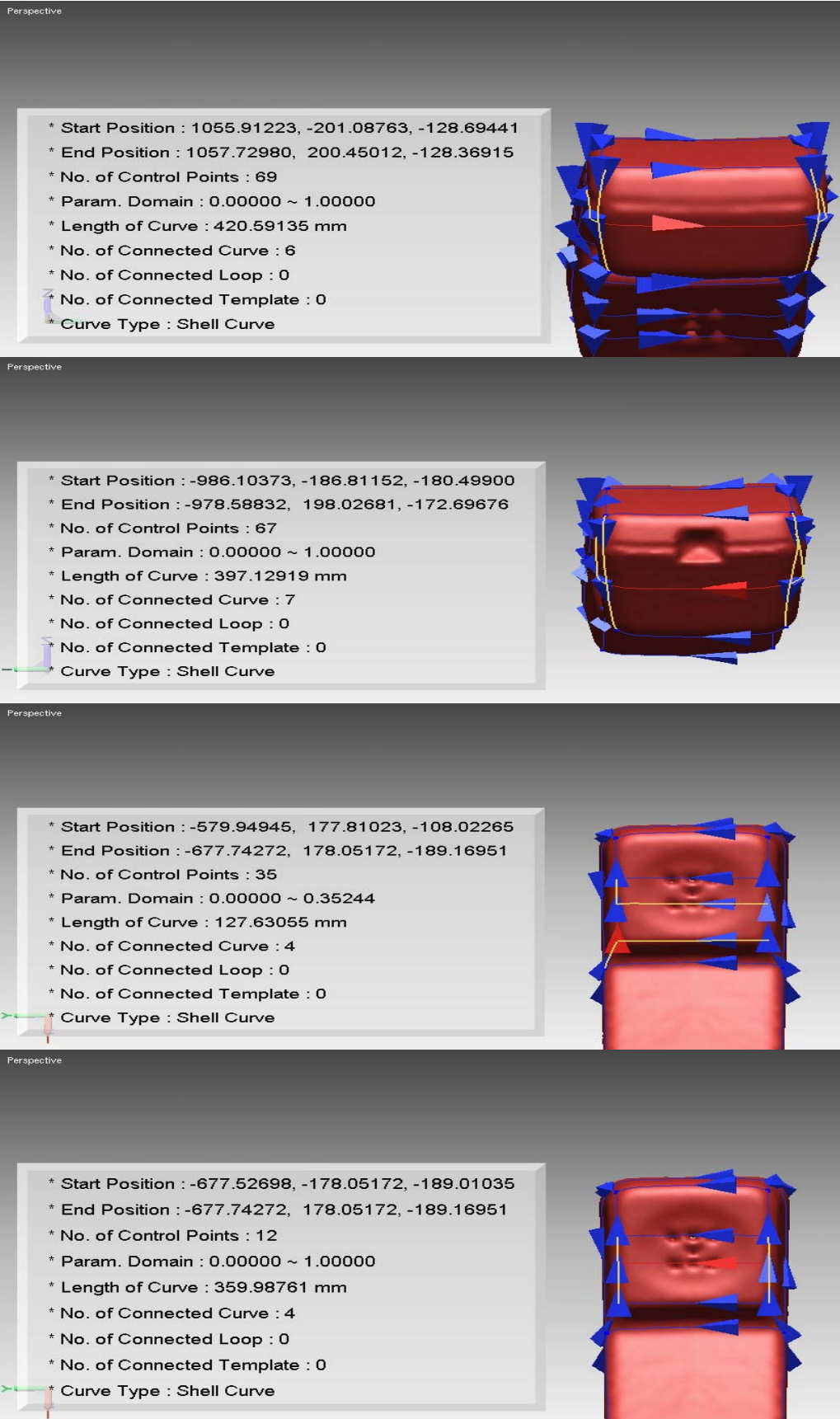


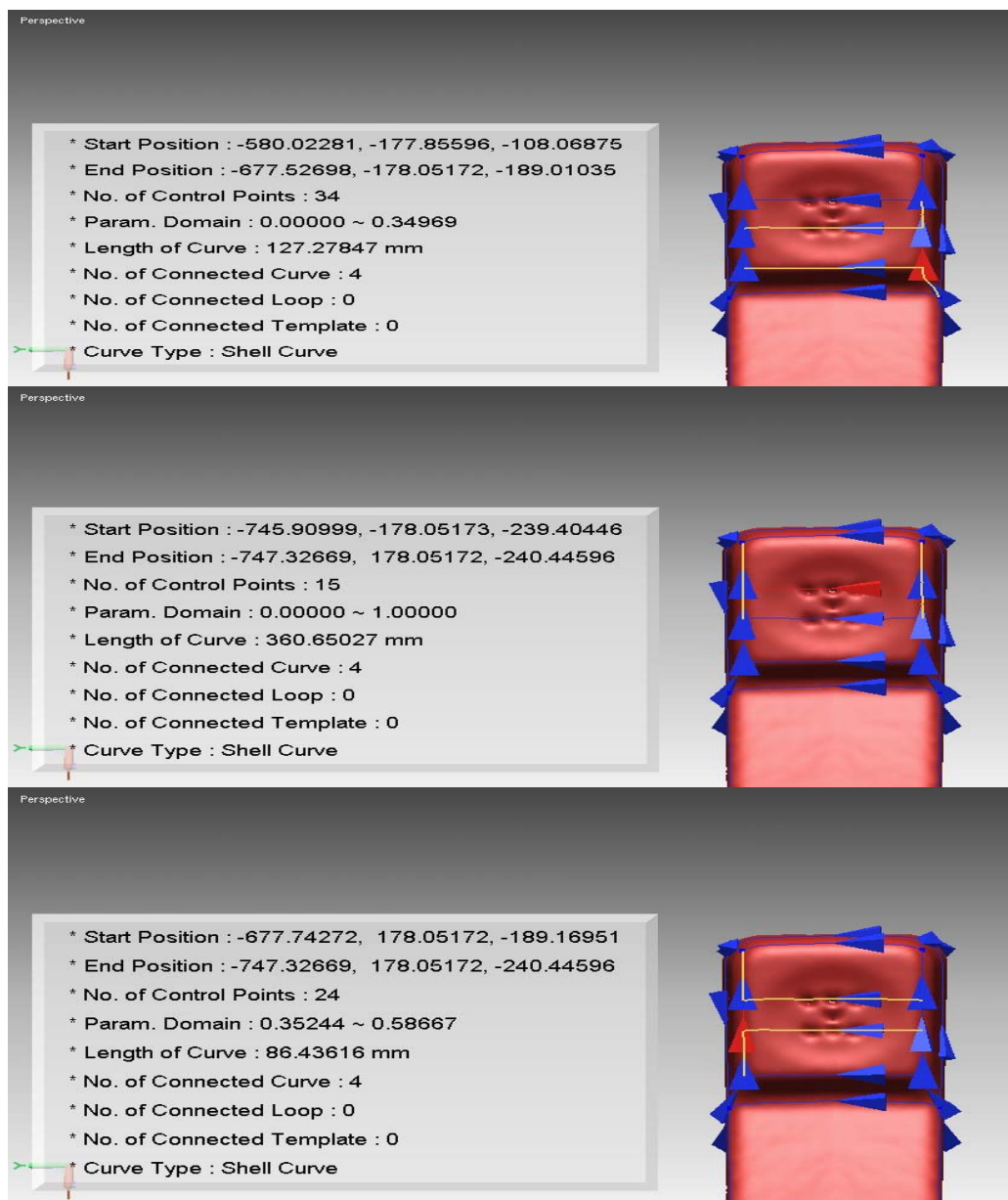


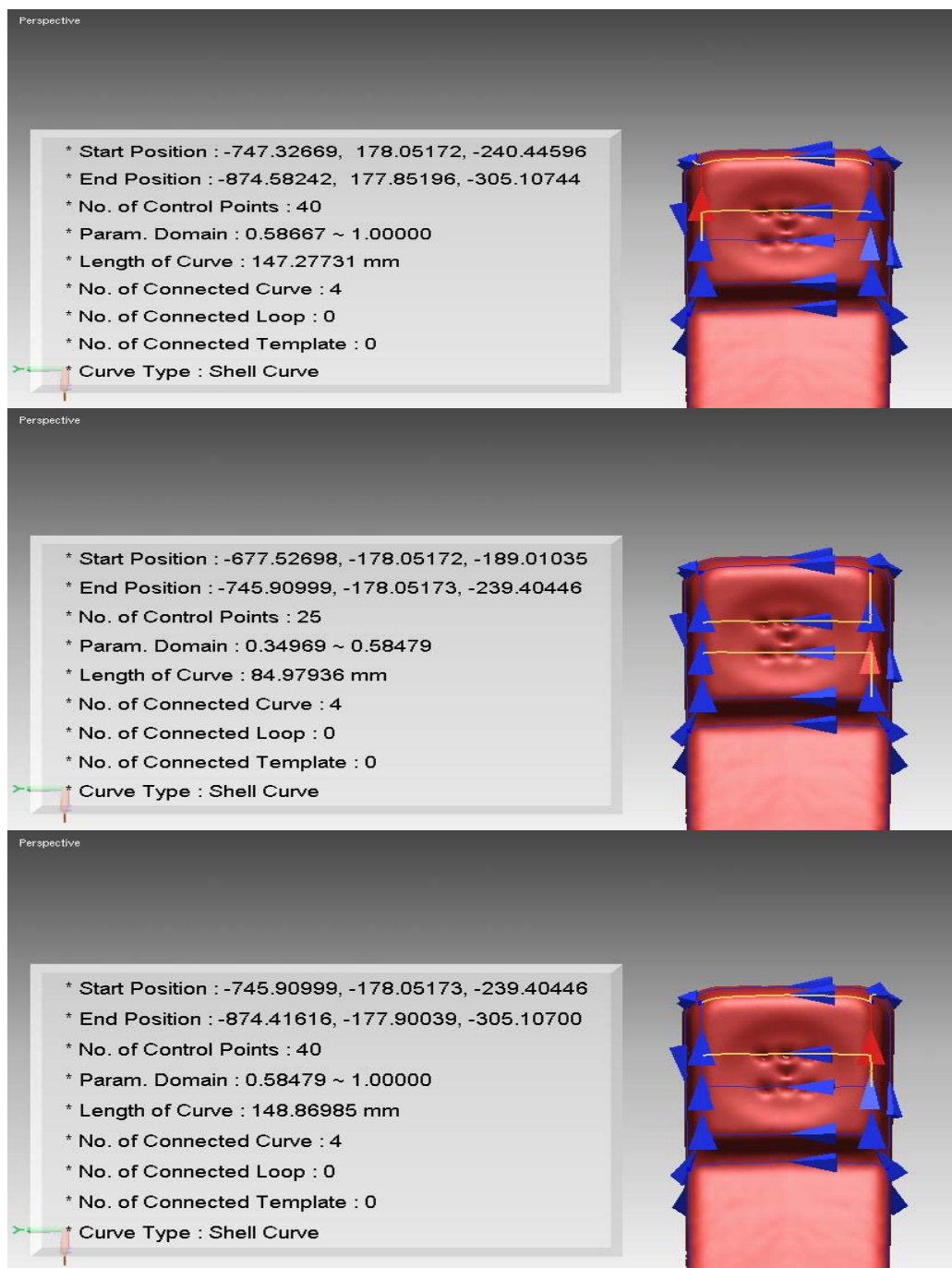










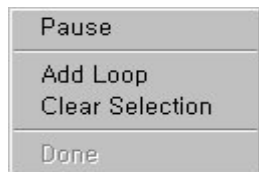


#### 4.2.4 SURFACE WORKBENCH

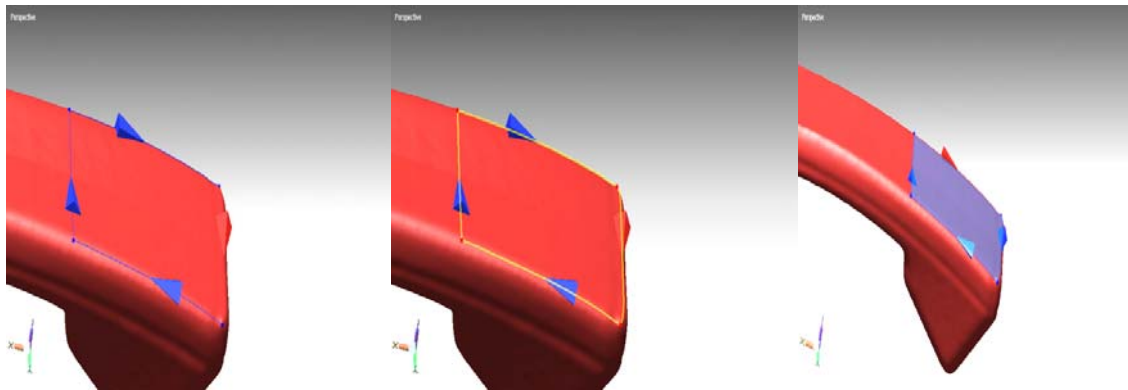
#### 4.2.4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Δημιουργώ untrimmed επιφάνειες στο μοντέλο του προηγούμενου workbench επιλέγοντας τη χρήση καμπύλων και όχι loops για τους λόγους που ανέφερα στην εισαγωγή του 3.5.

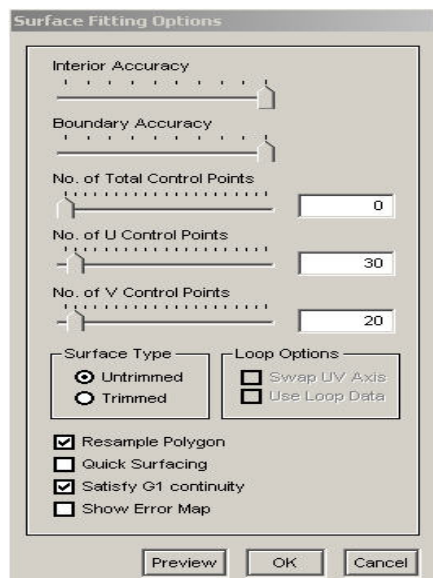
Εκτελώ την εντολή *Surface >> Create >> Polygon Fit >> By Curves* και επιλέγω 4 καμπύλες με φορά αντίστροφη των δεικτών του ρολογιού. Οι επιλεγμένες καμπύλες πρέπει να σχηματίζουν έναν κλειστό βρόγχο (loop) για τον καθορισμό του επιφανειακού μπαλώματος που θα παραχθεί. Η κατεύθυνση του loop συμπίπτει με την κατεύθυνση της καμπύλης η οποία επιλέχθηκε πρώτη (απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα στην εικόνα 4.106). Εφ' όσον ολοκληρώσω την επιλογή των καμπύλων με RMB εμφανίζεται το menu διαλόγου:



Αν δεν είμαι ικανοποιημένος από την επιλογή των καμπύλων επιλέγω *Clear Selection*, διαφορετικά *Add Loop* και ο βρόγχος απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα. Επιλέγοντας *Done* το εσωτερικό του loop εμφανίζεται μώβ και προκύπτει το menu της εικόνας 4.107.

