



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

Ερευνητική Μεταπτυχιακή Διατριβή του Φοιτητή

Κεκάκη Σταύρου του Ζαχαρία

*Θέμα Διατριβής: Προσομοίωση της τεχνολογίας Rapid
Tooling σε Περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας*

**Επιβλέποντας: Νικόλαος Μπιλάλης,
Αναπληρωτής Καθηγητής**

Χανιά, Νοέμβριος 2004

1.1) Εισαγωγή

Ως ανάπτυξη προϊόντος ορίζεται όλο το σύνολο των δραστηριοτήτων από την έρευνα αγοράς μέχρι και την παράδοσή του στον πελάτη. Δύο βασικοί δείκτες για να αξιολογήσουμε την διαδικασία ανάπτυξης νέων προϊόντων είναι το κόστος ανάπτυξης ενός προϊόντος, καθώς και ο χρόνος που απαιτείται για την ανάπτυξή του.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας του Rapid Tooling αποτελεί ένα πρόσφατο εργαλείο που χαίρει ευρείας εφαρμογής κατά την φάση ανάπτυξης ενός βιομηχανικού προϊόντος. Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει ως στόχο τη μείωση του χρόνου κατασκευής εξαρτημάτων σε σχέση με τις συνήθεις μεθόδους κατεργασίας, κυρίως μέσω της κατασκευής καλουπιού από το οποίο θα προκύψει το αντικείμενο που πρόκειται να κατασκευαστεί. Γίνεται λοιπόν εφικτή η κατασκευή πρωτοτύπων σε κάποιες ποσότητες γρήγορα, οικονομικά και σε μεγάλη ποικιλία υλικών.

Το εργαστήριο Σχεδιασμού με χρήση Η/Υ (Cadlab) δραστηριοποιείται έντονα στην έρευνα για την Ταχεία Παραγωγή Πρωτοτύπων και Εργαλείων έχοντας εφαρμόσει την τεχνική του Vacuum Cast Molding (καλούπια από καουτσούκ που σκληραίνουν γρήγορα λόγω της ανάμειξης ρητινών σε περιβάλλον κενού αέρος).

Ένα άλλο πεδίο έρευνας στο οποίο επίσης δραστηριοποιείται το εργαστήριο Σχεδιασμού με χρήση Η/Υ cadlab) είναι αυτό της τεχνολογίας Virtual Reality (V.R., εικονικής πραγματικότητας), έχοντας στην διάθεσή του σημαντικό ερευνητικό εξοπλισμό αλλά και τεχνογνωσία, προερχόμενη από ήδη εκτελεσθείσες ερευνητικές διατριβές μεταπτυχιακών φοιτητών. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί ένα δυνατό εργαλείο στα χέρια του μηχανικού ανάπτυξης προϊόντος, δίνοντας του την δυνατότητα προσομοίωσης (φυσικής και μερικώς δυναμικής) του υπό ανάπτυξη προϊόντος. Το υπό ανάπτυξη προϊόν, αφού σχεδιασθεί με την χρήση προγραμμάτων CAD, εισάγεται σε ειδικά λογισμικά V.R., μέσω των οποίων γίνεται δυνατή η αξιολόγησή του ως τελικό προϊόν προς χρήση,

προσφέροντας παράλληλα και την δυνατότητα ταχείας αλλαγής των χαρακτηριστικών του, προς εύρεση του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος.

Η συγκεκριμένη ερευνητική διατριβή θα επιχειρήσει το πάντρεμα των δύο παραπάνω τεχνολογιών, προσομοιώνοντας την διαδικασία του Vacuum Cast Molding σε περιβάλλον V.R.

1.2) Σκοπός της διατριβής

Όπως έγινε αντιληπτό από την εισαγωγή της διατριβής, η εργασία αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της εμπλοκής μας σε πολύ πρόσφατα ανεπτυγμένα πεδία της επιστήμης, τα οποία παράλληλα μας ανοίγουν νέους ορίζοντες και μας προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες στον τομέα της ανάπτυξης νέων προϊόντων.

Ο στόχος της προσπάθειας αυτής επικεντρώνεται σε δύο σημεία:

- Στην διακρίβωση του κατά πόσο χρήσιμος και αποτελεσματικός είναι ο συνδυασμός αυτών των δύο εργαλείων ανάπτυξης προϊόντων (Virtual Reality και Rapid Tooling) καθώς και τις νέες δυνατότητες που δύναται να μας προσφέρει.
- Στην δυνατότητα ανάπτυξης ενός εργαλείου εκπαίδευσης του κάθε ενδιαφερόμενου (και πρωτίστως των φοιτητών του εργαστηρίου Cadlab), το οποίο θα παρέχει ουσιαστικά πλεονεκτήματα, όπως μηδενικό κόστος εκπαίδευσης, εκπαίδευση μέσω του Διαδικτύου σε οποιοδήποτε σημείο και χρόνο, δυνατότητα πολλαπλής και ταυτόχρονης εκπαίδευσης πολλών ατόμων, εντρύφηση στην τεχνολογία του Virtual Reality και του Rapid Tooling αλλά και προβολής του ερευνητικού έργου του Εργαστηρίου Σχεδιασμού με χρήση Η/Υ.

Πέρα των παραπάνω, είναι σίγουρο ότι η παρούσα διατριβή μπορεί να αποτελέσει ένα εφαλτήριο για την περαιτέρω διερεύνηση του θέματός της και σε επόμενες σχετικές εργασίες, καθώς οι προοπτικές και οι δυνατότητες των συγκεκριμένων τεχνολογιών αναπτύσσονται με ραγδαίους ρυθμούς.

2.1) Εισαγωγή στο Rapid Tooling

Το Rapid Tooling (RT) είναι η τεχνολογία που υιοθετεί τις γρήγορες τεχνικές διαμόρφωσης ενός πρωτοτύπου (RP, Rapid Prototyping) και τις εφαρμόζει στην κατασκευή εργαλείων και καλουπιών. Η έρευνα στις τεχνικές του RT έχει δείξει ότι κερδίζει περισσότερη αναγνώριση και αρχίζει να αποτελεί σοβαρή απειλή για την συμβατική κατεργασία.

Το Rapid prototyping (RP) παρουσιάζει μια προϊστορία 10 ετών. Ένα από τα κύρια οφέλη του RP είναι η δυνατότητα για τον κατασκευαστή να ελέγξει ένα σχέδιο μέσα σε λίγες ώρες μετά από την ολοκλήρωση των στοιχείων CAD. Αυτό έχει επιτρέψει στους κατασκευαστές να περικόψουν τον χρόνο ανάπτυξης προϊόντων. Εντούτοις, εξ αιτίας των περιορισμών των συστημάτων RP, οι κατασκευαστές πολύ συχνά διαπιστώνουν ότι δεν είναι ικανοί να λάβουν το πρωτότυπο στο απαιτούμενο υλικό του τελικού προϊόντος. Επίσης, λόγω της αρχής κατασκευής του πρωτοτύπου, οι μηχανικές ιδιότητες του πρωτοτύπου είναι κάπως διαφορετικές από αυτό του τελικού προϊόντος που κατασκευάζεται με τη διαδικασία της τελικής παραγωγής.

Η τεχνολογία Rapid tooling (RT) είναι ουσιαστικά η τεχνολογία που υιοθετεί τις τεχνικές RP και τις εφαρμόζει στην κατασκευή εργαλείων και καλουπιών. Γίνεται ολοένα δημοφιλέστερη και αποτελεί σοβαρή απειλή για τη συμβατική κατασκευή εργαλείων. Οι κατασκευαστές ενδιαφέρονται όλο και περισσότερο προς το RT, όχι μόνο ως μια εναλλακτική λύση στο RP, αλλά ειδικά για μικρότερους όγκους παραγωγής που δεν δικαιολογούν την επένδυση που απαιτείται για τη συμβατική σκληρή σχεδίαση.

Διάφορες τεχνολογίες RT είναι τώρα διαθέσιμες στη βιομηχανία. Μερικές από αυτές τις τεχνολογίες παράγουν το εργαλείο άμεσα από τη διαδικασία RP. Εντούτοις, η πλειοψηφία των τεχνολογιών RT χρησιμοποιούν το πρότυπο που δημιουργείται με τη διαδικασία RP σε μια δευτεροβάθμια διαδικασία για να παραγάγει το εργαλείο.

2.2) Οφέλη του RT

Αν και είναι τώρα δυνατό να γίνουν τα πρότυπα πρωτοτύπων πολύ γρήγορα χρησιμοποιώντας τα διάφορα συστήματα RP, αυτά δεν παράγονται ακόμα στο υλικό των τελικών προϊόντων και με την διαδικασία της τελικής παραγωγής. Οι σχεδιαστές και οι διαχειριστές, πριν από την έναρξη της μαζικής παραγωγής, συχνά απαιτούν αυτό το είδος επαλήθευσης. Ένα πρωτότυπο στον ακριβέστερο καθορισμό της λέξης, πρέπει να περιλάβει τη διαδικασία κατασκευής, παραδείγματος χάριν, η διαδικασία εγχύσεως καλουπιών. Αυτός ο τύπος αξιολόγησης και ανάλυσης δεν ήταν πρακτικός μέχρι την εφαρμογή τεχνολογιών RP στη σχεδίαση. Η συμβατική σχεδίαση για την έγχυση καλουπιών απαιτεί μια ουσιαστική επένδυση χρόνου και δαπανών.

Σήμερα, εξ αιτίας της παγκοσμιοποίησης των καταναλωτικών αγορών και της επακόλουθης αύξησης του αριθμού ανταγωνιστών που αντιμετωπίζει οποιοδήποτε μεμονωμένος κατασκευαστής, γίνεται σημαντικότερο για τους κατασκευαστές να είναι πρώτοι στην αγορά με τα προϊόντα τους. Με την τεχνολογία RT, οι επιτυχείς περιπτώσιολογικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι είναι δυνατό να μειωθεί ο χρόνος ανάπτυξης προϊόντων τουλάχιστον στο μισό.

Το RT είναι το καταλληλότερο εργαλείο για την παραγωγή προ-σειρών. Αυτό περιλαμβάνει την κατασκευή του προϊόντος στο τελικό υλικό του και με την προοριζόμενη διαδικασία κατασκευής, αλλά σε μικρούς αριθμούς (περίπου 500 κομμάτια). Η παραγωγή προ-σειρών γίνεται συνήθως για να εξεταστεί ο εξοπλισμός και τα εργαλεία παραγωγής αλλά και για να εξεταστεί η εισαγωγή στην αγορά ενός προϊόντος.

Η μηχανική απόδοση ενός κομματιού κατασκευασμένου με έγχυση υλικού σε καλούπι είναι μια λειτουργία του σχεδίου, των ιδιοτήτων υλικών και της διαδικασίας κατασκευής. Παραδείγματος χάριν, ο μοριακός προσανατολισμός και η εσωτερική πίεση του πλαστικού μέρους καθορίζονται από τις ορισμένες μεταβλητές παραγωγής, όπως οι θέσεις gating, τις μεθόδους γεμίσματος, τις ακτίνες γωνιών και το πάχος των τοιχωμάτων. Η γεωμετρία των κομματιών παίζει επίσης έναν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό ενός πλαστικού μέρους.