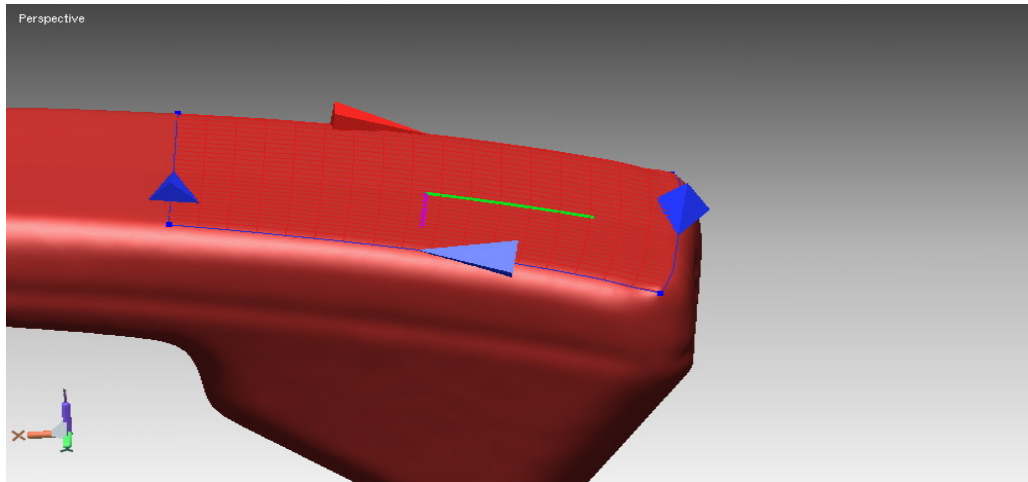


ΕΙΚΟΝΑ 4.106: ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΟΥ LOOP



Οι επιλογές *Interior* και *Boundary Accuracy* καθορίζουν την ποιότητα του εσωτερικού και του εξωτερικού της επιφάνειας. Ρυθμίζω και τις δύο στο max. Καθορίζω 30 και 20 τον αριθμό των σημείων ελέγχου της επιφάνειας στις δύο διευθύνσεις U και V. Η διεύθυνση U έχει τη διεύθυνση της πρώτης καμπύλης που επέλεξα (απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα στην 4.108), ενώ η διεύθυνση της V είναι αυτή της δεύτερης επιλεγμένης καμπύλης (πάντα με φορά αντίστροφη των δεικτών του ρολογιού). Επιλέγω τη δημιουργία *Untrimmed* επιφάνειας και *Resample Polygon* για ποιοτικότερο αποτέλεσμα. Η επιλογή *Satisfy G1 cont.* προϋποθέτει δύο επιφάνειες για να εφαρμοστεί (εξασφαλίζει την εφαπτομενική τους συνέχεια) και εκτελώ την εντολή χωρίς να την επιλέξω. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.108.

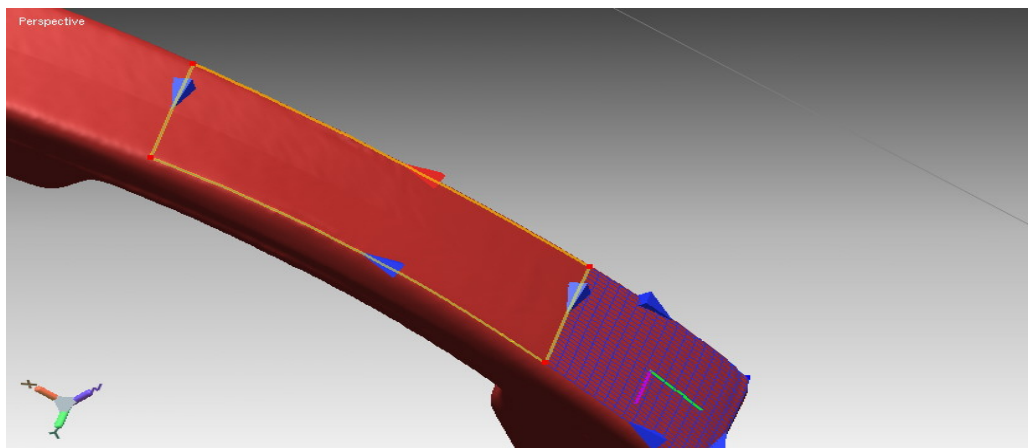
ΕΙΚΟΝΑ 4.107: SURFACE MENU.



ΕΙΚΟΝΑ 4.108 : ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ LOOP ΤΗΣ 4.106.

Ο βιολετί άξονας συμβολίζει την  $U$  διεύθυνση, ενώ ο πράσινος την  $V$ . Η πλεγματοποιημένη επιφάνεια αποτελείται από έναν αριθμό βρόγχων (meshes) στις δύο διευθύνσεις  $U$  και  $V$ . Ο αριθμός τους για κάθε μια από τις δύο διευθύνσεις είναι ίσος με τον αριθμό των σημείων ελέγχου μειωμένο κατά 3. Έτσι, για την  $U$  διεύθυνση έχω  $(30 - 3 =) 27$  meshes, ενώ για την  $V$  διεύθυνση έχω 17. Η επιφάνεια αποτελείται συνολικά από  $27 * 17 = 459$  βρόγχους.

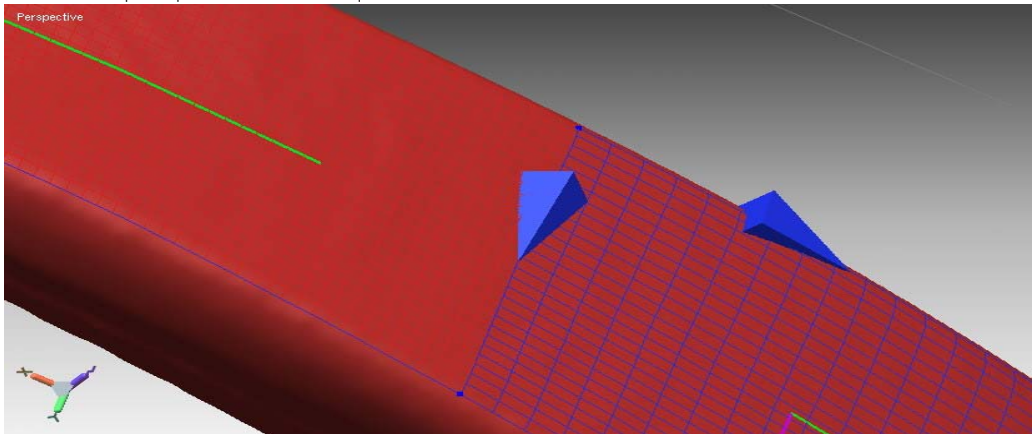
Σχεδιάζω την επόμενη επιφάνεια στα αριστερά της πρώτης. Επιλέγω τις 4 νέες καμπύλες πάλι με φορά αντιστροφή των δεικτών του ρολογιού και σχηματίζω το νέο loop. Φροντίζω η σειρά επιλογής των καμπύλων να είναι η ίδια με αυτή που ακολούθησα για τη δημιουργία του προηγούμενου loop, ώστε να προκύψουν οι ίδιες  $U$ ,  $V$  διευθύνσεις με την πρώτη επιφάνεια. Είναι καθοριστικής σημασίας οι βρόγχοι στα όρια δύο γειτονικών επιφανειών να ταυτίζονται στα άκρα της κοινής τους περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο, μπορώ αργότερα να εξασφαλίσω συνέχεια πρώτου και δευτέρου βαθμού ανάμεσα στις δύο επιφάνειες, η οποία είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ενός μοντέλου το οποίο αποτελείται από υδατοστεγείς επιφάνειες. Για το λόγο αυτό κατά την επιλογή των σημείων ελέγχου της νέας επιφάνειας, διατηρώ τον ίδιο αριθμό στην  $U$  διεύθυνση (30) και επιλέγω 80 στην  $V$  διεύθυνση (καθώς εκτείνεται περισσότερο από την πρώτη στη διεύθυνση αυτή).



ΕΙΚΟΝΑ 4.109: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΝΕΟΥ LOOP.

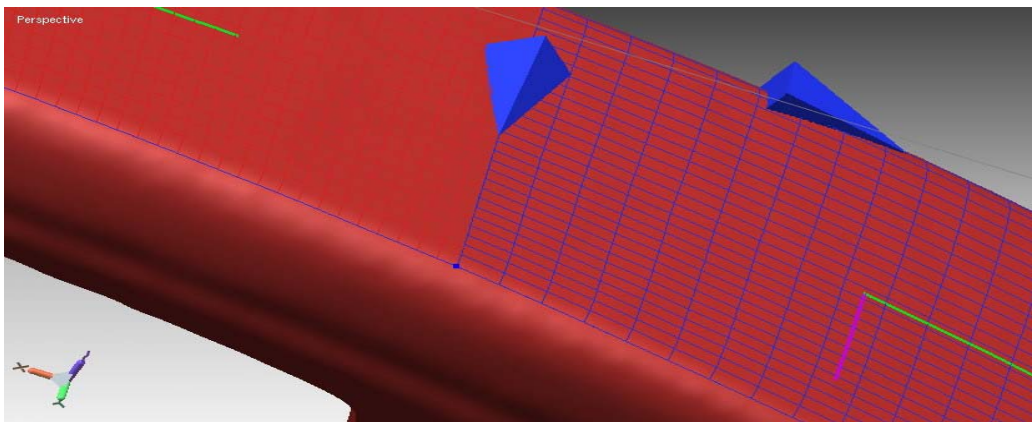


Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.110.



ΕΙΚΟΝΑ 4.110: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΜΠΑΛΩΜΑΤΟΣ.

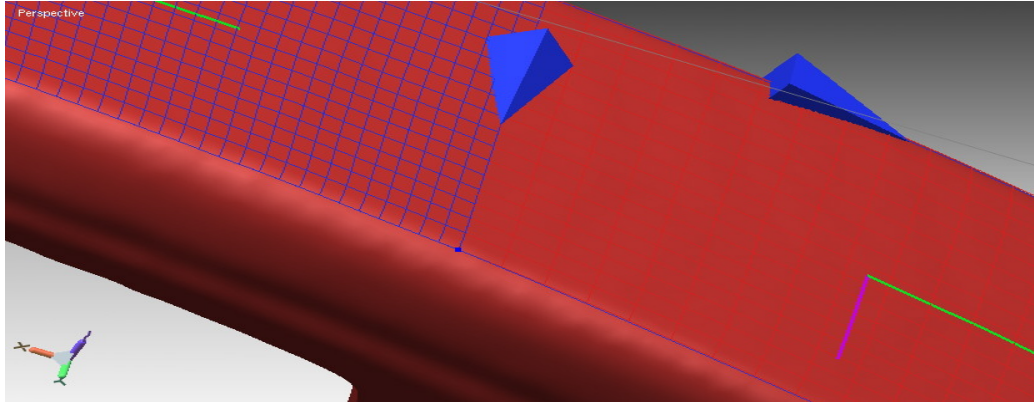
Παρατηρώ ότι οι βρόγχοι των δύο επιφανειών συνδέονται στα άκρα τους. Δημιουργώ ξανά τη δεύτερη επιφάνεια με διαφορετικό αριθμό σημείων ελέγχου στις δύο διευθύνσεις U και V (20 και 80 αντίστοιχα).



ΕΙΚΟΝΑ 4.111: ΕΠΑΝΑΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΜΠΑΛΩΜΑΤΟΣ.

Είναι φανερό ότι τα όρια των βρόγχων στα άκρα των γειτονικών περιοχών δεν ταυτίζονται. Εκτελώ την εντολή *Surface >> Edit >> Propagate Isocurve*, ώστε να πετύχω την ταύτιση των ορίων τους. Επιλέγω πρώτα την αριστερή επιφάνεια και στη συνέχεια τη δεξιά. Με αυτό τον τρόπο, ο αριθμός των σημείων ελέγχου της δεξιάς επιφάνειας στη U διεύθυνση αλλάζει από 30 σε 20 και τα όρια των δύο επιφανειών ταυτίζονται. (Αν επέλεγα πρώτα τη δεξιά και μετά την αριστερή επιφάνεια θα πετύχαινα και πάλι ταύτιση των βρόγχων των δύο επιφανειών, με τη διαφορά ότι θα άλλαζε ο αριθμός των σημείων ελέγχου της αριστερής επιφάνειας από 20 σε 30).



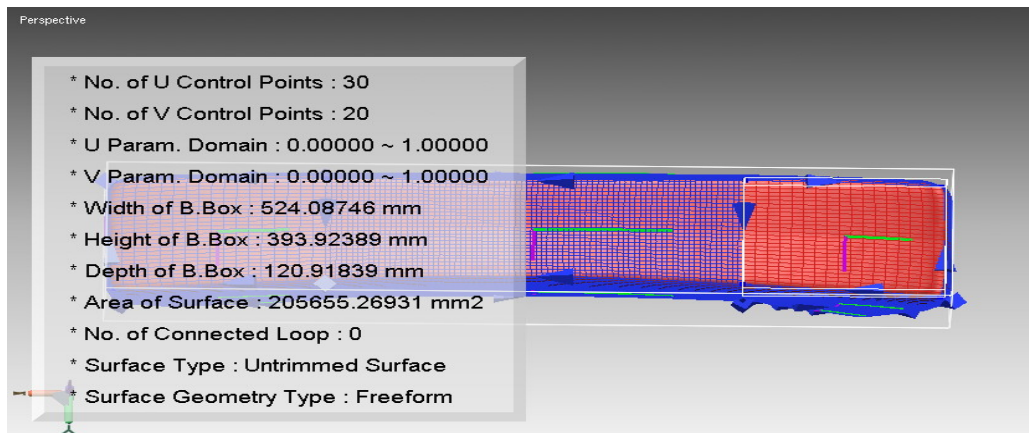


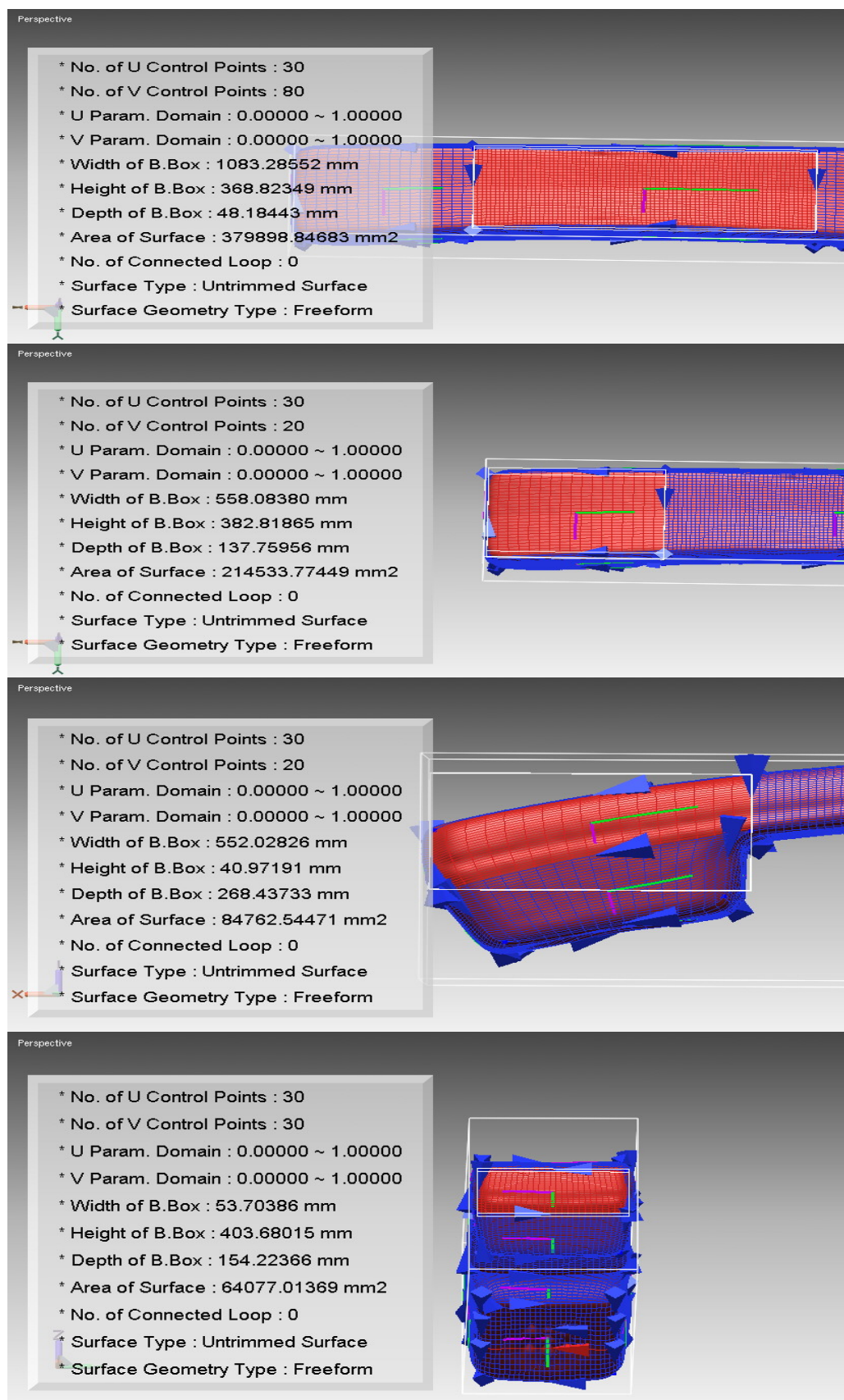
ΕΙΚΟΝΑ 4.112: ΤΑΥΤΙΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΩΝ MESHES ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.