Μερικές φορές τα τμήματα των τοιχωμάτων φαίνονται επαρκή για τη μορφή, και εκπληρώνουν τις απαιτήσεις, αλλά μπορούν να μην είναι δυνατόν να κατασκευαστούν με την χρήση καλουπιών. Τα τμήματα τοίχων μπορούν να είναι πάρα πολύ λεπτά για να επιτρέψουν την κατάλληλη ροή των πλαστικών, ή στην περίπτωση των παχίων τμημάτων, το πλαστικό μπορεί να στρεβλώσει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψύξης. Επίσης, μπορεί να εμφανιστούν σημάδια στα πλαστικά μέρη. Αυτό εμφανίζεται όταν σταθεροποιεί η εξωτερική επιφάνεια του σχήματος αλλά η συστολή του εσωτερικού υλικού αναγκάζει την επιφάνεια να πιεστεί κάτω από το προοριζόμενο σχεδιάγραμμα της. Αυτά τα ζητήματα υπογραμμίζουν τη σημασία της γεωμετρίας μερών, του υλικού και της μορφοποίησης σχήματος στην διαμόρφωση πρωτοτύπου ενός προϊόντος.

Παρά τις σημαντικές προόδους στο RP, το διαθέσιμο υλικό για την παραγωγή των μερών των πρωτοτύπων περιορίζεται ακόμα σε εκείνα τα υλικά που οι διάφορες διαδικασίες RP μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να χτίσουν τα μέρη. Σε πολλές περιπτώσεις, οι σχεδιαστές θέλουν να χτίσουν τα πρωτότυπα στα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν τελικά στην πλήρη παραγωγή. Αυτά μπορούν να είναι μέταλλο, γυαλί ή διάφοροι τύποι θερμοπλαστικών. Για να εξεταστεί αυτό το πρόβλημα, η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην προσαρμογή του RT για να παραγάγει τις φόρμες και την απαραίτητη σχεδίαση για τα χυτά μέρη πρωτοτύπων.

2.3) Ταξινόμηση του RT

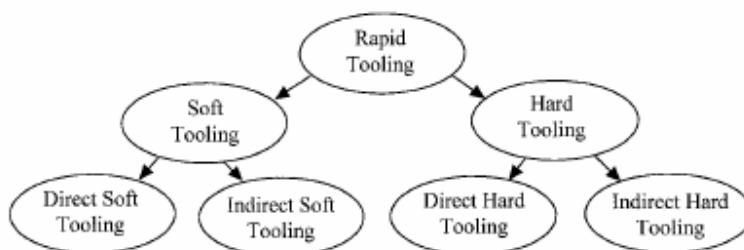
Μια ποικιλία σχεδιάσεων μπορεί αυτήν την περίοδο να παραχθεί χρησιμοποιώντας τις διαφορετικές τεχνολογίες RP. Με σκοπό την ταξινόμηση, το tooling διαιρείται σε σκληρή ή μαλακή σχεδίαση (hard or soft) και επίσης άμεση ή έμμεση σχεδίαση (direct or indirect). Το Tooling για μικρές παραγωγές είναι συχνά γνωστό ως μαλακή σχεδίαση, καθώς αυτά τα εργαλεία γίνονται συχνά από υλικά όπως οι λαστιχένιες, εποξικές ρητίνες πυριτίου, τα κράματα χαμηλού σημείου τήξεως, ή το αλουμίνιο, τα οποία είναι ευκολότερα να δουλεутούν από

τους χάλυβες. Το Tooling για πιο μακροχρόνιες παραγωγές είναι γνωστό ως σκληρό, και αποτελείται συνήθως από σκληρούς χάλυβες.

Στην άμεση σχεδίαση, το εργαλείο ή το καλούπι δημιουργείται άμεσα με τη διαδικασία RP. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση εγχύσεως καλουπιών, ο πυρήνας και η κοιλότητα, μαζί με τα συστήματα εισόδου και εξέλασης υλικού, παράγονται με τη διαδικασία RP. Στην έμμεση σχεδίαση, μόνο το κυρίως μέρος δημιουργείται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία RP. Από αυτό, μια φόρμα γίνεται από ένα υλικό όπως το λάστιχο, εποξική ρητίνη σιλικόνης, μαλακό μέταλλο, ή κεραμικό.

2.3.1) Direct Soft Tooling

Στο DST, το εργαλείο παράγεται άμεσα από τα συστήματα RP. Τα περισσότερα από αυτά τα εργαλεία χρησιμοποιούνται για τη εύρεση ευκαιριών επενδύσεων, ως εκ τούτου είναι ταξινομημένα σαν soft tooling. Κάποια παραδείγματα δίνονται παρακάτω:



Σχήμα 2.1: Κατηγορίες του Rapid Tooling

- Selective Laser Sintering of Sand Casting Moulds

Στην μέθοδο Selective Laser Sintering of Sand Casting Moulds, ενέργεια λέιζερ αρχίζει μια αντίδραση στον πολυμερή σύνδεσμο που δεσμεύει έπειτα τους μεμονωμένους κόκκους άμμου μαζί. Τα συστήματα αυτά χτίζουν τα καλούπια άμμου ακριβώς όπως εκείνα που παράγονται με χρήση συμβατικών μεθόδων, και οι χυτεύσεις θεωρούνται ίδιες με τις συμβατικές όσο αφορά το τελείωμα της επιφάνειας και την ακρίβεια της. Το σύστημα είναι επομένως ιδιαίτερα κατάλληλο για τα λειτουργικά πρωτότυπα, και εάν απαιτούνται τροποποιήσεις, μια νέα χύτευση πρωτοτύπων μπορεί να παραχθεί μέσα σε μερικές ημέρες.

- **Direct AIM**

τα τρισδιάστατα συστήματα CAD/CAM έχουν καταδείξει τη δυνατότητα της άμεσης έγχυσης θερμοπλαστικού στις φόρμες ρητίνης που παράγονται από SLA που χρησιμοποιεί την μέθοδο κατασκευής ACES. Πολύ υψηλά επίπεδα ακρίβειας καθώς επίσης και πολύ ουσιαστική χρονική αποταμίευση απαιτούνται για την τεχνική, η οποία είναι γνωστή ως Direct AIM (σχήμα εγχύσεων ACES). Εντούτοις, οι χρόνοι οικοδόμησης για τις φόρμες που χρησιμοποιούν αυτήν την μέθοδο μπορούν να είναι πολύ αργοί σε μια μηχανή στερεολιθογραφίας (SLA). Επίσης, δεδομένου ότι η δύναμη των φορμών δεν είναι καλή, ζημία εργαλείων μπορεί να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της εκτίναξης των μερών.

- **SL Composite Tooling**

Μια άλλη ελπιδοφόρος μέθοδος για direct soft tooling είναι η SL composite tooling. Αυτή η μέθοδος έχει πλεονεκτήματα σε σχέση με το Direct AIM δεδομένου ότι χτίζει όχι μια στερεά φόρμα ρητίνης SLA, αλλά μια φόρμα που περιλαμβάνει ένα λεπτό κέλυφος της ρητίνης με την απαραίτητη γεωμετρία επιφάνειας που ενισχύεται έπειτα με σκόνη αλουμινίου γεμισμένη με εποξική ρητίνη. Η χρήση αλουμινίου μπορεί επίσης να βελτιώσει περαιτέρω τη θερμική αγωγιμότητα της φόρμας. Κατ' αυτό τον τρόπο, μικρότεροι χρόνοι κατασκευής SLA μπορούν να επιτευχθούν, αφού μόνο ένα λεπτό κέλυφος απαιτείται. Η θερμική αγωγιμότητα μπορεί να βελτιωθεί τουλάχιστον 3 φορές πέρα από τις ρητίνες SLA. Η δύναμη των φορμών είναι επίσης υψηλότερη από αυτή των φορμών ρητίνης SLA. Το κόστος ανάπτυξης εργαλείων μπορεί επίσης να μειωθεί καθώς το εποξικό αλουμίνιο και οι ενισχύσεις αλουμινίου είναι αρκετά φθηνότερες από τις ρητίνες SLA.

2.3.2) Indirect Soft Tooling

Γενικά, παραμένει απλούστερο να φτιαχτεί ένα πρότυπο χρησιμοποιώντας μια τεχνική RP, σε οποιοδήποτε κατάλληλο υλικό, το οποίο δεν είναι μεταλλικό. Από αυτό το κύριο σχέδιο, μια φόρμα γίνεται από ένα υλικό όπως η λαστιχένια σιλικόνη, εποξική ρητίνη, μαλακό μέταλλο, ή κεραμικό.

- **Arc Spray Metal Tooling**

Η μέθοδος παραγωγής σχεδίασης που χρησιμοποιεί τον ψεκασμό μετάλλων είναι σχετικά απλή. Ένα πρότυπο που παράγεται από οποιεσδήποτε από τις τεχνολογίες RP μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κύριο κομμάτι. Αυτό το σχέδιο τοποθετείται έπειτα επάνω σε μια κατάλληλη βάση και υποστύλωμα και επιστρώνεται με έναν μηχανισμό απελευθέρωσης. Ένα επίστρωμα του ψεκασμού μετάλλων εφαρμόζεται έπειτα στο κύριο σχέδιο για να παραγάγει τη θηλυκή μορφή του επιθυμητού εργαλείου. Μια κατάλληλη ενίσχυση εφαρμόζεται έπειτα στο κέλυφος, ανάλογα με την εφαρμογή σχεδίασης. Τα ενισχυμένα υλικά περιλαμβάνουν τη χημικά συνδεδεμένη κεραμική (CBCs), τις γεμισμένες εποξικές ρητίνες και τα κράματα χαμηλού σημείου τήξεως. Το κύριο κομμάτι απομακρύνεται έπειτα και η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται από την άλλη πλευρά, εάν είναι απαραίτητο. Κατ' αυτό τον τρόπο, η περιορισμένη σχεδίαση παραγωγής μπορεί να παραχθεί με την ουσιαστική αποταμίευση δαπανών και χρονικής ανοχής.

- Καλούπια Silicone Rubber

Το Silicone rubber είναι ένα ευπροσάρμοστο υλικό που μπορεί να φορμαριστεί γύρω από ένα κύριο σχέδιο για να παραγάγει μια κοιλότητα. Έρχεται είτε με αδιαφανείς είτε διαφανείς μορφές, οι οποίες χρησιμοποιούνται κάπως διαφορετικά. Το διαφανές λάστιχο σιλικόνης χύνεται γύρω από το κύριο σχέδιο, το οποίο περιλαμβάνεται μέσα σε ένα κιβώτιο, και μετά την πήξη του silicone rubber, μια τομή δημιουργείται με ένα χειρουργικό νυστέρι. Αυτό χωρίζει τη φόρμα σε δύο μέρη, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φορμαρίσουν ποικίλα υλικά όπως το πολυουρεθάνιο. Το πολυουρεθάνιο χύνεται στη λαστιχένια κοιλότητα σιλικόνης μέσα σε ένα κενό αέρος για να αποφύγει τις αεροφυσαλίδες. Μια λαστιχένια φόρμα σιλικόνης μπορεί να παραγάγει περίπου 20 μέρη πολυουρεθάνιου προτού να αρχίσει να διαλύεται. Το αδιαφανές λάστιχο πυριτίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τον ίδιο τρόπο, αν και είναι δυσκολότερο να γίνει η τομή χωρισμού εξ αιτίας της αδιαφάνειας του υλικού. Εναλλακτικά, τα δύο μέρη της φόρμας μπορούν να δημιουργηθούν ένα την φορά, με τη γραμμή χωρισμού να βουλώνεται με πλαστελίνη. Αυτό είναι πιο χρονοβόρο, αλλά το αδιαφανές λάστιχο πυριτίου είναι αρκετά φτηνότερο από τη διαφανή ποικιλία.