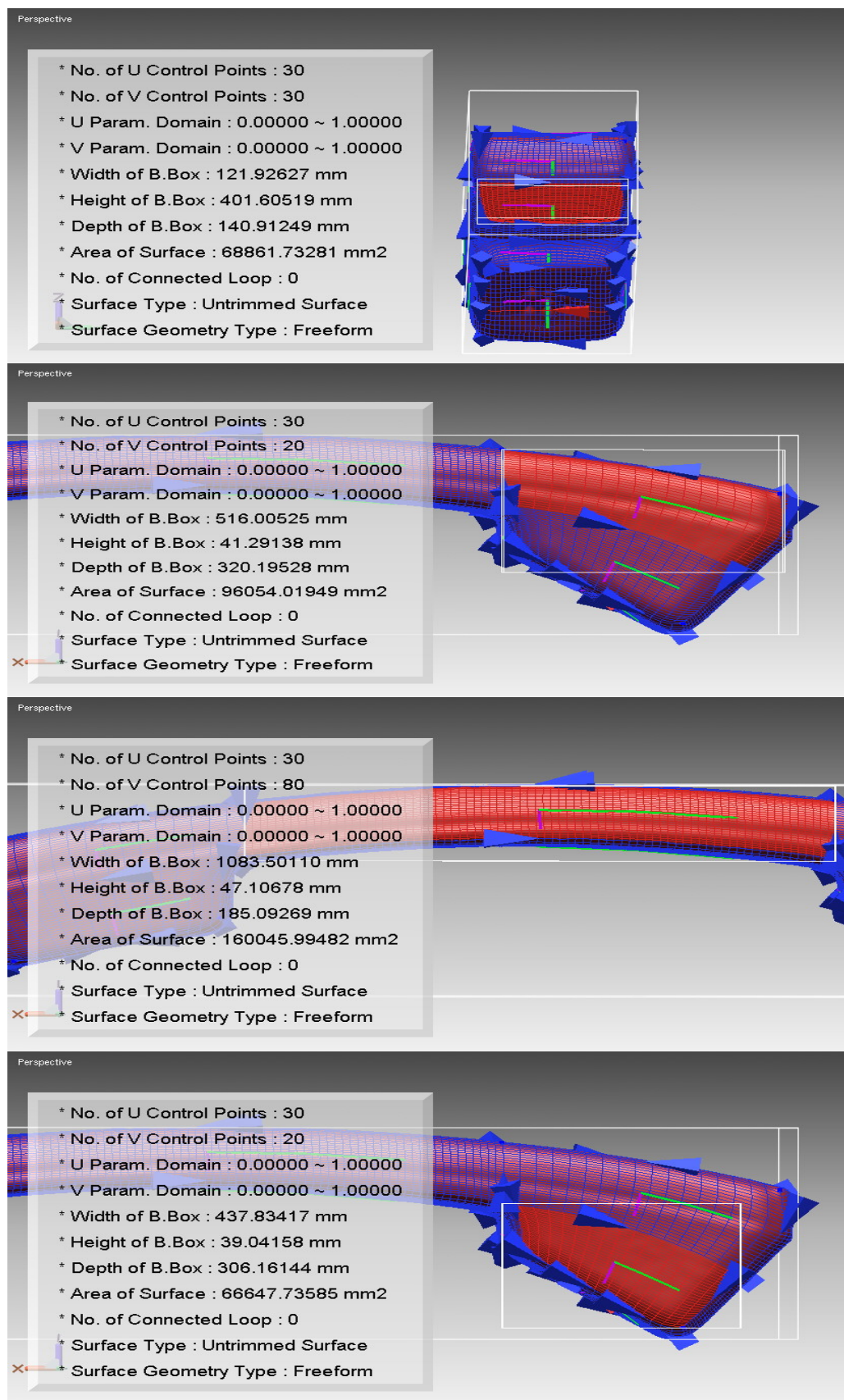
Η εντολή *Surface >> Edit >> Propagate Isocurve* **δεν** εφαρμόζεται στην περίπτωση επιφανειών οι οποίες έχουν δημιουργηθεί με χρήση *loops* και όχι καμπύλων (άλλο ένα βασικό μειονέκτημα της μεθόδου).

Με αυτό τον τρόπο, σχεδιάζω όλες τις επιφάνειες του μοντέλου με βάση τις καμπύλες που δημιούργησα στο προηγούμενο *workbench*. Κάθε *untrimmed* επιφάνεια δημιουργείται από 4 καμπύλες ενωμένες σε μορφή κλειστού βρόγχου. Η επιλογή των σημείων ελέγχου στις δύο διευθύνσεις μιας επιφάνειας καθορίζεται από το σχήμα της (ορθογώνιο, τετράγωνο). Σε κάθε περίπτωση, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σημείων ελέγχου που θα επιλέξω στις δύο διευθύνσεις, τόσο ακριβέστερα θα προσεγγίζει η επιφάνεια το τελικό μοντέλο. Φροντίζω όμως να μην επιλέξω υπερβολικά μεγάλο αριθμό σημείων ελέγχου, γιατί με αυτό τον τρόπο έχω μειωμένη δυνατότητα τροποποίησης και ελέγχου των επιφανειών στο στάδιο που εξασφαλίζω συνέχεια θέσης και επαφτομένης. Ακόμη φροντίζω να επιλέξω τον κατάλληλο αριθμό σημείων ελέγχου για κάθε επιφάνεια, ώστε τα όρια των *meshes* δύο γειτονικών επιφανειών να ταυτίζονται.

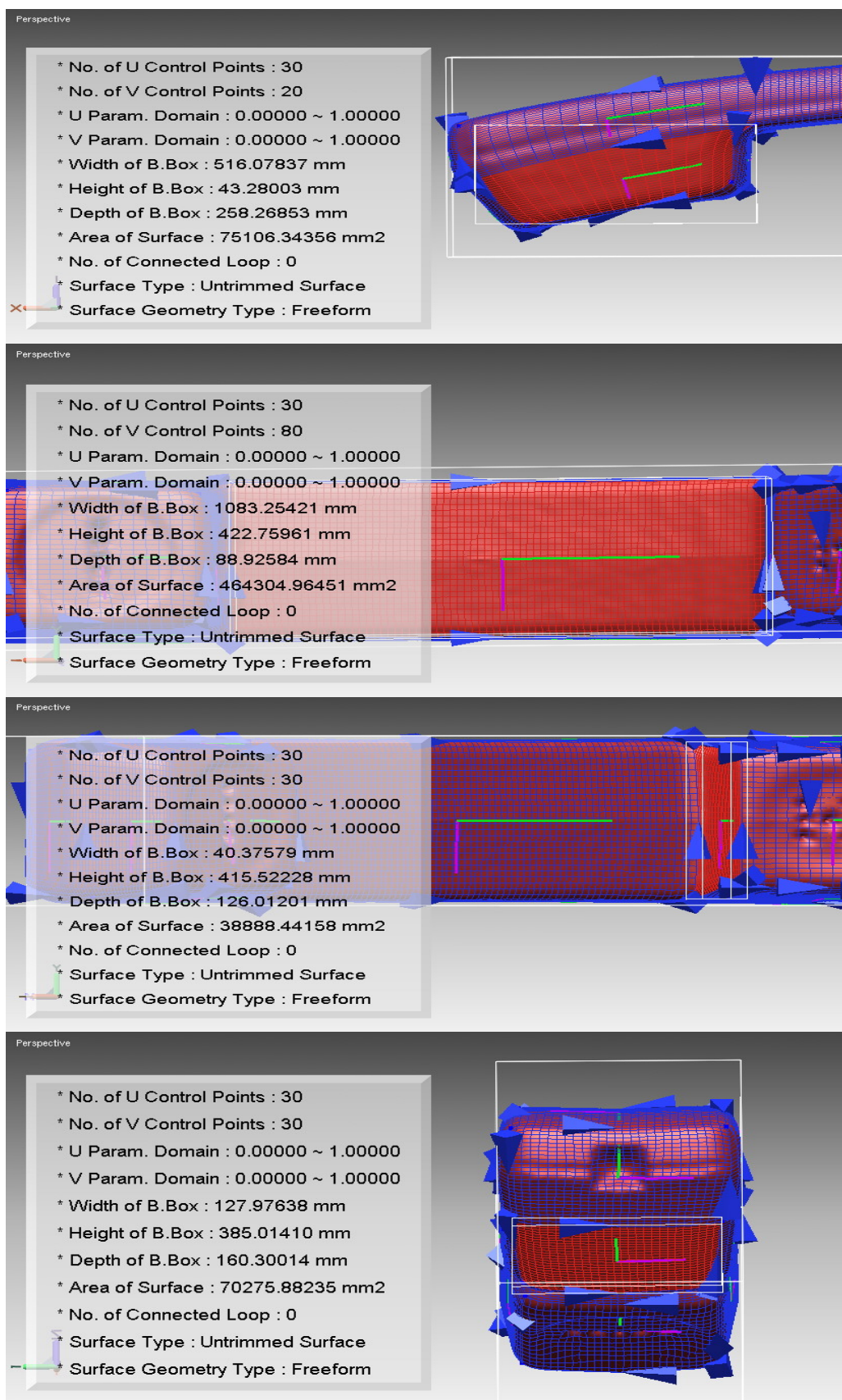
Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση των 22 επιφανειών του μοντέλου. Για κάθε μια από αυτές εμφανίζονται πληροφορίες για τον αριθμό των σημείων ελέγχου στις δύο διευθύνσεις *U* και *V*, το πεδίο ορισμού των παραμέτρων, το εμβαδό της και τις διαστάσεις του *bounding box* που τις περιβάλλει. Η επιφάνεια στην οποία αναφερόμαστε εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα και οι υπόλοιπες με μπλέ χρώμα.