- Spin Casting with Vulcanized Rubber Moulds

Η χρησιμοποίηση βουλκανισμένου λάστιχου με τον ίδιο σχεδόν τρόπο όπως το αδιαφανές λάστιχο πυριτίου, είναι δυνατό να δημιουργήσει τις φόρμες για τη ρίψη του πολυουρεθάνιου ή των κραμάτων που βασίζονται στον ψευδάργυρο. Η τεχνική του βουλκανισμένου λάστιχου επιτρέπει σε διάφορες φόρμες να συνδυαστεί σε ένα ενιαίο disk-shaped εργαλείο, το οποίο περιστρέφεται έτσι ώστε η φυγοκεντρική δύναμη να βοηθά την πλήρωση της κοιλότητας. Η διαδικασία είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την δημιουργία πρωτοτύπων ή μικρών παραγωγών καλουπιών ψευδάργυρου που θα κατασκευαστούν τελικά με την διαδικασία έγχυσης υλικού

- Castable Resin Moulds

Όπως με το αδιαφανές λάστιχο σιλικόνης, το κύριο κομμάτι τοποθετείται σε ένα κιβώτιο φορμών με τη γραμμή χωρισμού σημειωμένη από πλαστελίνη. Η ρητίνη είναι χρωματισμένη ή χυμένη πάνω στο κύριο κομμάτι έως ότου υπάρχει ικανοποιητικό υλικό για το ένα μισό της φόρμας. Η διαδικασία έπεται επαναλαμβάνεται. Οι διαφορετικές ρητίνες σχεδίασης παρέχουν διαφορετικές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες, και μπορούν να φορτωθούν με τη σκόνη ή τους σβόλους αλουμινίου που βελτιώνουν τη θερμική αγωγιμότητα και μειώνουν επίσης το ποσό ακριβής ρητίνης που απαιτείται. Αυτά τα εργαλεία είναι συνήθως κατάλληλα για εφαρμογές 100 – 200 μερών που γίνονται δια εγχύσεως φορμών.

- Castable Ceramic Moulds

Τα κεραμικά υλικά που είναι ουσιαστικά μίγματα άμμου και τσιμέντου μπορούν να χυθούν πάνω από ένα κύριο κομμάτι για να δημιουργήσουν μια φόρμα. Οι διάφορες τεχνικές χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την περιεκτικότητα σε ύδωρ του μίγματος ώστε να ελεγχθεί η διακένωση, και η πλαστελίνη χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι η κοιλότητα γεμίζει κατάλληλα. Το κεραμικό υλικό μπορεί να χυθεί σε κενό αέρος και η δόνηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στην διάθεση του υλικού γύρω από το κύριο κομμάτι.

- Plaster Moulds

Οι ρίψεις φορμών ασβεστοκονιάματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία πρωτοτύπων που παράγονται τελικά από την έγχυση καλουπιών. Μια λαστιχένια φόρμα πυριτίου δημιουργείται αρχικά από την κύρια φόρμα, κατόπιν ένα λαστιχένιο σχέδιο πυριτίου, από το οποίο φτιάχνεται έπειτα μια φόρμα ασβεστοκονιάματος. Λειωμένο μέταλλο χύνεται στη φόρμα ασβεστοκονιάματος που έχει ανοιχθεί μόλις στερεοποιηθεί το μέταλλο. Το ενδιαμέσο στάδιο ενός λαστιχένιου σχεδίου πυριτίου απαιτείται επειδή η κύρια φόρμα μπορεί να χωριστεί εύκολα από τη φόρμα ασβεστοκονιάματος.

2.3.3) Direct Hard Tooling

Διάφορες μέθοδοι κατασκευής εργαλείων για Hard Tooling που χρησιμοποιούν τα συστήματα RP έχουν είτε καταδειχθεί είτε είναι στην ανάπτυξη. Το πιθανό πλεονέκτημα των τεχνικών RP για την κατασκευή hard tooling είναι ότι είναι σε θέση να δημιουργήσουν ιδιαίτερα σύνθετες μορφές για την κατασκευή εργαλείων που δεν θα μπορούσαν απλά να γίνουν χρησιμοποιώντας συμβατικές κατεργασίες μηχανολογίας και φινιρίσματος. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ταχύτητα με την οποία τα εργαλεία μπορούν να παραχθούν.

- **RapidTool**

Η εταιρία DTM έχει εισαγάγει μια τεχνολογία γνωστή ως RapidTool για να παραγάγει μια μεταλλική φόρμα για την έγχυση πλαστικών φορμών άμεσα από την συσκευή Sinterstation 2000 της επιχείρησης. Οι φόρμες θεωρούνται ικανές να παράγουν πολλαπλάσια μέρη του τελικού προϊόντος χρησιμοποιώντας την τελική προοριζόμενη διαδικασία κατασκευής καθώς επίσης και το τελικό προοριζόμενο υλικό. Η διαδικασία περιλαμβάνει την οικοδόμηση μερών από τα στοιχεία CAD σε κονιοποιημένα μέταλλα που περιβάλλονται σε έναν πολυμερή σύνδεσμο, σε θερμοκρασία δωματίου. Σε ένα επόμενο στάδιο συμπύκνωσης, ο σύνδεσμος καίγεται και το πράσινο μέρος αναμιγνύεται με χαλκό για να το καταστήσει στερεό. Ο κύκλος ζωής του φούρνου είναι περίπου 40 ώρες, με το τελικό μέρος να έχει τις φυσικές ιδιότητες παρόμοιες με το αλουμίνιο. Τα τελειωμένα μέρη μπορούν να επεξεργαστούν εύκολα στη μηχανή. Η συρρίκνωση θεωρείται ότι είναι λιγότερη από 2%, το οποίο αντισταθμίζεται από το λογισμικό.

Κεφάλαιο Δεύτερο: Η τεχνολογία του Rapid Tooling

Υποστηρίζεται ότι οι σύνθετες φόρμες μπορούν να παραχθούν σε 2 εβδομάδες (σε αντιδιαστολή με 12–15 εβδομάδες που χρησιμοποιούν τις συμβατικές τεχνικές) και η τελειωμένη φόρμα λέγεται ότι είναι ικανή να παράγει μέχρι 50.000 χυτά μέρη.

- **Laminated Metal Tooling**

Μια άλλη τεχνική που μπορεί να αποδειχθεί πολλά υποσχόμενη για τις εφαρμογές RT βρίσκεται στην δυνατότητα χρήσης φύλλων μετάλλων από κοινού με LOM για RT. Ο χάλυβας ή οποιοδήποτε άλλο υλικό φύλλων μπορεί να κοπεί με τα κατάλληλα μέσα (π.χ. λέιζερ του CO₂, δέσμη ύδατος, τριτοεισμός) με τρόπο παρόμοιο με της διαδικασίας LOM. Τα φύλλα κόβονται σύμφωνα με τις παραγόμενες από υπολογιστή πληροφορίες στρώματος. Εντούτοις, αντί της σύνδεσης κάθε στρώματος καθώς κόβεται, τα στρώματα όλα συγκεντρώνονται μετά από την κοπή τους και συνδέονται μαζί με κάποιο τρόπο.

2.3.4) Indirect Hard Tooling

Μόνο η τρισδιάστατη μέθοδος Keltool περιλαμβάνεται στην κατηγορία έμμεσης σκληρής σχεδίασης.

- **3D Keltool**

Η διαδικασία αυτή είναι μια διαδικασία τρισδιάστατου συστήματος που συνδυάζει την παραγωγή ενός προτύπου SLA με τη διαδικασία Keltool για να παραγάγει μια φόρμα από λιωμένο χάλυβα. Το πρωτότυπο SLA για το τελικό μέρος φινιρίζεται σε υψηλή ποιότητα με στρώσεις άμμου και στίλβωση, και τοποθετείται έπειτα σε ένα κουτί όπου το λάστιχο σιλικόνης χύνεται γύρω από αυτό, για να φτιαχτεί μια προσωρινή λαστιχένια φόρμα πυριτίου. Αυτό το εργαλείο τοποθετείται σε ένα κουτί όπου λάστιχο πυριτίου χύνεται γύρω του, έτσι ώστε να παραχθεί ένα αντίγραφο του προτύπου SLA από λάστιχο πυριτίου. Αυτό τοποθετείται έπειτα σε ένα κουτί και χύνεται γύρω του ένα μίγμα μορίων μετάλλων, όπως ο χάλυβας εργαλείων. Έπειτα, ένα επεξεργασμένο υλικό συνδέσμων χωρίζεται από το λαστιχένιο πρότυπο πυριτίου και του δίνεται φωτιά για να λιώσει τα μόρια μετάλλων και να αποβάλει το σύνδεσμο. Το λιωμένο μέρος, που είναι 70% από χάλυβα και 30% κενό ενώνεται έπειτα με χαλκό για να δώσει μια στερεά φόρμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην έγχυση καλουπιών.

Αυτή η διαδικασία που χρησιμοποιεί ένα θετικό κύριο πρότυπο SLA, που περιγράφεται ως αντίστροφη διαδικασία παραγωγής, αρχίζοντας με ένα πρότυπο SLA της ίδιας της φόρμας είναι επίσης διαθέσιμη, και απαιτεί ένα βήμα λιγότερο.

Υποστηρίζεται ότι σε αυτήν την διαδικασία, η πορεία από το στερεό πρότυπο CAD προς το χυτό με έγχυση κομμάτι παραγωγής μπορεί να ολοκληρωθεί σε 4 με 6 εβδομάδες. Μπορεί να επιτευχθεί μείωση κόστους περίπου 25 με 40% συγκρινόμενη με επεξεργασμένα στη μηχανή CNC εργαλεία χάλυβα.

2.4) Σύγκριση των τεχνικών RT

Ζωή εργαλείων (αριθμός μερών)		
10–200	201–2000	Παραπάνω από 2000
Silicon rubber mould	Arc spray metal tooling	RapidTool
Spin casting with vulcanised rubber mould	Direct AIM	3D Keltool
Castable resin mould	SL composite	Laminated metal tooling
Castable ceramic mould		SLS of sand casting moulds
Plaster mould		

Κόστος ανάπτυξης εργαλείων		
\$500–\$2000	\$2001–\$10 000	More than \$10 000
SLS of sand casting Moulds	Arc spray metal Tooling	RapidTool
Silicon rubber mould	Direct AIM	Laminated metal tooling
Spin casting with vulcanised rubber mould	SL composite	3D Keltool
Castable resin mould		
Castable ceramic mould		
Plaster mould		

Χρόνος ανάπτυξης εργαλείων		
Λιγότερο από 1εβδομάδα	1–2 εβδομάδες	Πάνω από 2 εβδομάδες
SLS of sand casting moulds	Arc spray metal tooling	RapidTool
Direct AIM	Silicon rubber mould	Laminated metal tooling
SL composite	Spin casting with vulcanised rubber mould	3D Keltool
	Castable resin mould	
	Castable ceramic mould	
	Plaster mould	

Πίνακας 2.1: Σύγκριση των τεχνικών RT

3.1) Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων

Το Σύστημα Vacuum Casting MK-Mini

Η εφαρμογή αυτή έχει κατασκευαστεί ως ένα σύστημα χαμηλού κόστους για αρχάριους, με έμφαση στην ευκολία χρήσεως. Δημιουργήθηκε για εκπαιδευτικούς σκοπούς σε πανεπιστήμια και για μικρές εταιρίες. Το παρόν σύστημα είναι ένα μέσο που αποσκοπεί στην όσο το δυνατόν πιο εύκολη και καλύτερη παραγωγή μέσω αυτής της μεθόδου.



Σχήμα 3.1: Θάλαμος κενού αέρος

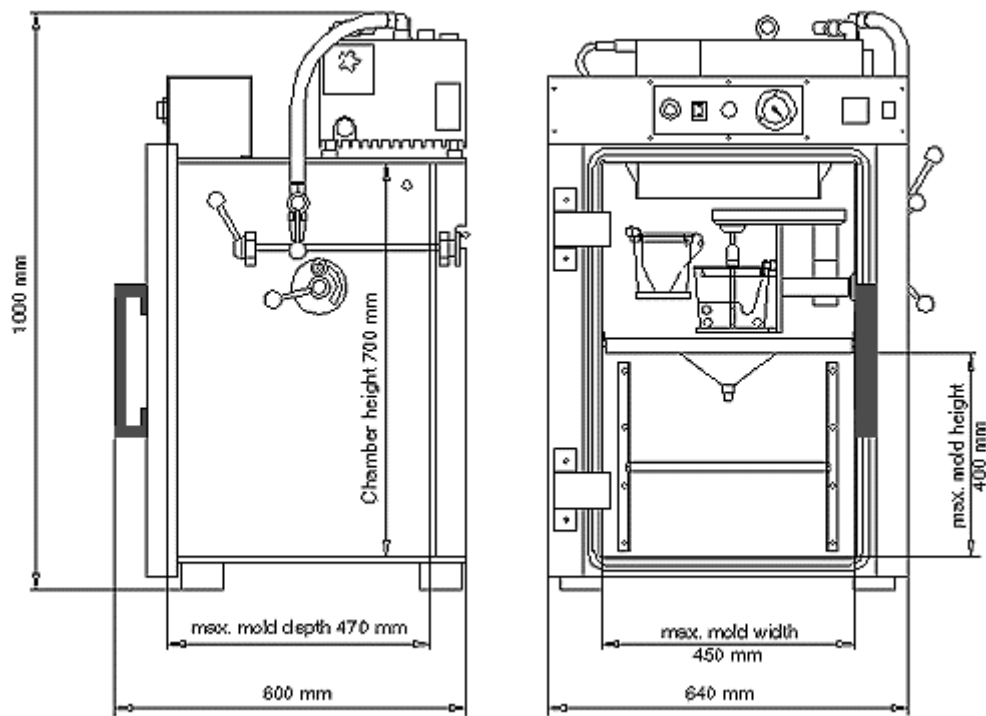
Το σύστημα αυτό έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- 1) τέλεια οπτική επαφή με το εσωτερικό χάρη στην μεγάλη γυάλινη πόρτα, εύκολος χειρισμός των δοχείων, διαφανή δοχεία και φωτεινό εσωτερικό
- 2) πολύ καλή εργονομία εξαιτίας του εύκολου χειρισμού των μοχλών από την δεξιά πλευρά της μηχανής
- 3) ακριβής λειτουργίες χάρη στον άμεσο χειρισμό των μοχλών και της ταχύτητας του μίξερ
- 4) εύκολη πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες του
- 5) τέλεια σχέση μεταξύ του μέγιστου μεγέθους του καλουπιού που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και του χώρου που καταλαμβάνει ολόκληρο το σύστημα
- 6) συμπαγής κατασκευή, χρήση συγκεκριμένων υλικών και μεγάλη διάρκεια πριν από κάθε συντήρηση
- 7) σχέση αξίας και τιμής

Όταν ο θάλαμος έχει εκκενωθεί πλήρως από τον αέρα τότε, τα τοιχώματά του και η πόρτα του δέχονται πιέσεις της τάξεως των 3-4 τόνων. Με τοίχους

φτιαγμένους από 10mm ατσάλι και 39mm γυαλί, το βάρος του είναι πολύ υψηλό (250kg). Το μέρος στο οποίο έχει τοποθετηθεί το σύστημα πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις.

- θερμοκρασία μεταξύ 19 και 22⁰C.
- υγρασία κάτω του 60%.
- επαρκής εξαερισμός
- δυνατότητα σύνδεσης με έναν εξαεριστικό μηχανισμό (απορροφητήρα)
- έντονος φωτισμός
- προσβασιμότητα από το ύψος του εδάφους.



Σχήμα 3.2: System MK-Mini

3.2) Μέτρα Προστασίας

Όταν εργαζόμαστε με σιλικόνες, ρητίνες και άλλα παρεμφερή υλικά, η υγιεινή και τα άλλα μέτρα ασφάλειας πρέπει να ακολουθούνται με μεγάλη αυστηρότητα. Συγκεκριμένα, πρέπει να φροντίζουμε ώστε να υπάρχει:

- Σωστός εξαερισμός του δωματίου.
- Απρόσκοπτη έξοδος του αέρα από την βαλβίδα και τον θάλαμο της μηχανής.
- Είναι απαραίτητη η χρήση προστατευτικών γυαλιών, γαντιών και ο κατάλληλος ρουχισμός κατά την διάρκεια των εργασιών.
- Στον χώρο εργασίας δεν πρέπει να υπάρχει κατανάλωση και αποθήκευση τροφών ή ποτών.

3.3) Ρητίνες και Εξαρτήματα

Όλες οι ρητίνες που προσφέρονται με την μηχανή, είναι ειδικά κατασκευασμένες για να χρησιμοποιούνται στον θάλαμο εκκένωσης, γι' αυτό και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αλλού. Κατά κύριο λόγο, υπάρχουν ρητίνες δύο υλικών, αποτελούμενες από Polyole και Isocyanate. Η αναλογία του μίγματος πρέπει να είναι μεταξύ του 100:100 και 100:75, γι' αυτό και πρέπει οι ποσότητες να υπολογίζονται με ψηφιακή ζυγαριά ακριβείας, με μέγιστη απόκλιση (+/-) 2g. Πριν το ζύγισμα των υλικών αυτά πρέπει να ανακατεύονται προσεκτικά.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι PU ρητίνες απορροφούν την υγρασία του αέρα, τα μπουκάλια τους πρέπει να αποθηκεύονται σε ένα ξηρό δωμάτιο στους 18⁰C περίπου, και να ανοίγονται ακριβώς πριν χρησιμοποιηθούν. Το συστατικό A, το σκληρυντικό, μπορεί να κρυσταλλοποιηθεί, ανάλογα με τον χρόνο και την θερμοκρασία αποθήκευσης.

Για τον χρωματισμό των ρητινών, με το μηχάνημα προσφέρονται και παστέλ μπογιές για όλα τα βασικά χρώματα. Όπως και οι ρητίνες, έτσι και τα χρώματα αποτελούνται από Polyole, βοηθώντας έτσι την εύκολη μίξη τους. Δεν εμφανίζεται διαχώριση ή υπόλειμμα κατά την μίξη τους. Οι μηχανικές λειτουργίες του υλικού αλλά και ο χρόνος της διαδικασίας με την

χρησιμοποίηση του χρώματος παραμένει πάνω κάτω ο ίδιος. Για μια καλύτερη δοσολογία και ημιδιαφάνεια, τα έγχρωμα ημιδιαφανή αντικείμενα, όπως φλας και στοπ οχημάτων πρέπει να χρωματίζονται με ειδικά μελάνια, τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά. Η δοσολογία γίνεται σταγόνα-σταγόνα. Οι μηχανολογικές ιδιότητες των συστατικών δεν επηρεάζονται σημαντικά, και ο χρόνος περάτωσης της διαδικασίας γίνεται λίγο μεγαλύτερος. Όλα τα χρώματα πρέπει να αναμειγνύονται με το συστατικό A, Polyole, με εξαιρετική προσοχή. Εάν η εργασία μας απαιτεί έναν αριθμό αντικειμένων με το ίδιο χρώμα, τότε προτείνεται η κατασκευή μιας αρκετά μεγάλης, έγχρωμης, ποσότητας του συστατικού A, η οποία θα χρησιμοποιείται σε κάθε αντικείμενο.

Για την βελτίωση της μηχανικής ποιότητας, όπως της ελαστικότητας, της αντοχής στην κάμψη και στο σπάσιμο, μπορούμε να προσθέσουμε MK-Fibers στις ρητίνες MK-Strong και MK-Hot. Για την αποκόμιση του τέλειου αποτελέσματος πρέπει να εφαρμοστούν τα παρακάτω:

- Αφού τα fibers, όπως και οι ρητίνες, απορροφούν την υγρασία, πρέπει να ξεραίνονται στον φούρνο, σε θερμοκρασία 70-90⁰C για αρκετές ώρες πριν από την χρησιμοποίησή τους. Σε αντίθετη περίπτωση, οι φουσκάλες μέσα στο υλικό είναι αναπόφευκτες.
- Τα fibers προστίθενται πάντα στο συστατικό B. Πρέπει να αναμειχθούν πολύ προσεκτικά έτσι ώστε να απλωθούν ομοιόμορφα μέσα στο μίγμα. Η διαδικασία πρέπει να αρχίσει αμέσως μετά την μίξη, για την αποφυγή δημιουργίας ιζήματος στο μίγμα.
- Η χρήση των fibers αυξάνει το βάρος της ρητίνης, ενώ μειώνει την ρευστότητα της.

Ως εναλλακτική λύση της παραπάνω διαδικασίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η βελτιωμένη ρητίνη MK-Carbon. Είναι εύκολη στην χρήση της, έχει τέλεια μηχανικά χαρακτηριστικά και εγγυάται μια τέλεια επιφάνεια.

3.4) Οδηγός Χρήσεως της Μηχανής

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας συνοπτικός οδηγός χρήσεως της μηχανής:

Αρχίζοντας την διαδικασία πρέπει να:

- Τραβήξουμε τον κόκκινο διακόπτη άμεσης παύσης.
- Ανοίξουμε την αντλία.
- Αφήσουμε την αντλία να ζεσταθεί για περίπου 20 λεπτά, έχοντας την βαλβίδα σταθεροποίησης του αέρα ανοικτή.
- Κλείσουμε την βαλβίδα σταθεροποίησης του αέρα.
- Ψεκάσουμε το εσωτερικό του θαλάμου της μηχανής με το ειδικό σπρέι.