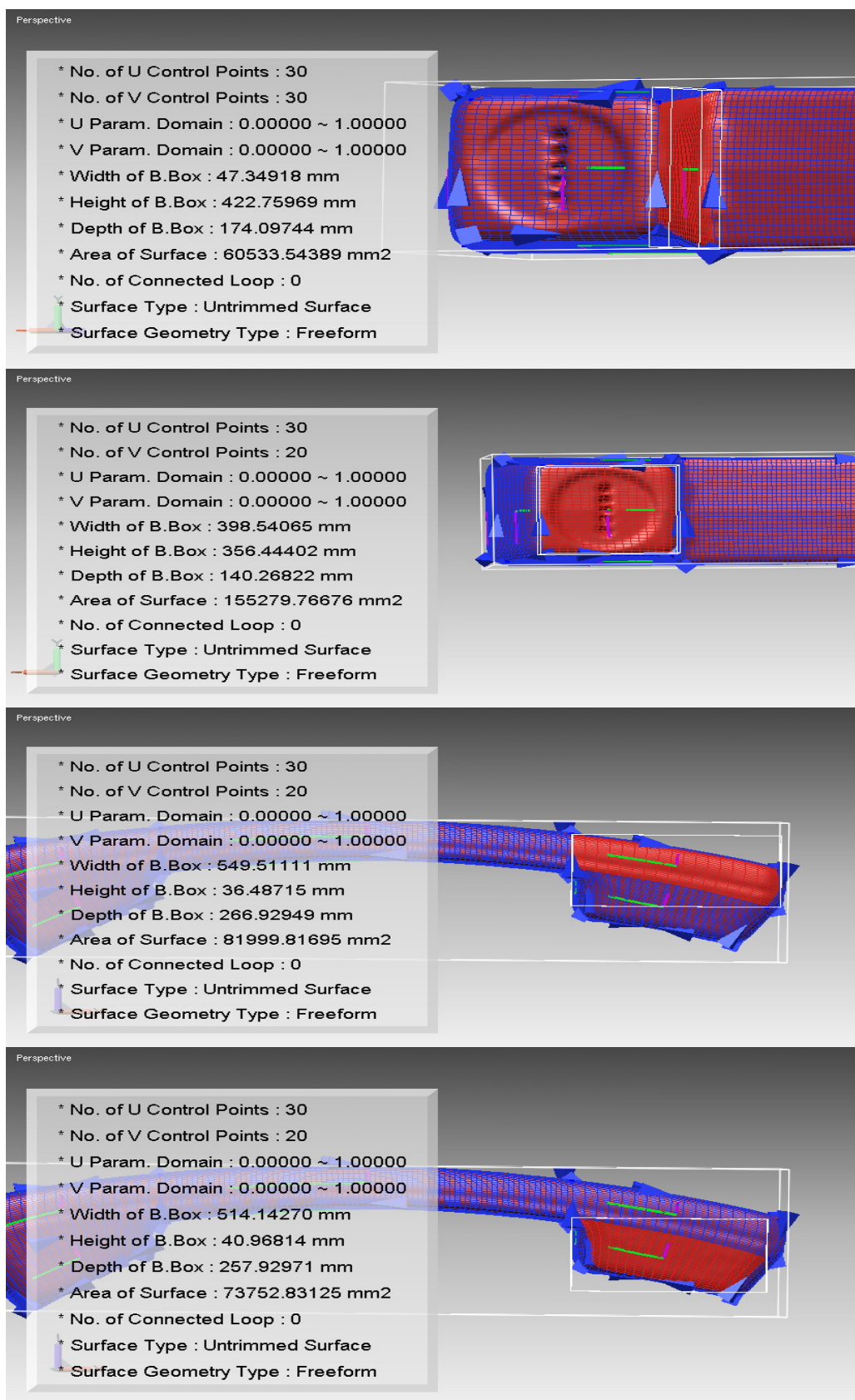


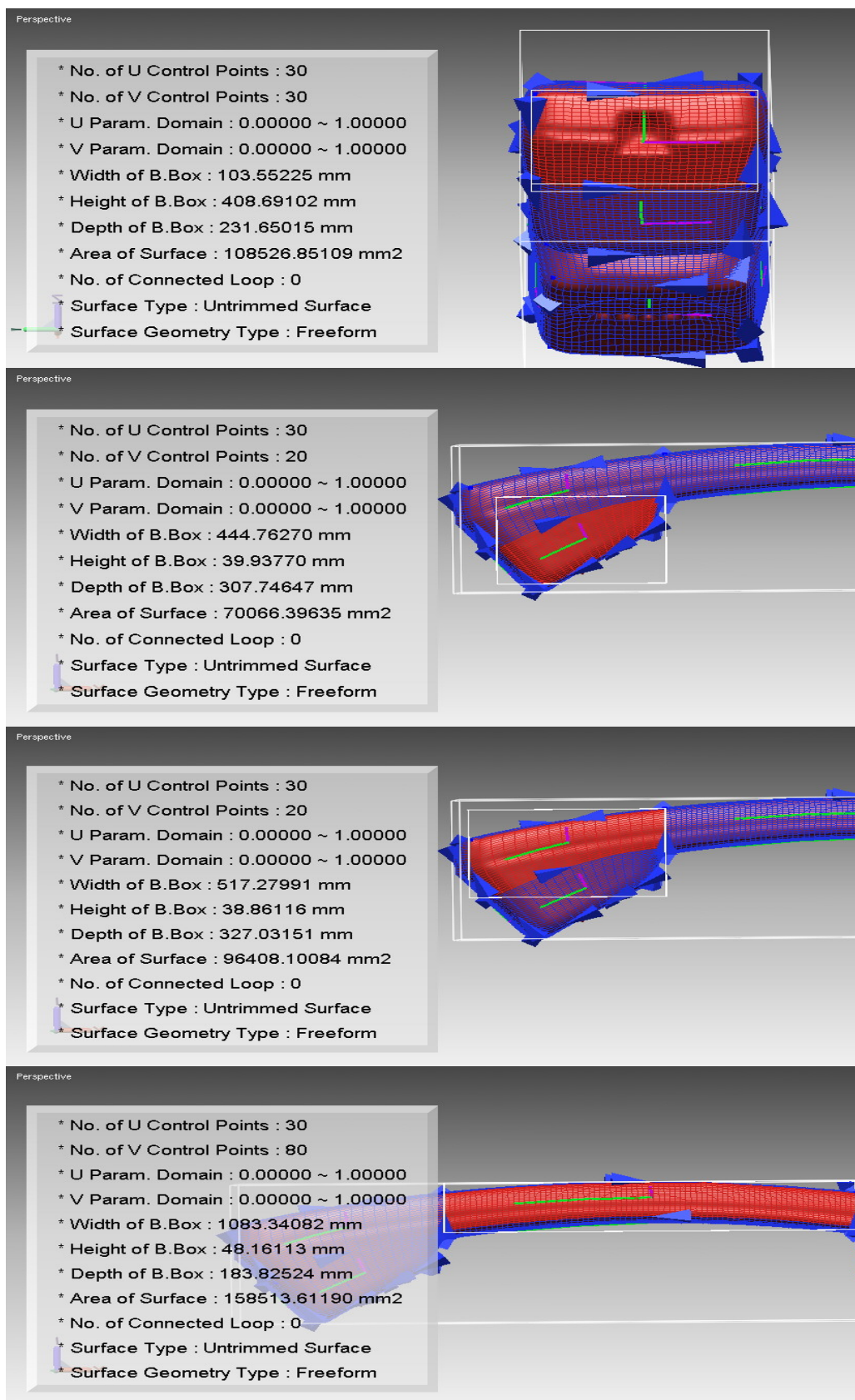




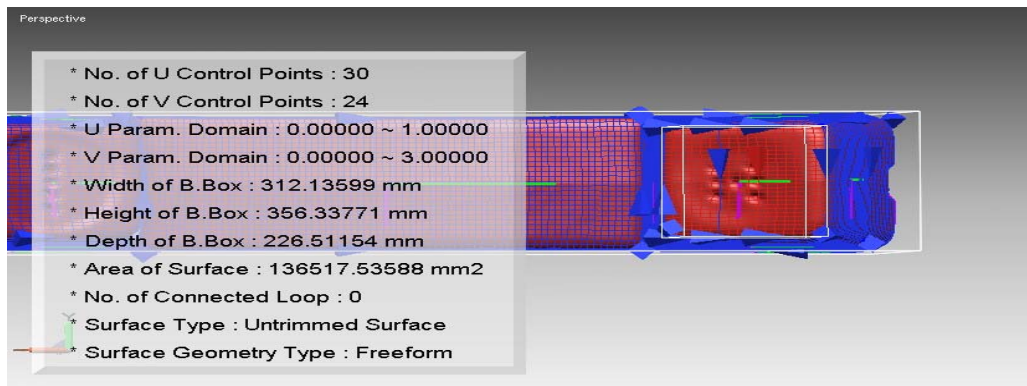




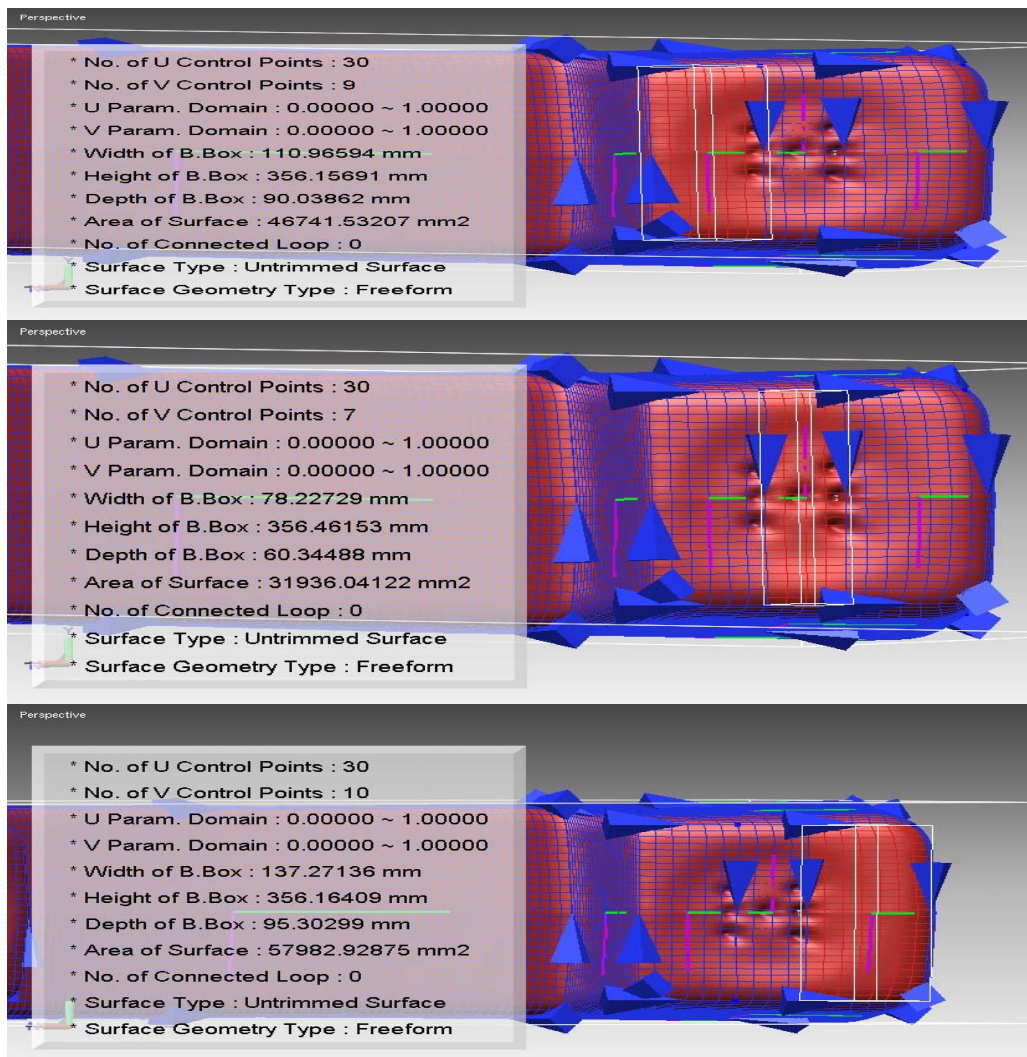








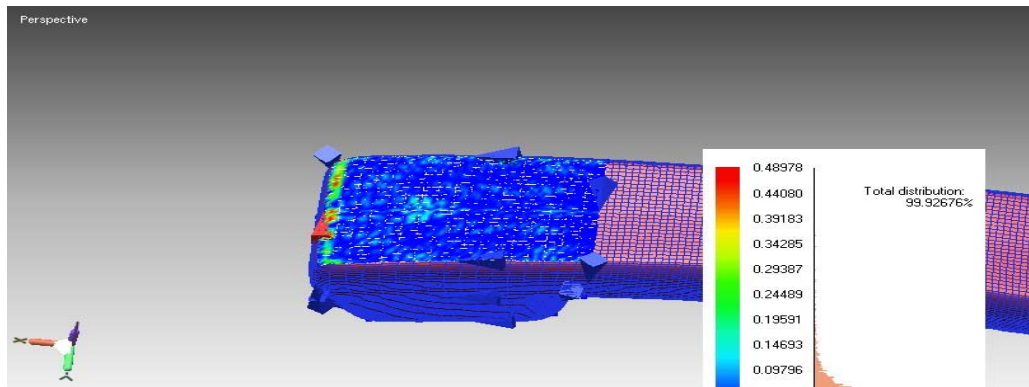
Η τελευταία επιφάνεια προέκυψε από την ένωση των τριών επιφανειών που ακολουθούν με χρήση της εντολής *Surface >> Tool >> Join*. Η εντολή αυτή ενώνει δύο ή περισσότερες NURBS επιφάνειες σε μία υπό την προϋπόθεση ότι έχουν τον ίδιο αριθμό σημείων ελέγχου σε μια τουλάχιστον από τις δύο διευθύνσεις U, V. Στην προκειμένη περίπτωση αυτό συμβαίνει για τη U διεύθυνση.



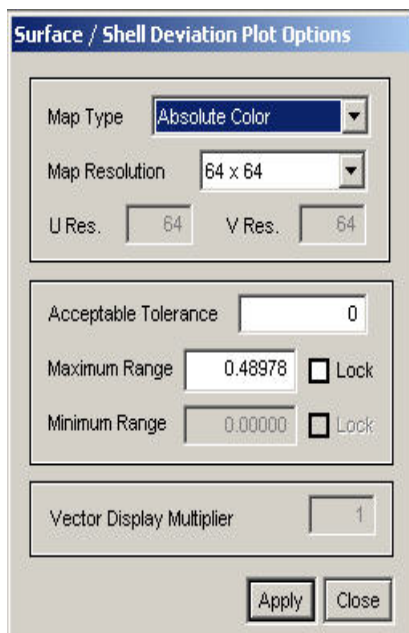
ΕΙΚΟΝΑ 4.113: ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΠΟΥ ΣΥΓΧΩΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΕ ΜΙΑ.

#### 4.2.4.2 ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Για κάθε μια από τις επιφάνειες που δημιουργήσα αξιολογώ την ποιότητά της χρησιμοποιώντας την εντολή *Surface >> Analyze >> Surface / Shell Deviation*. Οι περιοχές στις οποίες εμφανίζεται απόκλιση ανάμεσα στην επιφάνεια και το μοντέλο απεικονίζονται σε μια έγχρωμη διαβαθισμένη κλίμακα. Εμφανίζονται ακόμη η απόλυτη τιμή της απόκλισης, η μέση τιμή της και η συχνότητα εμφάνισής της στις διάφορες περιοχές. Με τον τρόπο αυτό ελέγχω το σφάλμα κατά την προσαρμογή της επιφάνειας στο μοντέλο. Εφαρμόζω την εντολή για την επιφάνεια της εικόνας 4.114 και προκύπτει το menu της εικόνας 4.115.



ΕΙΚΟΝΑ 4.114: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.



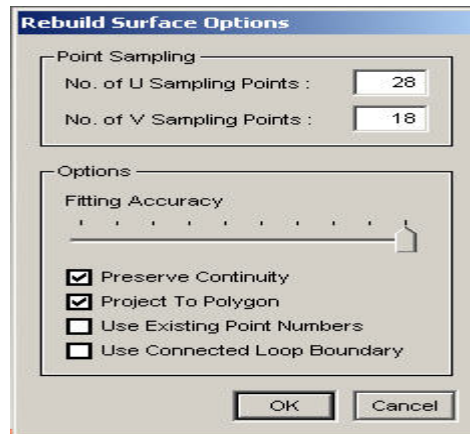
Στο Map Type καθορίζω το είδος της απεικόνισης. Με Absolute Color η απόκλιση ανάμεσα στην επιφάνεια και το μοντέλο απεικονίζεται με χρήση απόλυτων τιμών, ενώ με Signed Color εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα για περιοχές πάνω από την επιφάνεια του μοντέλου και με μπλέ χρώμα για περιοχές κάτω από αυτήν. Επιλέγω Absolute Color. Στο Map Resolution επιλέγω ανάλυση 64\*64 της έγχρωμης κλίμακας καθώς υψηλότερη ανάλυση οδηγεί σε κατάρρευση του συστήματος. Στο Acceptable Tolerance εισάγω ένα όριο, πάνω από το οποίο θα εμφανίζεται η απόκλιση. Επιλέγω το 0 και εμφανίζεται η ολική απόκλιση.

Στο Maximum Range εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της απόκλισης, ενώ στο Minimum Range η ελάχιστη (η τελευταία καθορίζεται από το Acceptable Tolerance).

ΕΙΚΟΝΑ 4.115: DEVIATION MENU.

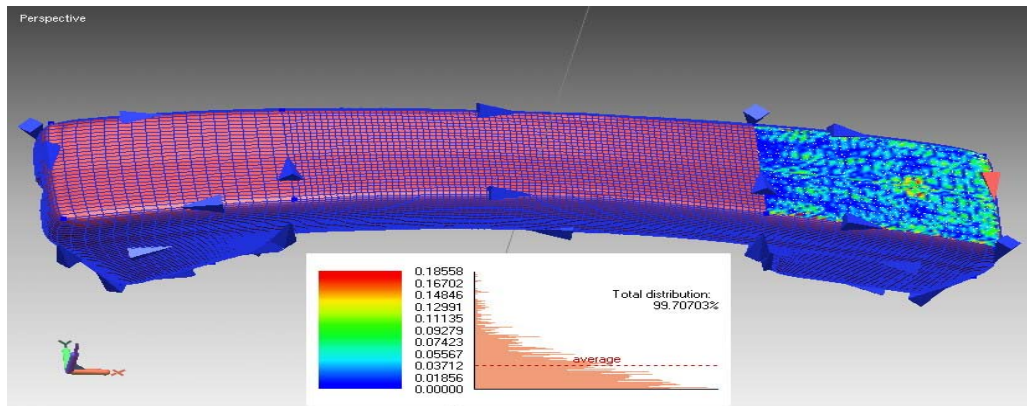
Η απόκλιση θεωρείται ικανοποιητική όταν η μέγιστη τιμή της είναι μικρότερη του 1 mm. Στην προκειμένη περίπτωση είναι 0.48978 και ο μέσος όρος της περίπου 0.09796 (σκούρα μπλέ επιφάνεια). Θα προσπαθήσω να την μειώσω σε μικρότερες τιμές (για τη συγκεκριμένη επιφάνεια δεν είναι αναγκαίο, αλλά το εκτελώ ενδεικτικά ως οδηγό για τις επιφάνειες στις οποίες απαιτείται μείωση της απόκλισης).

Εφαρμόζω την εντολή Surface >> Tool >> Rebuild για να ξαναδημιουργήσω την επιφάνεια και εμφανίζεται το menu διαλόγου της εικόνας 4.116. Επιλέγω τη δημιουργία της επιφάνειας με τον ίδιο αριθμό σημείων ελέγχου που χρησιμοποίησα και για την αρχική, ώστε να διατηρηθεί η συνέχειά της με τους βρόγχους των γειτονικών επιφανειών. Έτσι, επιλέγω 28 και 18 Sampling Points για τις διευθύνσεις U και V αντίστοιχα. Η ελαχιστοποίηση της απόκλισης επιτυγχάνεται με τη μεγιστοποίηση της επιλογής Fitting Accuracy, οπότε μεγιστοποιείται και η ακρίβεια προσαρμογής της επιφάνειας στο μοντέλο. Επιλέγω Preserve Continuity για να διατηρήσω τη συνέχεια θέσης της με τις γειτονικές επιφάνειες (θα αναφερθώ στην επόμενη παράγραφο) και Project To Polygon ώστε να δημιουργηθεί shell και όχι space curve.



ΕΙΚΟΝΑ 4.116: REBUILD MENU.

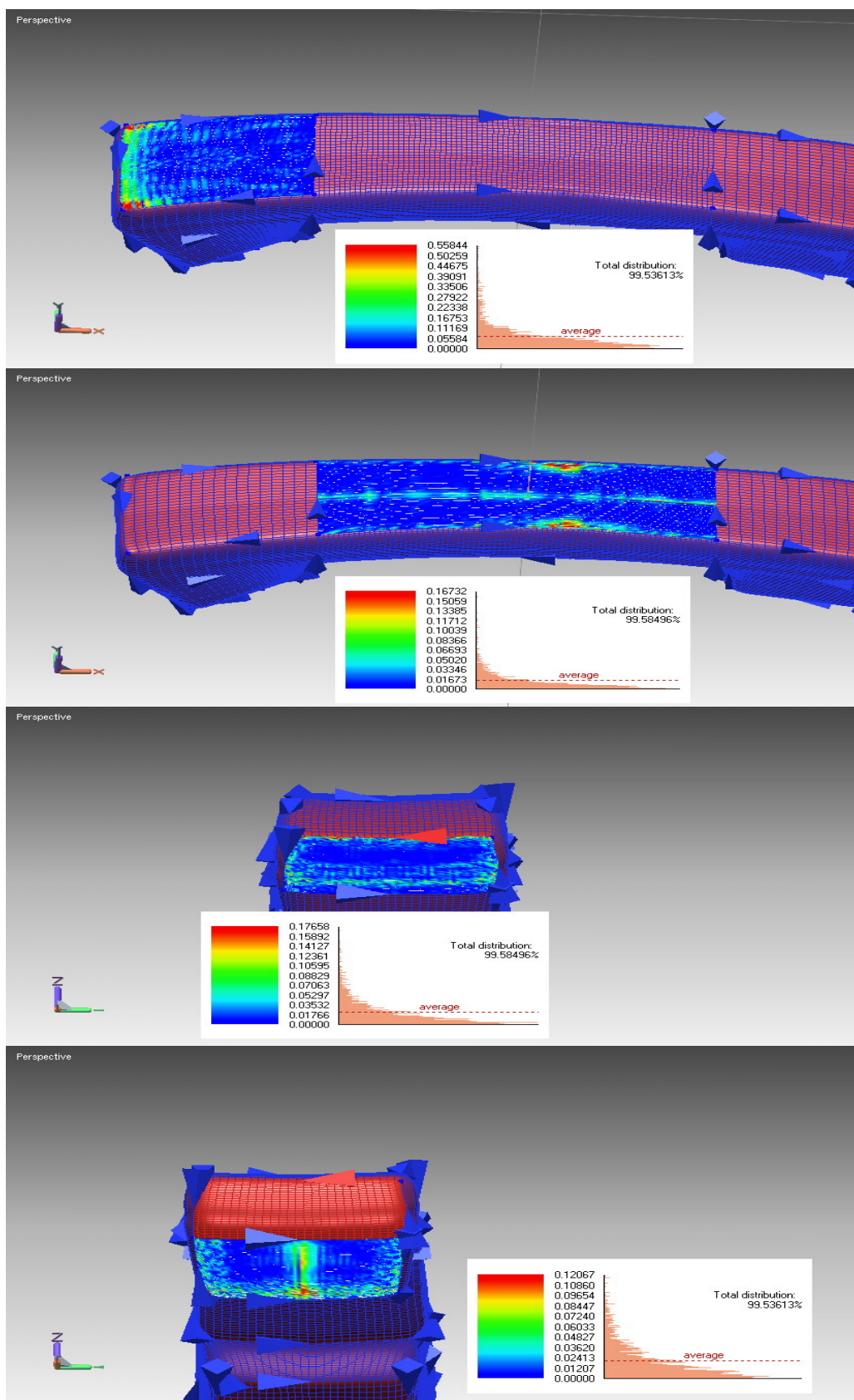
Στην εικόνα 4.117 παρατηρώ ότι η μέγιστη τιμή της απόκλισης μειώθηκε σε 0.18558 mm (από 0.48978) και ο μέσος όρος της σε 0.03712mm (από 0.09796).

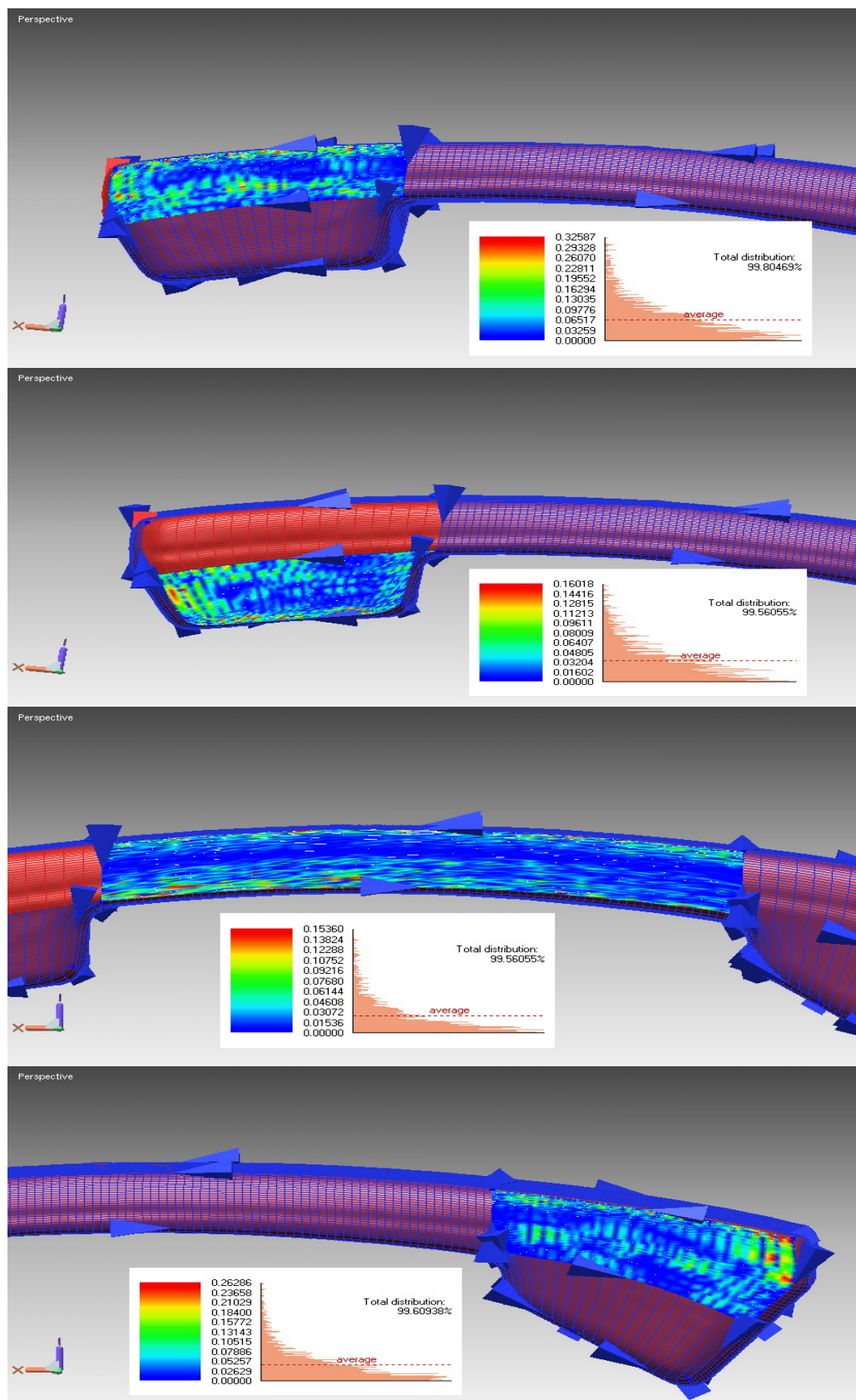


ΕΙΚΟΝΑ 4.117: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΝΕΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.

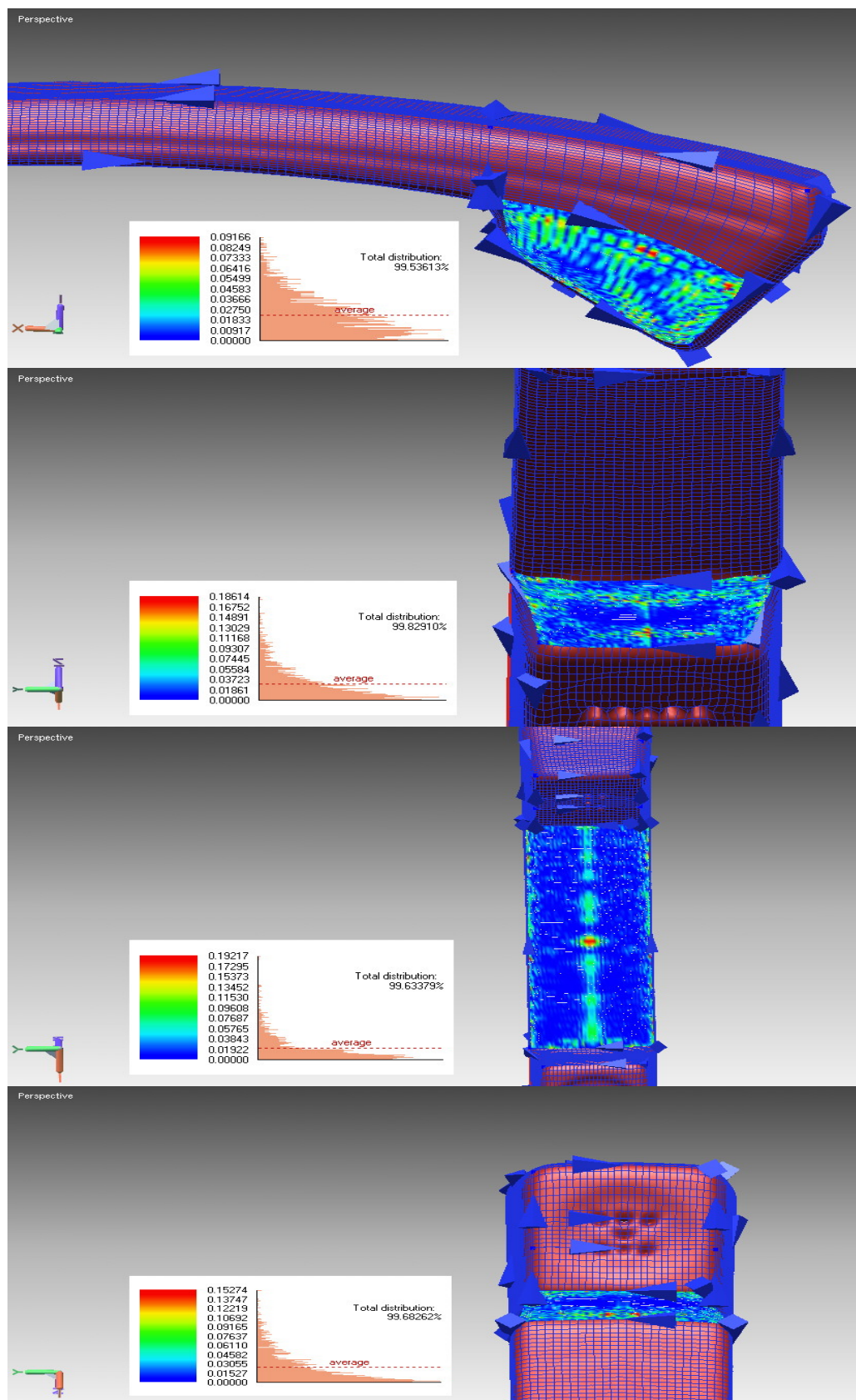
Για ορισμένες από αυτές ήταν αναγκαία η εξομάλυνσή τους με εφαρμογή της εντολής Rebuild για τη μείωση της απόκλισης. Κατά την αναδημιουργία τους χρησιμοποίησα τον ίδιο αριθμό σημείων ελέγχου με την αρχική επιφάνεια και επέλεξα μεγιστοποίηση του Fitting Accuracy.