Προετοιμασία των υλικών:

- Ζυγίζουμε την θερμή ρητίνη (35^0) και γεμίζουμε το δοχείο Α με το λιγότερο παχύρρευστο υλικό.
- Βάζουμε το δοχείο και τον αναδευτήρα στις θέσεις τους, κλείνουμε την πόρτα και εκκενώνουμε τον θάλαμο, γυρίζοντας τον διακόπτη τριών θέσεων στην πάνω θέση.
- Εάν είναι απαραίτητο, αφήνουμε τον αναδευτήρα να γυρίζει, έτσι ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία εξαέρωσης.
- Μετά το πέρας της εκκένωσης (5-20λεπτά), φέρνουμε τον θάλαμο στην φυσιολογική του κατάσταση, γυρίζοντας τον διακόπτη στην κάτω θέση.
- Τοποθετούμε το θερμό καλούπι (70^0C) κάτω από το χωνί, εφαρμόζοντάς το στο κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού. Εάν χρειάζεται το καλούπι να ανασηκωθεί παραπάνω τοποθετούμε από κάτω του κάποιο πιάτο που θα το σηκώσει.

Διαδικασία έκχυσης των υλικών :

- Εκκενώνουμε ξανά τον θάλαμο.
- Μετά από περίπου 3 λεπτά ή μόλις φτάσουμε την τιμή εκκένωσης των $-1,0\text{mbar}$, αναμειγνύουμε τα υλικά.
- Αρχίζουμε την λειτουργία του μίξερ και στραγγίζουμε το δοχείο Α.
- Ανακατεύουμε το μίγμα για 30-60 δευτερόλεπτα, και μετά σταματάμε το μίξερ.
- Ανάλογα με το πόσες φυσαλίδες υπάρχουν στο μίγμα, μειώνουμε την πίεση: γυρίζουμε τον διακόπτη στην κάτω θέση έως ότου φτάσουμε την

τιμή (−0,90) με (−0,95). Μετά γυρίζουμε τον διακόπτη στην οριζόντια θέση.

- Γυρίζουμε τον μοχλό του δοχείου Β και αδειάζουμε το μίγμα στο καλούπι. Μετά ξαναφέρνουμε το δοχείο στην κανονική του θέση.
- Μόλις το μίγμα ξεχειλίζει στα ανοίγματα του καλουπιού, γυρίζουμε τον διακόπτη στην κάτω θέση, βγάζουμε το καλούπι από τον θάλαμο και το τοποθετούμε μέσα στο φούρνο των 70°C.
- Βγάζουμε τον αναδευτήρα και τον καθαρίζουμε.

Συντήρηση της μηχανής:

- Καθημερινά: Καθαρίζουμε την μηχανή, αφαιρούμε αμέσως τυχόν υπολείμματα του μίγματος με καθαριστικό τζαμιών.
- Περίπου κάθε 1,000 ώρες λειτουργίας, αλλάζουμε το λάδι της αντλίας διαβάζοντας προσεκτικά το εγχειρίδιο λειτουργίας της.

3.5) Φτιάχνοντας το Καλούπι Σιλικόνης

3.5.1) Προετοιμασία

Γενικά κάθε υλικό είναι αποδεκτό για το αρχικό μοντέλο, ανεξαρτήτως σχήματος και μεγέθους. Παρόλα αυτά υπάρχουν μερικοί συγκεκριμένοι περιορισμοί:

- Για τον θάλαμο εκκένωσης του συστήματος το αρχικό μοντέλο δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 440 x 440 x 370 mm.
- Βασικά υλικά για καλύτερα αποτελέσματα είναι :
 - Θερμοπλαστικά, θερμοπηκτικά πλαστικά, ελαστομερή
 - Μέταλλα, όπως το αλουμίνιο, ατσάλι κ.ά.
 - Ξύλο, με την προϋπόθεση ότι η επιφάνειά του είναι λεία και βερνικωμένη.
- Μοντέλα από Rapid Prototyping όλων των ειδών όπως :
 - Στερεολιθογραφία
 - LOM μετά από επεξεργασία της επιφάνειας ανάλογη με αυτή του ξύλου.
 - Laser-Sintering, απαιτείται επεξεργασία της επιφάνειας για την ομαλοποίηση και λείανσή της.

Η επιφάνεια πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο λεία και απαλή. Πρέπει επίσης πάντα να έχουμε υπόψιν ότι το αρχικό μοντέλο θα αναπαραχθεί πλήρως με όλες του τις λεπτομέρειες, περιλαμβάνοντας και τυχόν ατέλειες που μπορεί να έχει. Γι'αυτό ακριβώς αξίζει τον κόπο να αφιερωθεί αρκετός χρόνος στην προετοιμασία του πρωτότυπου.

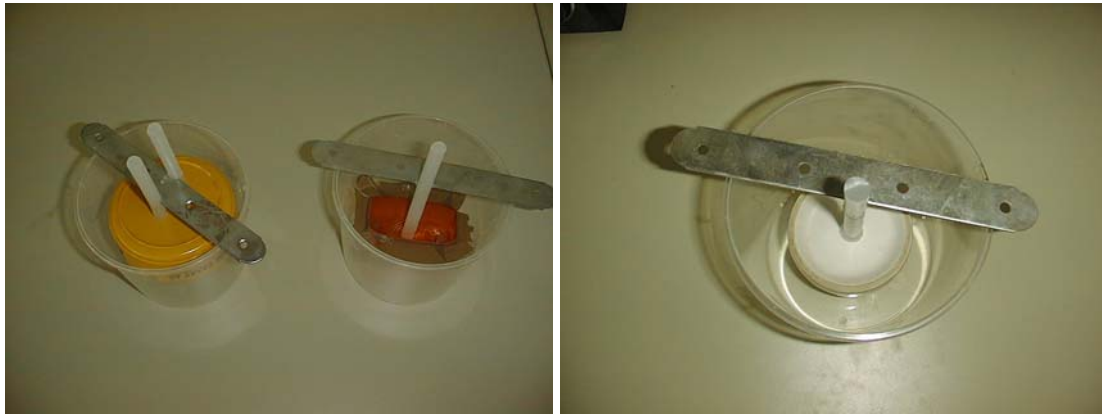
Αρχίζοντας από ένα μοντέλο Rapid Prototyping, π.χ. από ένα LOM, απαιτούνται συγκεκριμένα προσόντα «χειροτεχνίας» για την επεξεργασία της επιφάνειας χωρίς την αλλοίωση του εξωτερικού διαγράμματος του μοντέλου. Μερικές φορές, εξαρτάται από τις προδιαγραφές, είναι αναγκαία η εργασία με το χέρι με ακρίβεια της τάξης του 1/10 του χιλιοστού. Αυτό απαιτεί αρκετή εμπειρία και προσπάθεια.

3.5.2) Αρχικό Μοντέλο

Κάθε κομμάτι του αρχικού μοντέλου, ακόμη και πολύ λεπτά φιλέτα, μπορούν να παραχθούν με το σωστό καλούπι, όσο πολύπλοκα και να είναι. Είναι θέμα της ακριβούς και σωστής τοποθέτησης των γραμμών που χωρίζουν τα διάφορα σημεία του αρχικού μοντέλου. Υπάρχουν διαφορετικές διαδικασίες για τον καθορισμό αυτών των γραμμών, οι οποίες θα εξηγηθούν στην συνέχεια :

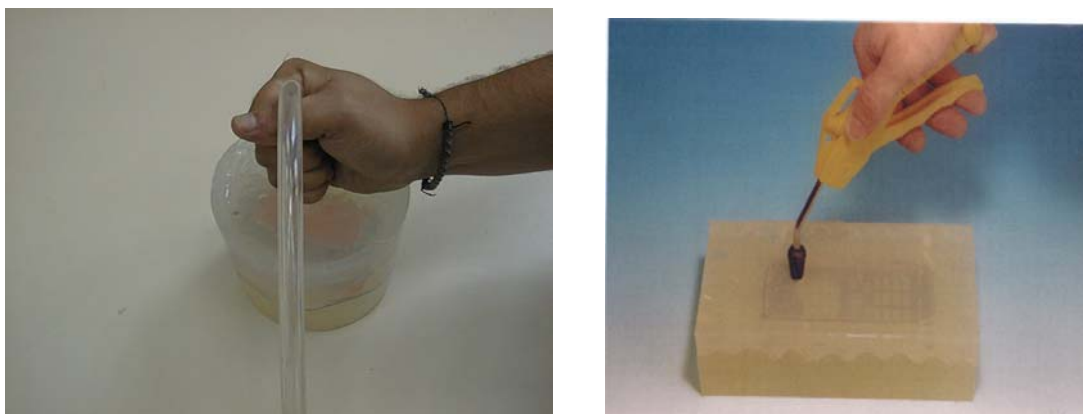
- *Διαχωρισμός των Γραμμών Μετά το Καλούπι:*

Για απλά γεωμετρικά σχήματα και συμμετρικά συστατικά αυτών, η δημιουργία του καλουπιού πρέπει να γίνεται έχοντας το αρχικό μοντέλο να αιωρείται μέσα στο χώρο που έχουμε θέσει εξαρχής ως τα όρια του καλουπιού, με την βοήθεια κάποιου ξύλο ή κάποιας άλλης βάσης. Έτσι όπως αυτό αιωρείται γεμίζει στην συνέχεια με σιλικόνη, η οποία το καλύπτει τελείως. Κατόπιν αφού η σιλικόνη στερεοποιηθεί, πρώτα από όλα θα πρέπει να αφαιρεθούν οι βάσεις που στηρίζανε το μοντέλο.



Σχήμα 3.3

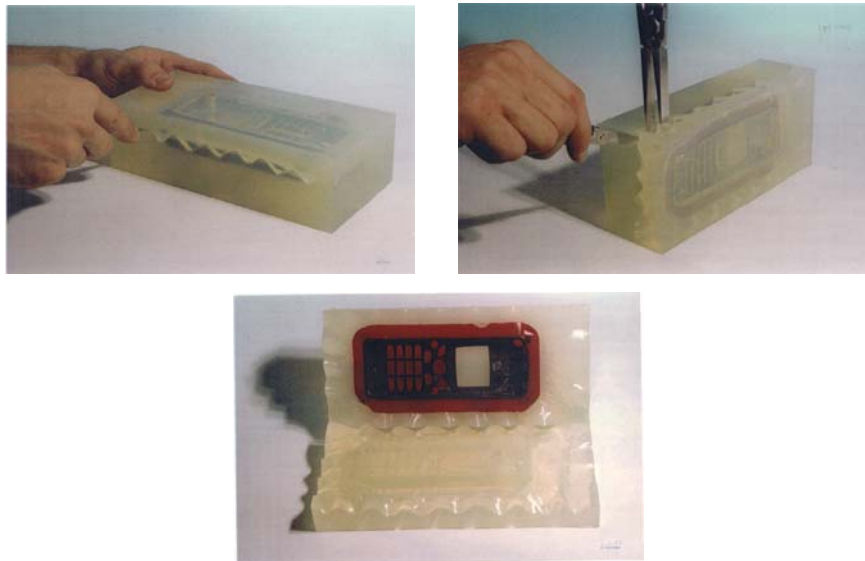
Η αποκόλληση του μοντέλου από την σιλικόνη θα γίνει πιο εύκολα εάν διοχετευτεί μέσα στο καλούπι αέρας υπό πίεση (6-10 bar) με τη βοήθεια ενός πιστολιού πεπιεσμένου αέρα. Μετά από μερικές προσπάθειες με τον πεπιεσμένο αέρα θα φαίνεται και με το μάτι ότι μερικά κομμάτια από το αρχικό μοντέλο θα έχουν ήδη αποκολληθεί από την σιλικόνη.