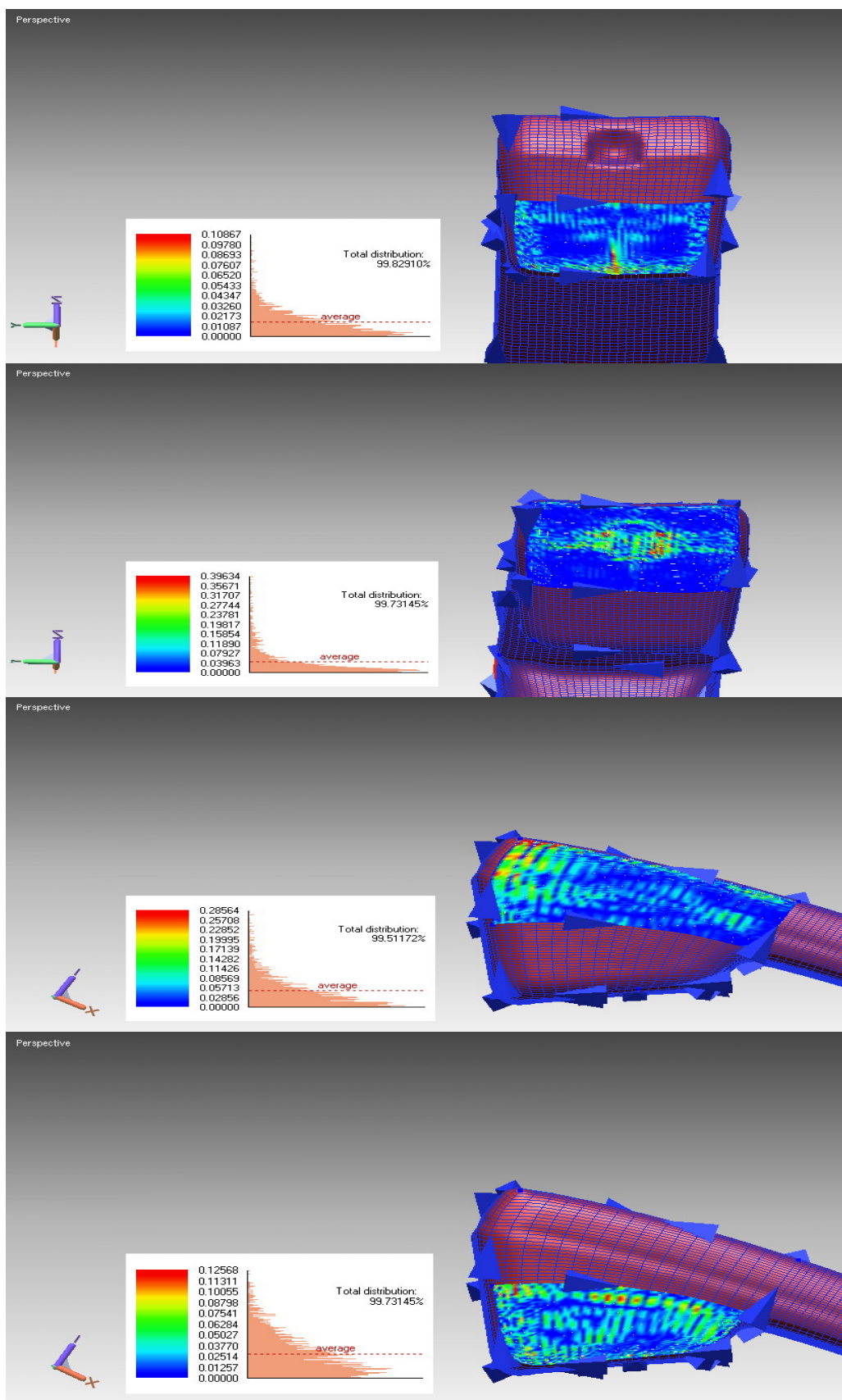


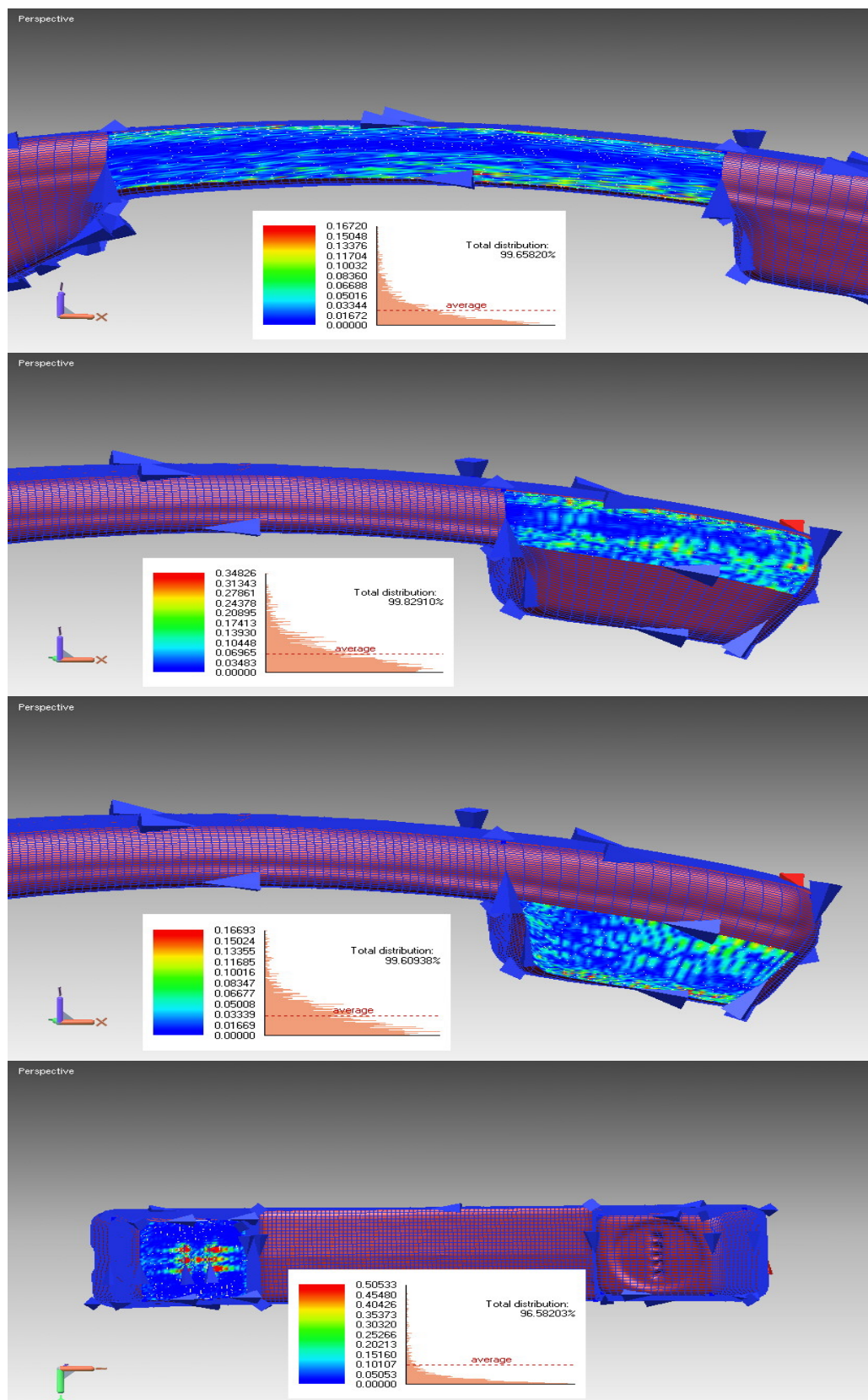










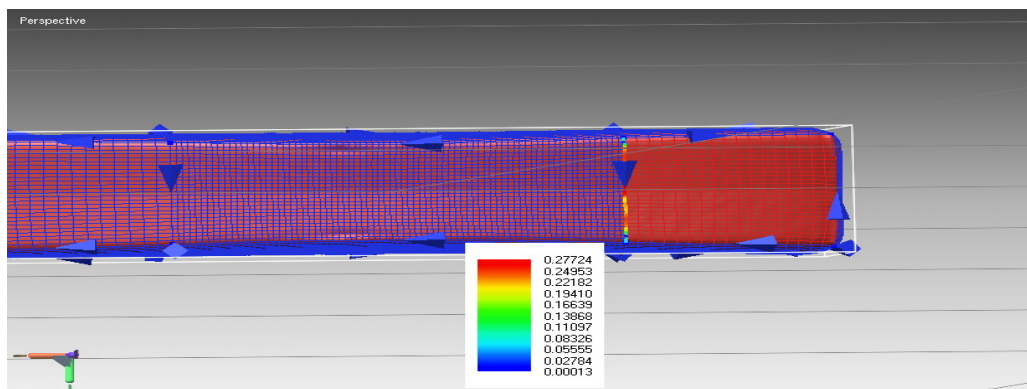


#### 4.2.4.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Για τη δημιουργία του τελικού υδατοστεγούς μοντέλου είναι αναγκαίο να συνθέσουμε τις επιφάνειες. Λέγοντας σύνθεση δεν εννοώ τη συνένωση όλων των επιφανειών σε μια τελική επιφάνεια, αλλά την ένωση των οριακών περιοχών των επιφανειών στα άκρα τους προκειμένου να εξασφαλίσω συνέχεια θέσης ή πρώτου βαθμού ( $C^0$ ) και συνέχεια κλίσης ή δευτέρου βαθμού ( $C^1$ ). Η ( $C^0$ ) αναφέρεται στην ταύτιση των οριακών σημείων των δύο επιφανειών στα σημεία σύνδεσης, ενώ η ( $C^1$ ) αναφέρεται στην κοινή διεύθυνση των εφαπτόμενων διανυσμάτων των οριακών σημείων (συνέχεια εφαπτομένης). Η συνέχεια εφαπτομένης προϋποθέτει τη συνέχεια θέσης.

Αρχικά λοιπόν ελέγχω τη συνέχεια θέσης ανάμεσα στις επιφάνειες του μοντέλου (φροντίζοντας να την εξασφαλίσω αν δεν υπάρχει) και στη συνέχεια ασχολούμαι με τη συνέχεια εφαπτομένης. Και στις δύο περιπτώσεις εφαρμόζω την εντολή *Surface >> Analyze >> Check Continuity*, επιλέγω δύο γειτονικές επιφάνειες και αναλόγως επιλέγω *Position* ή *Tangency*. Προκύπτει μια διαβαθμισμένη χρωματικά κλίμακα, στην οποία αντιστοιχεί ένας αριθμός για κάθε διαφορετικό χρώμα. Κάθε αριθμός αναπαριστά το κενό ανάμεσα στις δύο επιφάνειες αν επιλέξω *Position Continuity*, ή την εφαπτόμενη γωνία μεταξύ των δύο επιφανειών αν επιλέξω *Continuity Tangency*. Προφανώς η συνέχεια πρώτου βαθμού ικανοποιείται όταν το κενό ανάμεσα στις δύο επιφάνειες είναι μηδέν, ενώ η συνέχεια δευτέρου βαθμού όταν η μέγιστη τιμή της γωνίας μεταξύ των εφαπτόμενων διανυσμάτων των οριακών περιοχών είναι μικρότερη της μονάδας.

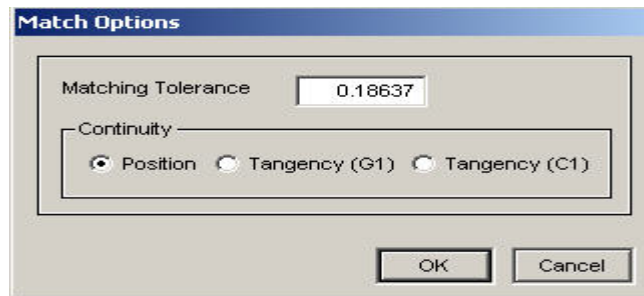
Για τις δύο επιφάνειες της εικόνας 4.118 η κόκκινη και η αριστερή της), εφαρμόζω την *Surface >> Analyze >> Check Continuity Position* και εμφανίζεται ο έγχρωμος χάρτης που ακολουθεί.



ΕΙΚΟΝΑ 4.118: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΘΕΣΗΣ ΔΥΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.

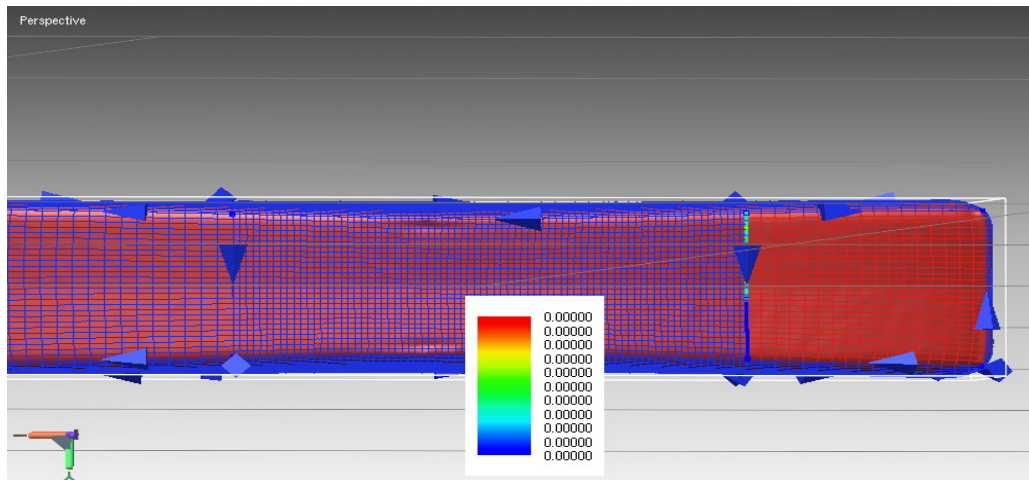
Παρατηρώ ότι η συνέχεια θέσης δεν ικανοποιείται καθώς εμφανίζεται απόκλιση μεταξύ των οριακών σημείων των δύο επιφανειών. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζω την *Surface >> Tool >> Match* ώστε να πετύχω την ταύτιση των οριακών τους σημείων. Εμφανίζεται το menu διαλόγου της εικόνας 4.119.





ΕΙΚΟΝΑ 4.119: MATCH MENU.

Επιλέγω πρώτα τη δεξιά επιφάνεια (moving), η οποία θα μετακινηθεί προς την αριστερή (fixed). Ύστερα από αρκετές δοκιμές στο Matching Tolerance επιλέγω 0.18637 mm. Όπως έχω αναφέρει, ο ακριβής του υπολογισμός δεν είναι εφικτός αλλά ούτε και επιθυμητός. Το Matching Tolerance λειτουργεί απλώς ως κατώφλι – άνω όριο για την ταύτιση των οριακών σημείων. Όσα από αυτά απέχουν απόσταση μικρότερη από το Matching Tolerance ταυτίζονται. Επιλέγω Position στο Continuity για να εξασφαλίσω τη συνέχεια θέσης και στην εικόνα 4.120 παρατηρώ ότι η απόκλιση ανάμεσα στα οριακά σημεία των δύο επιφανειών είναι μηδέν.

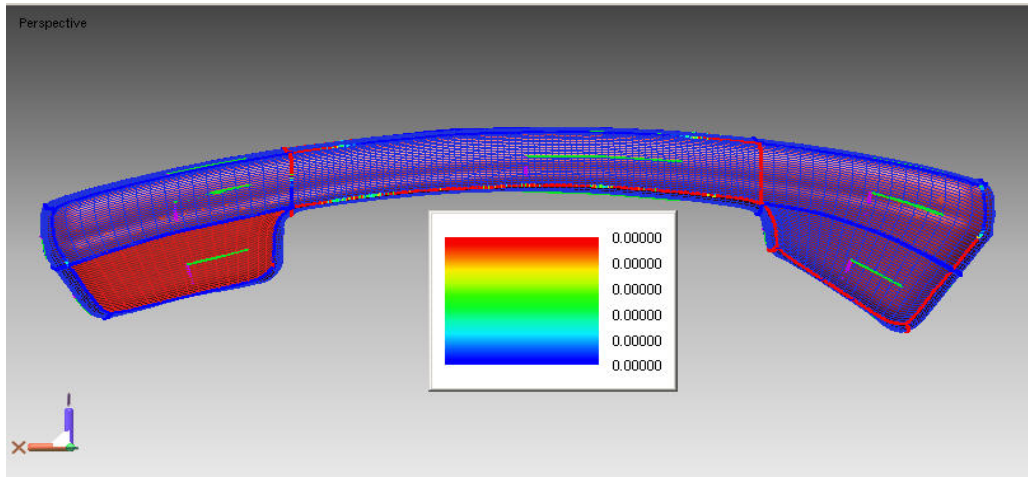


ΕΙΚΟΝΑ 4.120: ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΘΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΗΣ 4.118.

Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζω τη συνέχεια θέσης για το σύνολο των επιφανειών του μοντέλου, εκτελώντας διαδοχικές συνθέσεις επιφανειών. Κατά την εφαρμογή της εντολής *Surface >> Tool >> Match* με RMB εμφανίζεται η επιλογή *Select Fixed Surfaces*. Με χρήση της έχω τη δυνατότητα να επιλέξω επιφάνειες οι οποίες δε θα μετακινηθούν κατά την εφαρμογή της εντολής. Με αυτό τον τρόπο, διατηρώ σταθερές δύο επιφάνειες για τις οποίες έχω εξασφαλίσει συνέχεια θέσης, ώστε να μην παρουσιαστεί ξανά απόκλιση ανάμεσα στα οριακά τους σημεία κατά τη μετακίνηση γειτονικών τους επιφανειών προς αυτές.

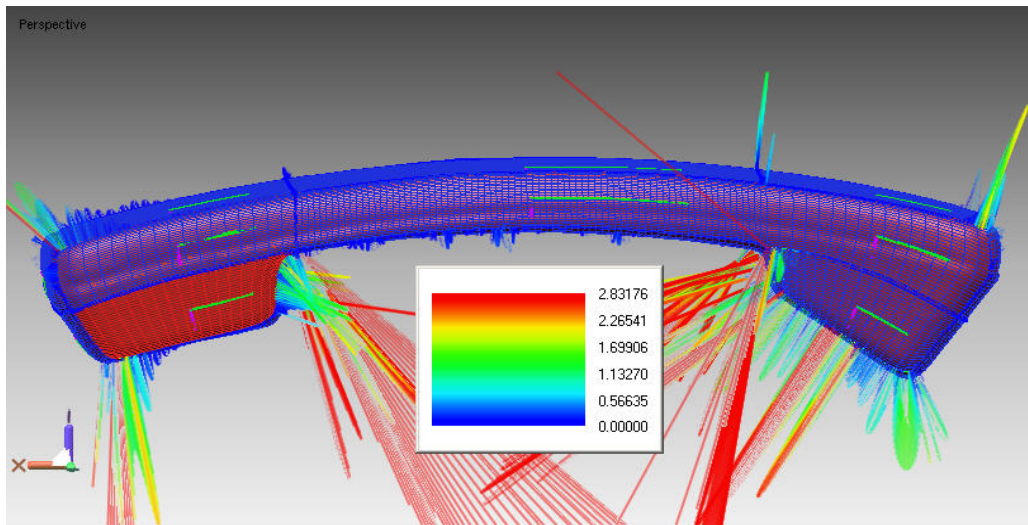
Η χρήση αυτής της επιλογής **είναι αναγκαία** για να εξασφαλίσω τη συνέχεια θέσης όλων των επιφανειών του μοντέλου, η οποία φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:





ΕΙΚΟΝΑ 4.121: ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.