Σχήμα 3.4

Απλά γεωμετρικά σχήματα, όπως κύλινδροι και κώνοι, μπορεί να αποκολληθούν τελείως με τον πεπιεσμένο αέρα. Γι 'αυτό το λόγο το καλούπι ανοίγεται σε ένα του σημείο με ένα αιχμηρό αντικείμενο. Εάν πριν το ρίξιμο της σιλικόνης έχουμε αφήσει ένα άνοιγμα της τάξεως των 3-6mm τότε θα είναι πιο εύκολο μετά την στερεοποίηση της σιλικόνης να εισχωρήσει, με την βοήθεια του πιστολιού, ο πεπιεσμένος αέρας σε όλες τις επιφάνειες του μοντέλου. Έτσι το μοντέλο θα βγει σχεδόν από μόνο του μέσα από το καλούπι της σιλικόνης. Αυτός θεωρείται ο πιο εύκολος τρόπος για να βγάλουμε το πρωτότυπο μέσα από την σιλικόνη.

Με την βοήθεια της λαβίδας και μιας λεπίδας το καλούπι μπορεί να κοπεί, με εξαιρετική προσοχή, σε δύο μισά. Απαιτείται προσοχή και αυτό διότι δεν πρέπει να «τραυματιστεί» το αρχικό μοντέλο και δεν πρέπει να δημιουργηθούν φιλέτα κατά το κόψιμο της σιλικόνης. Για την πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμο το μοντέλο να έχει ήδη αποκολληθεί από την σιλικόνη, με την βοήθεια του αέρα, κατά 1-2 mm. Η ακρίβεια σε αυτήν την διαδικασία απαιτεί αρκετή εξάσκηση.



Σχήμα 3.5

- *Διαχωρισμός των Γραμμών με Κολλητική Ταινία:*

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για τον διαχωρισμό των γραμμών του αρχικού μοντέλου είναι η χρήση αυτοκόλλητης ταινίας. Η ταινία αυτή χρησιμοποιείται για να κλείσει όλα τα τυχόν ανοίγματα που υπάρχουν στο μοντέλο, και να τοποθετήσει ένα είδος «αρμού» γύρω από το μοντέλο.

Η ταινία τοποθετείται βήμα-βήμα γύρω από την επιφάνεια το μοντέλου, σε λίγο μεγαλύτερο μέγεθος από το απαιτούμενο έτσι ώστε να δημιουργηθεί ο επιθυμητός «αρμός». Η ταινία που περισσεύει εσωτερικά αφαιρείται με ένα κοπίδι. Η εξωτερική ταινία που περισσεύει κόβεται με ένα ψαλίδι αφήνοντας όμως μια επιφάνεια 10-20mm να προεξέχει. Το πόσο μεγάλη θα είναι αυτή η επιφάνεια εξαρτάται από το μέγεθος του αρχικού μοντέλου.



Σχήμα 3.6

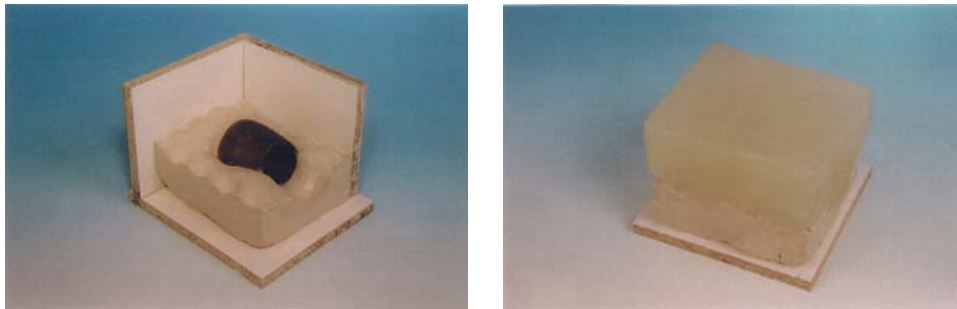
Αφού η σιλικόνη έχει στερεοποιηθεί, κόβουμε το καλούπι σε δύο μέρη στο σημείο που διαγράφεται από την ταινία που έχουμε αφήσει να προεξέχει. Είναι σημαντικό η μύτη του κοπιδιού να «δείχνει» πάντα προς την κατεύθυνση της ταινίας. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η ταινία είναι αρκετά ευδιάκριτη μέσα στο καλούπι της σιλικόνης, το κόψιμο είναι πάρα πολύ εύκολο. Συνήθως το καλούπι παραμένει ενωμένο σε αρκετά σημεία. Για να ανοίξει τελείως, ανοίγουμε τα δύο μισά του καλουπιού με μία λαβίδα και κάνουμε μικρά κοψίματα πάντα σύμφωνα με την διεύθυνση της ταινίας. Πριν ανοίξουμε τελείως το καλούπι πρέπει πρώτα για διευκόλυνσή μας να διοχετεύσουμε μέσα στο καλούπι πεπιεσμένο αέρα, μέσω του ανοίγματος που έχουμε ήδη κάνει. Αυτό διευκολύνει τα επόμενα βήματα μας.

- *Επεξεργασία με Πηλό:*

Εξαιτίας των φιλέτων, μερικά πρωτότυπα απαιτούν πολύ ακριβή καθορισμό των ορίων, και επειδή δεν υπάρχει αρκετή επιφάνεια, στα άκρα του μοντέλου, για την τοποθέτηση της ταινίας απαιτείται η χρησιμοποίηση μιας άλλης τεχνικής. Αυτή η τεχνική δεν είναι τίποτα άλλο από την βύθιση του μοντέλου σε ένα μαλακό υλικό όπως η πλαστελίνη και ο πηλός. Με τον τρόπο αυτό το σχήμα του μοντέλου διαγράφεται σχεδόν τέλεια και παράλληλα το κόψιμο του καλουπιού με τα εργαλεία γίνεται πιο εύκολο. Αφού το εύπλαστο υλικό φουσκώσει μέσα στον θάλαμο του μηχανήματος και παράλληλα βγει όλος ο αέρας από το εσωτερικό του, η τοποθέτηση της σιλικόνης μέσα στο θάλαμο για «εξαερισμό» είναι το επόμενο βήμα.

Αφού η σιλικόνη έχει σκληρύνει και στερεοποιηθεί στο ένα μισό του καλουπιού τότε ανοίγουμε το καλούπι και αφαιρούμε προσεκτικά το κομμάτι με το εύπλαστο υλικό. Εάν αυτό είναι δυνατόν το αρχικό μοντέλο δεν πρέπει να μετακινηθεί από την σκληρή σιλικόνη. Αφού έχουμε βεβαιωθεί ότι το υλικό έχει αφαιρεθεί τελείως, τότε κάνουμε την ίδια ακριβώς εργασία με το άλλο

μισό. Μόνο που τώρα στο κάτω μέρος αντί για το υλικό έχουμε την στερεή σιλικόνη.

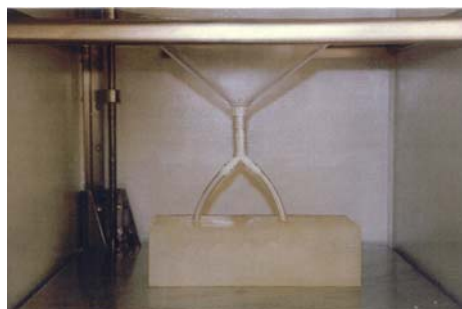


Σχήμα 3.7

3.5.3) Ανοίγματα και Στηρίγματα

Ο αριθμός και η διάμετρος των ανοιγμάτων που θα αφήσουμε στο καλούπι εξαρτάται από το μέγεθος του αρχικού του μοντέλου. Για μικρά μοντέλα, στο μέγεθος μιας γροθιάς, μία διάμετρος της τάξεως των 8mm θα ήταν κατάλληλη. Για μεγέθη παραπλήσια ενός κινητού τηλεφώνου η διάμετρος θα πρέπει να είναι περίπου 10mm. Εάν το βάρος του αρχικού μοντέλου ξεπερνάει τα 200gr η σωστή διάμετρος πρέπει να είναι 12mm.

Ανάλογα με την γεωμετρία του μοντέλου και τον χρόνο πήξης του υλικού που θα χρησιμοποιήσουμε για το αντικείμενο που θα φτιάξουμε, δύο και αρκετές φορές ακόμα και 3 ή 4 ανοίγματα απαιτούνται. Αυτά τα ανοίγματα επικοινωνούν μεταξύ τους με το εργαλείο «Υ» όπως αυτό φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι το αντικείμενο αυτό δεν περιλαμβάνεται στο δικό μας σύστημα.



Σχήμα 3.8

Τα ανοίγματα, όταν είναι παραπάνω από ένα πρέπει να ισαπέχουν από το αντικείμενο και αυτό για να χύνεται το υλικό ομοιόμορφα σε όλα τα σημεία. Για την δημιουργία των ανοιγμάτων τα πιο κατάλληλα υλικά είναι κυλινδρικές μπάρες είτε από ατσάλι είτε, όπως στην περίπτωση μας, από στερεοποιημένη κόλλα παραγωγής. Οι μπάρες αυτές μπορούν αρκετά συχνά να αντικαταστήσουν ακόμα και αυτά τα στηρίγματα που κρατούν το μοντέλο να αιωρείται μέσα στα όρια του καλούπιού.

Η χρησιμοποίηση ενός μικρού απλού χωνιού, κυρίως για μικρά αντικείμενα, αντί ενός χειροποίητου, είναι μερικές φορές ιδιαίτερα χρήσιμο και αυτό γιατί στο καλούπι βγαίνουν, στο πάνω του μέρος, και τα τοιχώματα του χωνιού τα οποία θα μπορούν στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν από μόνα τους σαν χωνί για το υλικό που θα χύσουμε μέσα στο καλούπι.

Το καλούπι κλείνει, τοποθετείται μέσα στο φούρνο, ακριβώς κάτω από το μεγάλο χωνί της μηχανής, και το υλικό αφού ζυγιστεί χύνεται μέσα. Βέβαια με αυτήν την μέθοδο τα ανοίγματα και το χωνί θα ξεχειλίσουν αλλά δεν θα επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα, κυρίως όταν αυτό αφορά μικρά μοντέλα.

Εάν το μοντέλο είναι επίπεδο, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα είδος λεπτού ανοίγματος. Ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου, για παράδειγμα, κόβεται σωστά και κολλάται στην μπροστινή μεριά του μοντέλου. Στην πλευρά, που είναι αντίθετα από το αντικείμενο, το φύλλο αυτό καταλήγει σε ένα κώνο ή σε μία κυλινδρική μπάρα, στην είσοδο της οποίας στην συνέχεια θα μπορέσει να εφαρμόσει το χωνί της μηχανής. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι το καλούπι γεμίζει ομοιόμορφα και η βάση του ανοίγματος μπορεί να αφαιρεθεί πολύ εύκολα.



Σχήμα 3.9

Είναι καλύτερο τα περαιτέρω μικρά ανοίγματα να τοποθετούνται αργότερα. Τα πλεονεκτήματα αυτής μας της κίνησης είναι ότι σε συνάρτηση με την γεωμετρία του αντικειμένου, η πρώτη εξαέρωση δείχνει το εάν και πού απαιτούνται νέα ανοίγματα. Αφού τα ανοίγματα αυτά θα πρέπει να είναι παράλληλα και μεταξύ τους και με το κεντρικό άνοιγμα, για να βοηθούν στην απελευθέρωση του αντικειμένου από το καλούπι, τα ανοίγματα θα πρέπει να γίνονται με τρυπάνι διαμέτρου 1,5-2mm και με την μέγιστη ταχύτητα.

Τα ανοίγματα πρέπει να γίνονται στα σημεία όπου, μετά την εξαέρωση έχουμε ίχνη εγκλωβισμού του αέρα, δηλαδή φουσκάλες. Το τρύπημα του καλουπιού απαιτείται κυρίως στα λεπτά και ψηλά σημεία του μοντέλου.

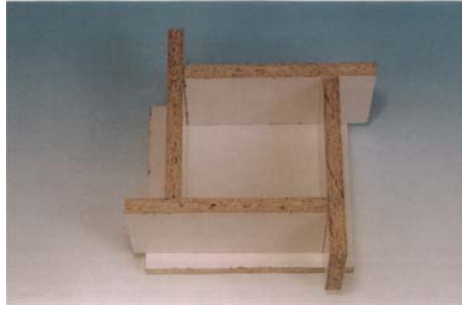
- Τα Όρια του Καλουπιού

Υπάρχουν περισσότεροι από ένας τρόποι για να φτάσουμε στο τελικό αποτέλεσμα. Καταρχήν το όρια του καλουπιού πρέπει να έχουν λεία τοιχώματα και να έχουν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το πρωτότυπο μοντέλο να απέχει από τα τοιχώματα, αν είναι μικρό 20-30mm, και αν είναι μεγάλο 100mm. Η γεωμετρία και το σχήμα των ορίων του καλουπιού εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την γεωμετρία του μοντέλου και από το σημείο που θα τοποθετήσουμε το κεντρικό άνοιγμα. Υπάρχουν δύο τρόποι διαμόρφωσης των ορίων του καλουπιού :

- Με Κομμάτια Μελαμίνης

Για καλούπια σε σχήμα κύβου η χρησιμοποίηση κομματιών μελαμίνης είναι από τις πλέον ενδεδειγμένες λύσεις. Η βάση φτιάχνεται από ένα αρκετά χοντρό κομμάτι ξύλου. Τα τέσσερα τοιχώματα φτιάχνονται και αυτά με κομμάτια μελαμίνης αλλά η τοποθέτησή τους πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας πάντα υπόψιν το μέγεθος του μοντέλου. Τα τοιχώματα αυτά μπορούν να τοποθετηθούν με το μάτι και χωρίς να κοπούν ακριβώς, και αυτό γιατί δεν μας ενοχλεί το γεγονός να προεξέχει το ένα από το άλλο. Αρκεί βέβαια το συνολικό μέγεθος να μην είναι μεγαλύτερο από τον φούρνο της μηχανής.

Τα κομμάτια της μελαμίνης ενώνονται μεταξύ τους με κόλλα. Αυτό το γεγονός κάνει πολύ εύκολη την συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγησή τους.



Σχήμα 3.10

- Έτοιμα Δοχεία Παραγωγής

Σε συνάρτηση πάντα με το μέγεθος και την γεωμετρία του μοντέλου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και έτοιμα δοχεία παραγωγής για την κατασκευή του καλουπιού. Γενικά οποιοδήποτε δοχείο παραγωγής, όπως τα τάπερ κ.ά., είναι κατάλληλα προς χρήση αρκεί βέβαια να είναι ελαστικά. Αυτό απαιτείται για την περαιτέρω διευκόλυνση μας, όταν η σιλικόνη θα έχει ήδη στερεοποιηθεί.

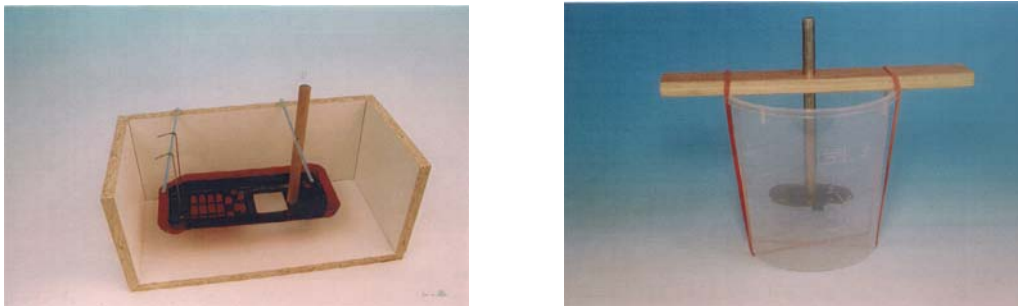
3.5.4) Τοποθέτηση του Πρωτότυπου Μέσα στα Όρια του Καλουπιού

Καταρχήν είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνεται πάντα υπόψιν η δύναμη της άνωσης στο αντικείμενο από την σιλικόνη. Είναι κάτι παραπάνω από ενοχλητικό όταν τα στηρίγματα που έχουν τοποθετηθεί, σπάσουν κατά την διάρκεια του γεμίσματος της σιλικόνης και το πρωτότυπο ανέβει στην επιφάνεια. Σε αυτήν την περίπτωση τόσο η σιλικόνη όσο και το καλούπι είναι πλέον άχρηστα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η σιλικόνη είναι αρκετά παχύρρευστη, και ότι το καλούπι συνήθως γεμίζει από την μία πλευρά, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ασκείται αρκετή πίεση στην μια πλευρά του αντικειμένου έως ότου αυτό καλυφθεί πλήρως με την σιλικόνη. Αυτές οι δυνάμεις που ασκούνται μπορεί να προκαλέσουν το σπάσιμο των στηριγμάτων που τυχόν έχουμε τοποθετήσει.

Για όλα τα παραπάνω είναι ευνόητο ότι το πρωτότυπο πρέπει να στερεωθεί όσο καλύτερα γίνεται μέσα στα όρια του καλουπιού. Εάν το πρωτότυπο έχει σπειροειδή ανοίγματα ή άλλα ανοίγματα που μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθούν, τότε η στήριξη του με μία βίδα είναι ότι καλύτερο και σταθερότερο. Σε πολλές περιπτώσεις τέτοιου είδους στηρίξεις μπορούν

εύκολα να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για ανοίγματα εισχώρησης του υλικού στο καλούπι.

Εάν η στήριξη με βίδα δεν είναι εφικτή, π.χ. το αντικείμενο έχει πολύ λεπτά τοιχώματα, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κόλλα, με ιδιαίτερη όμως προσοχή. Παράλληλα με το κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού, η στήριξη θα πρέπει να περιλαμβάνει δύο ή τρία καλώδια τα οποία μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν σαν μικρά ανοίγματα. Όλα αυτά τα στηρίγματα τοποθετούνται σε «γέφυρες» οι οποίες μοντάρονται στο άνω χείλος του κουτιού που διαμορφώνει τα όρια του καλουπιού. Για την ένωση όλων αυτών των στηριγμάτων, συμπεριλαμβανόμενων και των «γεφυρών» χρησιμοποιούμε κόλλα, ταινία ή λάστιχα.



Σχήμα 3.11

Σε περίπτωση που το αρχικό μοντέλο έχει τρύπες οι οποίες βρίσκονται στην ίδια ευθεία, μία καλή λύση για την κάλυψη τους είναι η χρησιμοποίηση καρφιών. Τα καρφιά αυτά περνιούνται μέσα από όλες τις τρύπες. Πρέπει τα καρφιά αυτά να είναι αρκετά μεγάλα έτσι ώστε να διαπερνούν το καλούπι από άκρη σε άκρη. Τοποθετούνται πριν την σιλικόνη και αφαιρούνται πριν βγάλουμε το πρωτότυπο από το καλούπι. Μόλις το βγάλουμε, στη συνέχεια τα ανατοποθετούμε έτσι ώστε ρίχνοντας κατόπιν το υλικό για την παρασκευή των αντικειμένων αυτά να έχουν ακριβώς τις ίδιες τρύπες όπως και το πρωτότυπο. Η μέθοδος αυτή έχει καλύτερα αποτελέσματα από το να καλύψουμε τις τρύπες με ταινία.

3.5.5) Υπολογισμός της Απαιτούμενης Ποσότητας Σιλικόνης

Αρχικά υπολογίζεται ο όγκος του καλουπιού σε λίτρα και κατόπιν το βάρος του μοντέλου. Ο πιο εύκολος τρόπος, όπου αυτό είναι δυνατόν, είναι να γεμίσουμε το καλούπι με νερό, περιλαμβάνοντας μέσα του και το

πρωτότυπο. Κατόπιν να αδειάσουμε το νερό σε ένα δοχείο και να μετρήσουμε το βάρος του. Βέβαια, αυτή η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε αδιάβροχα υλικά, και εννοείται ότι κατά την επεξεργασία του μοντέλου δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ταινίες ή άλλα παρεμφερή υλικά. Η υπολογισμένη τιμή, σε λίτρα, πολλαπλασιάζεται με το 1,2 για να πάρουμε την απαιτούμενη ποσότητα σιλικόνης.

Παράδειγμα:

Μέγεθος του καλουπιού: $2\text{dm} \times 2\text{dm} \times 1,5\text{dm} = 6\text{ltr}$

Υπολογιστική τιμή για το πρωτότυπο: $0,5\text{ltr}$

Απαιτούμενη ποσότητα σιλικόνης: $6\text{ltr} - 0,5\text{ltr} = 5,5\text{ltr} \times 1,2 = 6,6\text{kg}$

Άρα η ποσότητα της σιλικόνης που χρειαζόμαστε είναι 6kg και η ποσότητα του σκληρυντικού 600gr.

3.5.6) Προετοιμάζοντας την Σιλικόνη

Αφού έχουμε ζυγίσει ήδη τις ποσότητες της σιλικόνης και του σκληρυντικού τα βάζουμε και τα δύο μέσα σε έναν κουβά. Εκεί τα ανακατεύουμε, κατά προτίμηση για καλύτερη μίξη των υλικών με ένα τρυπάνι στο οποίο έχουμε εφαρμόσει έναν αναδευτήρα. Στο σημείο της μίξης είναι σημαντικό να ελέγξουμε την ώρα, και αυτό για να μην ξεπεράσουμε τον χρόνο πήξης τη σιλικόνης που ανέρχεται περίπου στις δύο ώρες. Το δοχείο ή ο κουβάς που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος, και αυτό γιατί η σιλικόνη, κατά την διάρκεια της εξαέρωσης, θα φουσκώσει 5-8 φορές παραπάνω από τον αρχικό της όγκο.