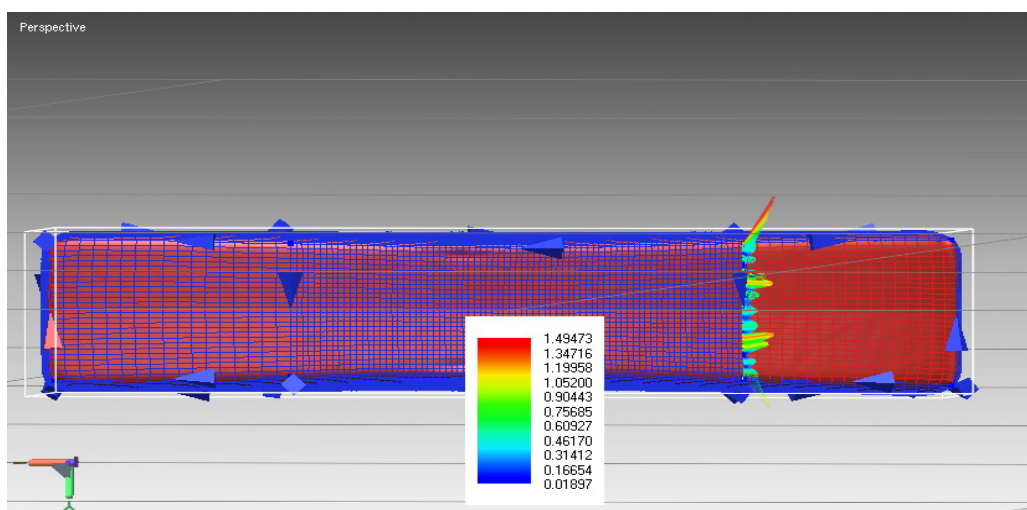
Εφ' όσον εξασφάλισα τη συνέχεια θέσης ελέγχω για τη συνέχεια εφαπτομένης των επιφανειών του μοντέλου, επιλέγοντας όλες τις επιφάνειες και εκτελώντας την *Surface >> Analyze >> Check Continuity >> Tangency*. Το αποτέλεσμα ακολουθεί στην εικόνα 4.122:



ΕΙΚΟΝΑ 4.122: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΗΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.

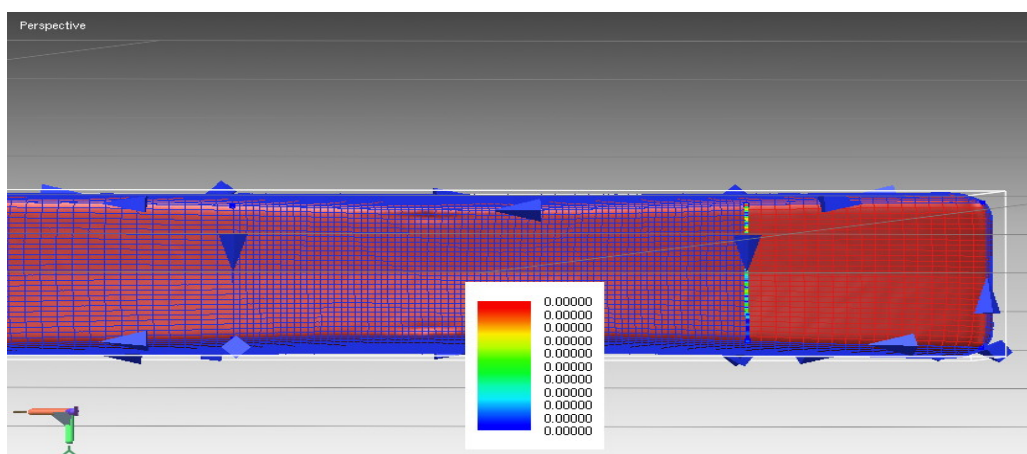
Παρατηρώ σημαντική απόκλιση των γωνιών των εφαπτόμενων διανυσμάτων στις οριακές περιοχές των γειτονικών επιφανειών (η μέγιστη τιμή φτάνει τις 2.83176 μοίρες). Όπως έχω αναφέρει, η μέγιστη τιμή της απόκλισης πρέπει να είναι μικρότερη της μονάδας.

Ελέγχω την απόκλιση εφαπτομένης των επιφανειών της εικόνας 4.118.



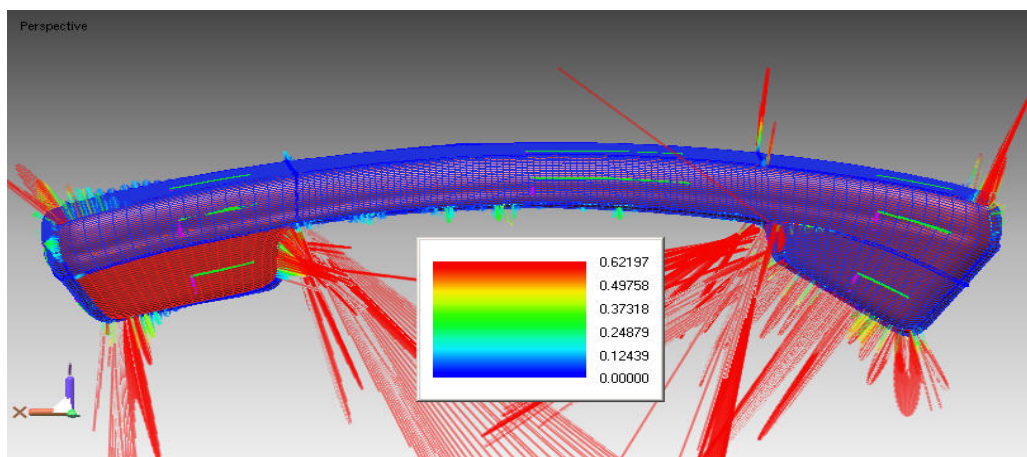
ΕΙΚΟΝΑ 4.123: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 4.118.

Παρατηρώ ότι η συνέχεια εφαπτομένης δεν ικανοποιείται καθώς η μέγιστη τιμή της απόκλισης είναι 1.49473. Εκτελώ την *Surface >> Tool >> Match* για να την εξασφαλίσω. Επιλέγω πάλι την δεξιά επιφάνεια για να μετακινηθεί προς την αριστερή και εισάγω το ίδιο Matching Tolerance με αυτό της εικόνας 4.119. Το αποτέλεσμα ακολουθεί:



ΕΙΚΟΝΑ 4.124: ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΗΣ 4.121.

Με ανάλογο τρόπο εξασφαλίζω τη συνέχεια κλίσης των επιφανειών του μοντέλου συνολικά εκτελώντας διαδοχικές συνθέσεις και χρησιμοποιώντας **κάθε φορά** την επιλογή *Select Fixed Surfaces* όπως και κατά τη συνέχεια θέσης. Το τελικό αποτέλεσμα εμφανίζεται στην εικόνα 4.125:

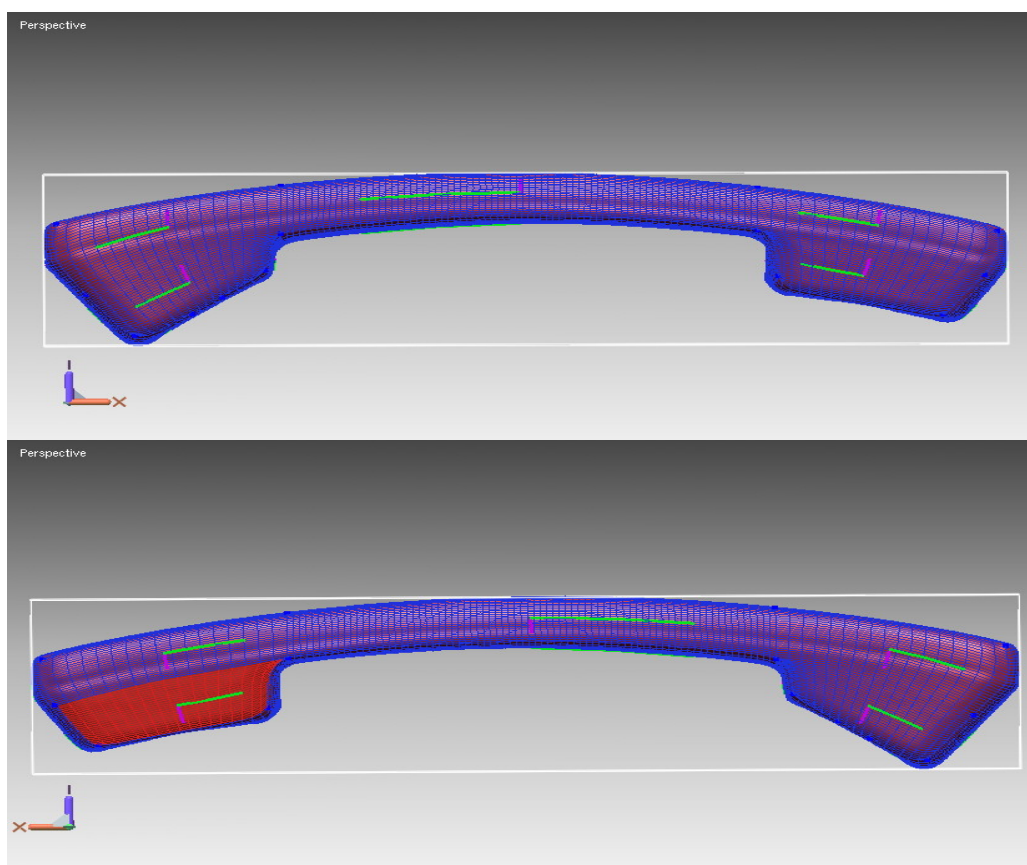


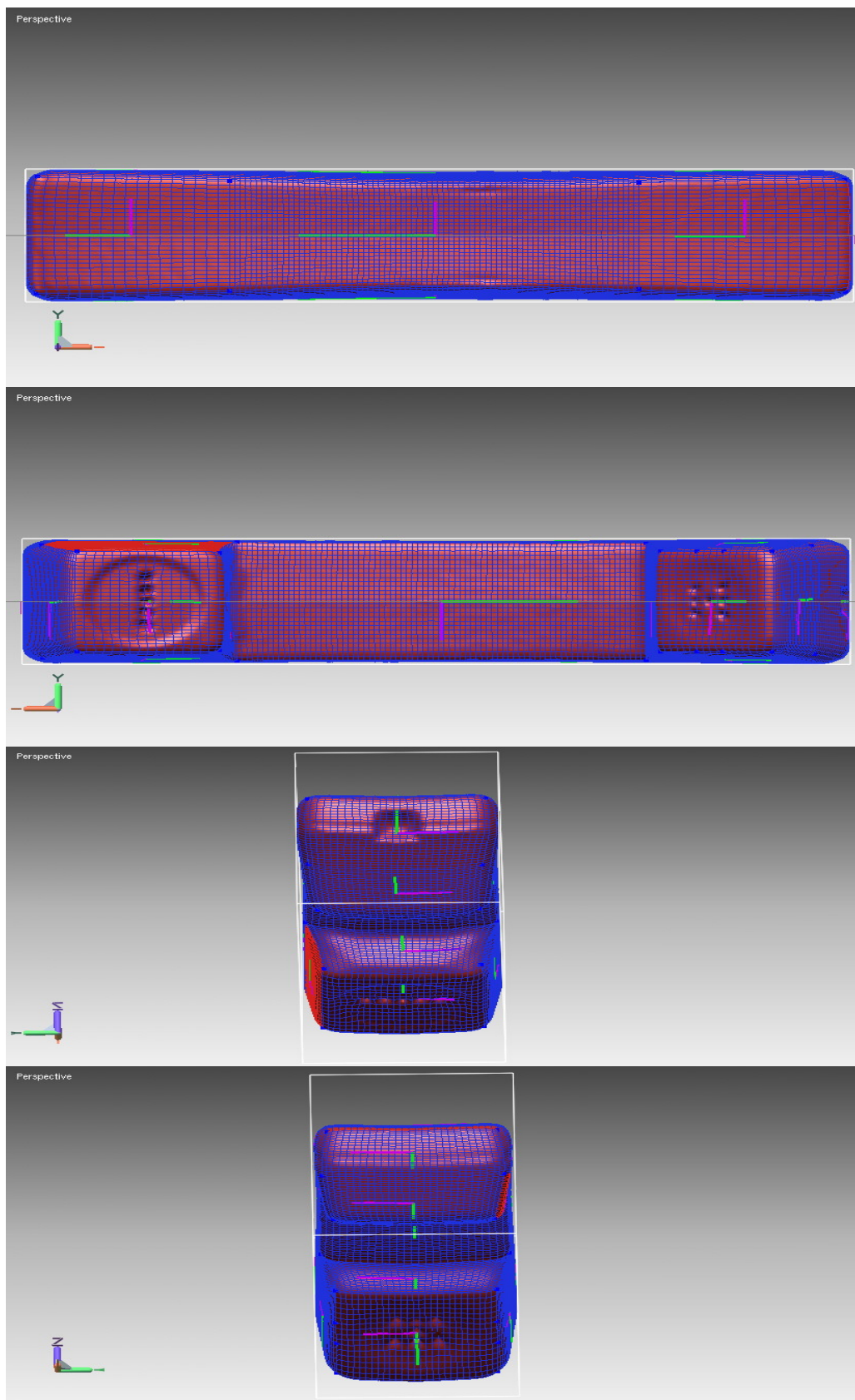
ΕΙΚΟΝΑ 4.125: ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΗΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ.

Το τελικό αποτέλεσμα με ικανοποιεί καθώς η απόκλιση των γωνιών των επαπτόμενων διανυσμάτων στις οριακές περιοχές των γειτονικών επιφανειών είναι αρκετά μικρότερη της μονάδας ( $0.62197^\circ$ ).

#### 4.2.4.4 ΤΕΛΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Ακολουθεί παρουσίαση του βελτιστοποιημένου τελικού δικτύου επιφανειών του μοντέλου (εμφανίζονται με την ακόλουθη σειρά οι front, back, top, bottom, left και right sides του ακουστικού).

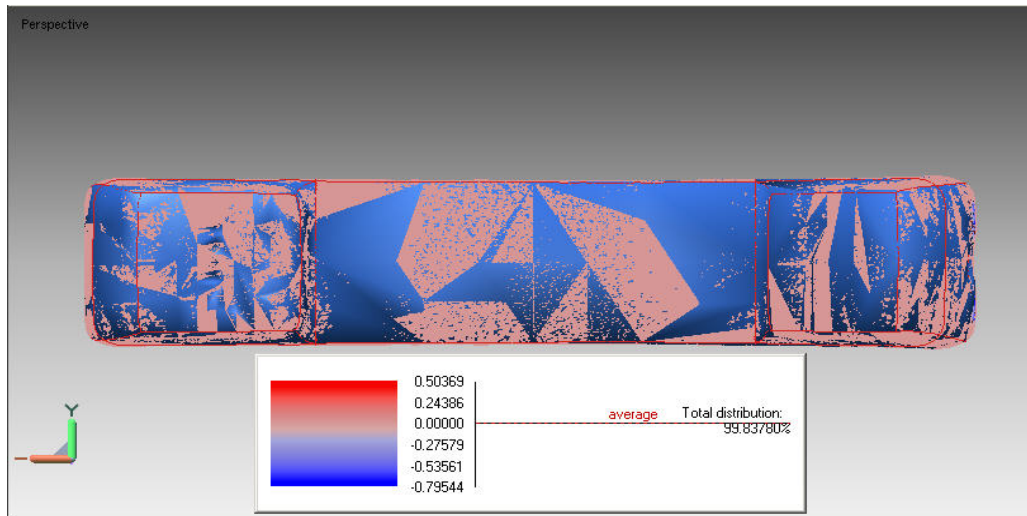






#### 4.2.5 INSPECT WORKBENCH

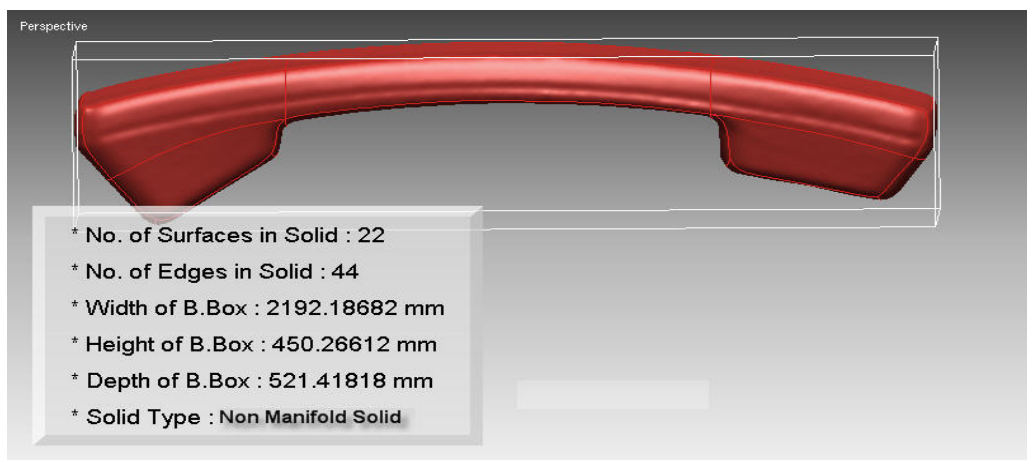
Αναλύω την απόκλιση του μοντέλου επιφανειών από το αρχικό μοντέλο που προέκυψε από τα ψηφιοποιημένα δεδομένα με χρήση της εντολής *Whole Deviation >> Create With Surfaces*. Το αποτέλεσμα προκύπτει με τη μορφή ενός δίχρωμου χάρτη στον οποίο απεικονίζονται η μεγαλύτερη και η μικρότερη τιμή της απόκλισης. Οι αρνητικές τιμές της απόκλισης αναφέρονται σε ψηφιοποιημένα δεδομένα τα οποία βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του μοντέλου επιφανειών, ενώ οι θετικές τιμές της σε δεδομένα πάνω από αυτήν. Τα πρώτα συμβολίζονται με μπλέ χρώμα, ενώ τα δεύτερα με κόκκινο. Το ιδιαίτερα ικανοποιητικό αποτέλεσμα εμφανίζεται στην εικόνα 4.126.



ΕΙΚΟΝΑ 4.126: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟ SURFACE ΚΑΙ ΤΟ SCAN MODEL.

#### 4.2.6 FEATURE WORKBENCH

Δημιουργώ ένα non - manifold στερεό από το μοντέλο επιφανειών με χρήση της *Feature >> Create >> Solid*, επιλέγοντας όλες τις επιφάνειες του μοντέλου. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



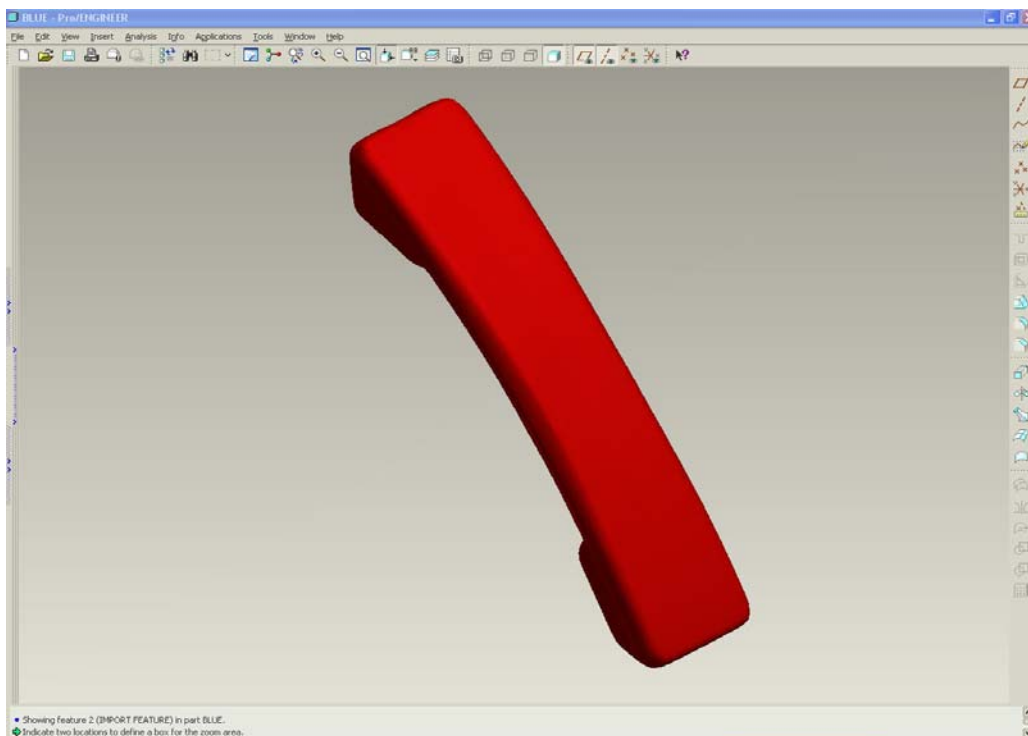
ΕΙΚΟΝΑ 4.127: ΤΟ ΣΤΕΡΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.



Το στερεό αποτελείται από 22 επιφάνειες και 44 ακμές (ως ακμή χαρακτηρίζεται κάθε μια από τις καμπύλες). Αποθηκεύω το αρχείο σε μορφή αρχείου IGES και το εισάγω στο Pro-Engineer Wildfire.

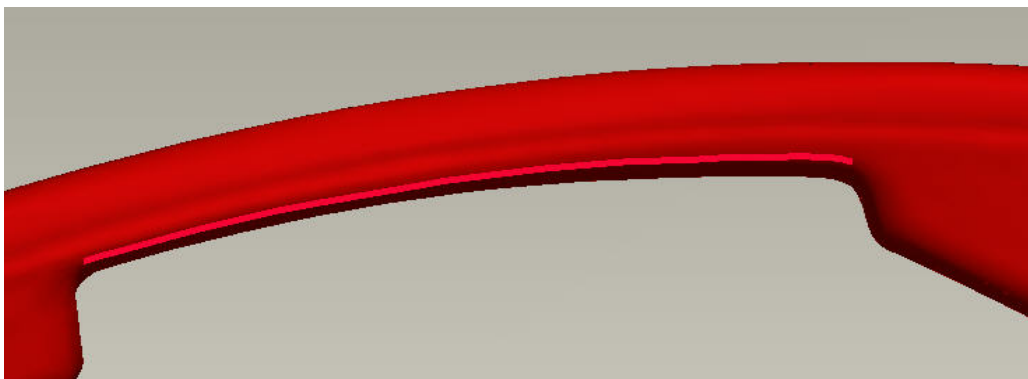
### 4.3 PRO – ENGINEER (WILDFIRE)

Εισάγω το στερεό μοντέλο που δημιούργησα στο Feature Workbench του Rapidform στο Pro – E. Το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην εικόνα 4.128 σε Isometric View. (Το ίδιο αποτέλεσμα θα προέκυπτε με την εισαγωγή του μοντέλου επιφανειών που δημιουργήσα στο Surface Workbench).

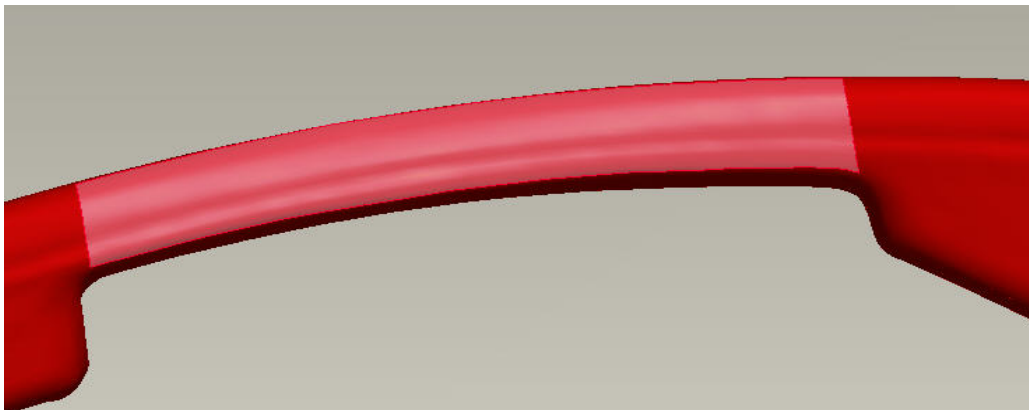


ΕΙΚΟΝΑ 4.128: ΤΟ ΣΤΕΡΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.

Οι ακμές και οι επιφάνειες του μοντέλου αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα όπως φαίνεται στις εικόνες 4.129 και 4.130.

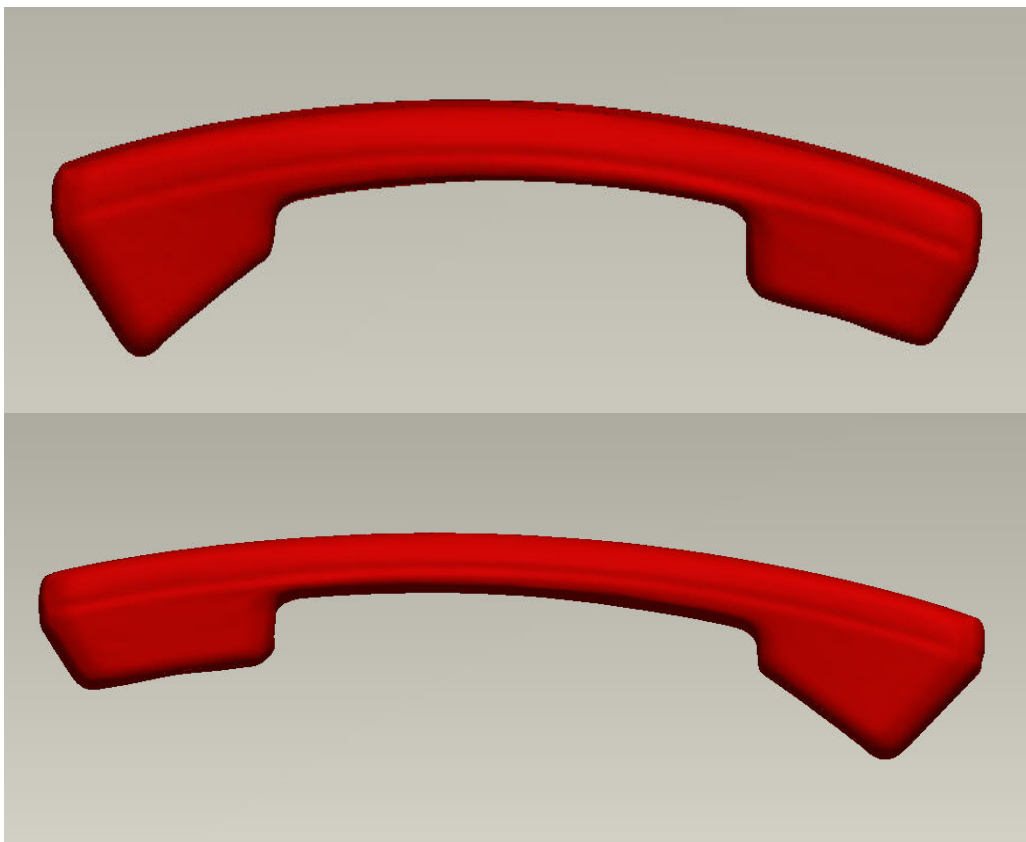


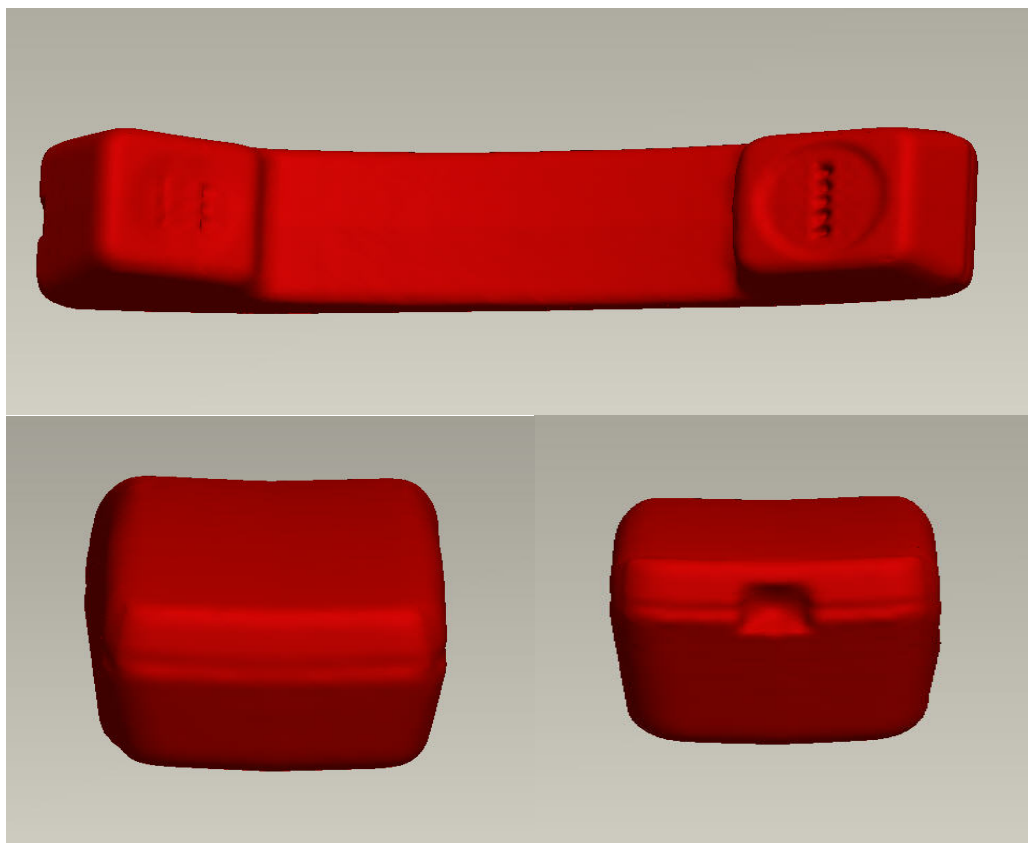
ΕΙΚΟΝΑ 4.129: ΤΥΧΑΙΑ ΑΚΜΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.



ΕΙΚΟΝΑ 4.130: ΤΥΧΑΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.

Στο περιβάλλον του Pro - E δεν αναγνωρίζονται οι παραμετρικές πληροφορίες των ακμών και των επιφανειών όπως συμβαίνει στο Rapidform. Τέλος, απεικονίζονται οι κύριες όψεις του μοντέλου.





## **5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. L. PIEGL – W. TAYLER. The NURBS Book, 1995.
2. J. O' ROURKE. Computational Geometry, 1996.
3. Ν. ΜΠΙΛΑΛΗΣ. Μελέτη – Σχεδίαση με χρήση H/Y, 2001.
4. Ν. ΜΠΙΛΑΛΗΣ. Μελέτη – Ανάπτυξη προϊόντων, 2003.

### URL

1. <http://www.rapidform.net>
2. <http://www.designcommunity.com>
3. <http://www.relitatvirtual.es>
5. <http://www.minolta-3d.com>
6. <http://www.pilot-3d.com>
7. <http://www.infocad.gr>
8. <http://www.fts.gr>