Εάν η ποσότητα της σιλικόνης είναι μικρή, τότε η εξαέρωση της σιλικόνης δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται μεγάλη προσοχή. Αυτό γίνεται γιατί η σιλικόνη φουσκώνει μέσα στον θάλαμο και υπάρχει φόβος υπερχειλίσης. Για αυτό τον λόγο πρέπει η εξαέρωση της σιλικόνης να παρακολουθείται καθ' όλη τη διάρκεια. Για την καλύτερη εξαέρωση της σιλικόνης θα πρέπει η πίεση μέσα στον θάλαμο να διατηρείται σε μία τιμή της τάξεως του 1mbar. Η διατήρηση αυτής της πίεσεως επιτυγχάνεται με την κατά τακτά χρονικά διαστήματα αυξομείωσή (εκτόνωση) της. Η μείωση αυτή εκτός από τα παραπάνω, βοηθάει και στην απελευθέρωση του εγκλωβισμένου αέρα. Ο αέρας αυτός βρίσκεται μέσα σε

φουσκάλες οι οποίες εμφανίζονται στην επιφάνεια της σιλικόνης. Οι ενέργειες αυτές γίνονται χειροκίνητα στο σύστημα μας.



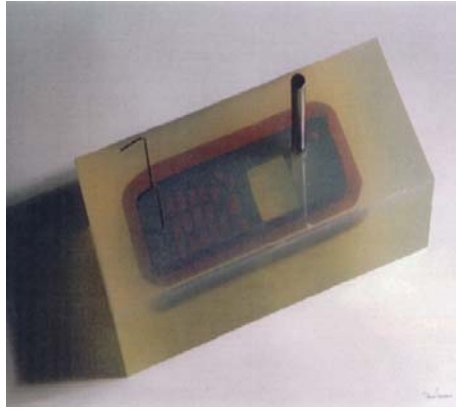
Σχήμα 3.12

Η διαδικασία της εξαέρωσης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα τριάντα λεπτά. Κατόπιν κάνουμε αποσυμπίεση του θαλάμου της μηχανής και βγάζουμε έξω το μείγμα της σιλικόνης.

Στη συνέχεια η εξαερωμένη σιλικόνη χύνεται προσεκτικά μέσα στο καλούπι, προσέχοντας να καλύψει πλήρως το πρωτότυπο. Είναι πρακτικό κατά τη διάρκεια του γεμίσματος, το καλούπι να βρίσκεται υπό κλίση για την καλύτερη έκχυση μέσα σε αυτό της σιλικόνης. Μόλις το καλούπι γεμίσει και η σιλικόνη καλύψει πλήρως το μοντέλο, το ξανατοποθετούμε μέσα στο θάλαμο για νέα εξαέρωση.

Παρά την προηγούμενη εξαέρωση που έχουμε κάνει θα ξαναεμφανιστούν φυσαλίδες. Η όλη διαδικασία πρέπει να παρατηρείται προσεκτικά, και αυτό για να αποφύγουμε, μέσω των αυξομειώσεων της πίεσης, την υπερχειλίση της σιλικόνης. Η δεύτερη εξαέρωση διαρκεί και αυτή περίπου τριάντα λεπτά.

Ανάλογα με το πόσο επείγει η κατασκευή του καλουπιού, η σιλικόνη στερεοποιείται πλήρως είτε σε 24 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου, είτε σε τρεις ώρες σε θερμοκρασία της τάξεως των 80°C, από την στιγμή που θα ολοκληρωθεί η δεύτερη εξαέρωση. Καλό είναι να προτιμάται η αργή σκλήρυνση της σιλικόνης, σε φυσιολογικές συνθήκες, εξαιτίας του ότι η μεγάλη θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει διαστολές μέσα στο καλούπι οι οποίες είναι ανεπιθύμητες.



Σχήμα 3.13

3.5.7) Ανοίγοντας το Καλούπι της Σιλικόνης

Μετά την σκλήρυνση της σιλικόνης το καλούπι μπορεί πλέον να ανοιχθεί. Εάν δεν υπάρχει πίεση χρόνου καλό θα ήταν να περιμένουμε λίγο ακόμα έως ότου η διαδικασία σκλήρυνσης ολοκληρωθεί πλήρως. Είναι κάτι πολύ παραπάνω από ενοχλητικό, εάν είτε από περιέργεια είτε από πίεση χρόνου ανοίξουμε το καλούπι πριν η σιλικόνη στερεοποιηθεί τελείως, με αποτέλεσμα αυτή να παραμορφωθεί.

Εάν αυτό είναι εφικτό, καλό θα ήταν να χρησιμοποιηθεί πεπιεσμένος αέρας πριν το άνοιγμα του καλουπιού. Για να γίνει αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το άνοιγμα που έχουμε αφήσει στο καλούπι. Ο πεπιεσμένος αέρας μπορεί να προκαλέσει μέχρι και την ολική αποκόλληση του μοντέλου από την σιλικόνη. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, το καλούπι μπορεί να ανοιχθεί με μία κυματοειδή τομή σε όλη την περιφέρειά του. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η σιλικόνη είναι διαφανής, ο χειρισμός και ο καθορισμός της κατεύθυνσης του κοπιδιού γίνεται αρκετά εύκολα. Η κυματοειδής τομή θα βοηθήσει στην μετέπειτα ένωση των δύο κομματιών του καλουπιού.

Κατά την διάρκεια της κοπής είναι σημαντικό η λεπίδα να «κοιτάει» πάντα προς την ταινία. Αφού ολοκληρωθεί η πρώτη τομή, χρησιμοποιούμε λαβίδα για τον διαχωρισμό των δύο κομματιών. Κάνοντας αυτόν τον διαχωρισμό έχουμε την ευχέρεια να κόψουμε όποια κομμάτια σιλικόνης έχουν απομείνει μεταξύ του πρώτου κοψίματος και της ταινίας. Αυτό γίνεται έως ότου το καλούπι χωριστεί πλήρως σε δύο κομμάτια.

Το πρωτότυπο αφαιρείται προσεκτικά από το εσωτερικό του καλουπιού. Κατόπιν αφαιρούνται τυχόν υπολείμματα ταινίας η σιλικόνης και το καλούπι είναι πλέον έτοιμο για την κατασκευή του πρώτου αντικειμένου.

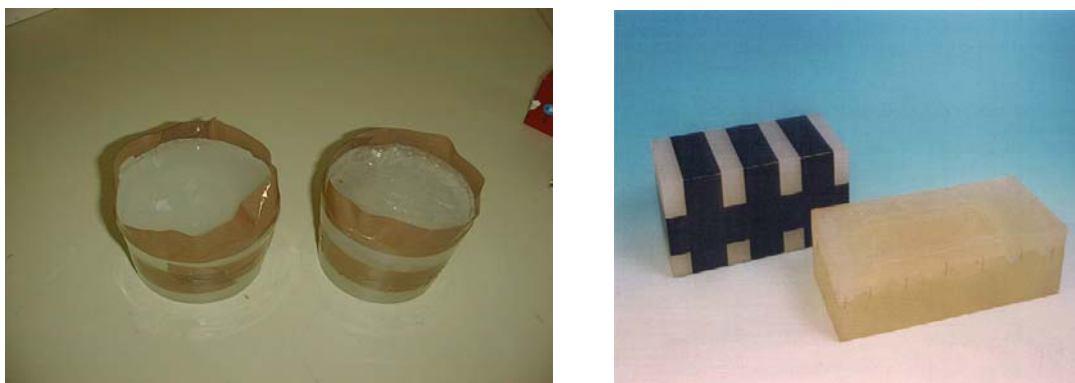
3.6) Κατασκευή των Αντικειμένων από το Καλούπι

3.6.1) Προετοιμασία του Καλουπιού

Πριν κλείσουμε το καλούπι πρέπει να το ψεκάσουμε με ένα ειδικό σπρέι το οποίο περιλαμβάνεται μέσα στη μηχανή. Ο ψεκασμός με αυτό το σπρέι πρέπει να γίνεται στο εσωτερικό του καλουπιού, και βοηθάει στην μετέπειτα εύκολη αποκόλληση του αντικειμένου από το καλούπι. Υπάρχουν δύο τρόποι για το κλείσιμο του καλουπιού:

Ο ένας τρόπος είναι η ένωσή του με συρραπτικά. Δεν υπάρχει περίπτωση καταστροφής του καλουπιού, και αυτό επειδή η συρραφή γίνεται με το χέρι και τα συρραπτικά έχουν σε κάθε κλείσιμο διαφορετική θέση. Αυτό το γεγονός μας επιτρέπει την χρησιμοποίηση του καλουπιού για πολλές φορές. Μεγάλα καλούπια, με βάρος πάνω από 5 kg, πρέπει να κλείνονται και να σφραγίζονται με κολλητική ταινία καλής ποιότητας. Αυτός ο τρόπος απαιτεί εξαιρετική προσοχή και αυτό γιατί το καλούπι δεν πρέπει να παραμορφωθεί και παράλληλα πρέπει να αφήσουμε κάποια σημεία ακάλυπτα έτσι ώστε να μπορούμε μέσα από αυτά να παρατηρούμε την όλη διαδικασία έκχυσης των υλικών μέσα σε αυτά. Εάν τώρα το καλούπι είναι μεγάλο και επίπεδο η καλύτερη λύση θα ήταν να τοποθετήσουμε το καλούπι ανάμεσα από δύο κομμάτια ξύλου και αυτά με τη σειρά τους να τα κρατάμε στη σωστή θέση με δύο σφικτήρες.

Αφού το καλούπι έχει σφραγιστεί το βάζουμε μέσα στο φούρνο για προθερμανθεί μέχρι την θερμοκρασία των 50-70°C, ανάλογα με τις ρητίνες που θα χρησιμοποιήσουμε.



Σχήμα 3.14

3.6.2) Υπολογίζοντας τις Ποσότητες των Ρητινών

Ανάλογα με το μέγεθος του δοχείου και το είδος της ρητίνης, υπάρχουν κάποιες ελάχιστες ποσότητες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Σε κάθε περίπτωση στο δοχείο Α θα παραμείνει κάποιο υπόλοιπο, το οποίο επηρεάζει την αναλογία του μείγματος. Για το σύστημα μας, η ελάχιστη ποσότητα (Α+Β) είναι περίπου 50g.

Για να κρατήσουμε την ανακρίβεια των υπολογισμών όσο γίνεται πιο χαμηλά, καλό θα ήταν να χρησιμοποιούμε το δοχείο Α αρκετές φορές, όταν το αντικείμενο φτιάχνεται με το ίδιο είδος ρητίνης. Το δοχείο Α, με το υπόλειμμα από την προηγούμενη χρήση του, τοποθετείται στην ζυγαριά και αυτή μηδενίζεται. Με αυτόν τον τρόπο μετά την δεύτερη παραγωγή αντικειμένου έχουμε την προσέγγιση της τέλει αναλογίας μίγματος. Βέβαια το δοχείο Β θα πρέπει να αλλάζεται μετά από κάθε χρήση του. Το βάρος του δοχείου όμως θα πρέπει και αυτό να μηδενίζεται, μηδενίζοντας την ζυγαριά με το δοχείο πάνω της.

Εάν το αρχικό μοντέλο είναι φτιαγμένο από πλαστικό, η απαιτούμενη ποσότητα ρητίνης μπορεί να προσεγγιστεί με αποδεκτή ακρίβεια, ζυγίζοντας το μοντέλο, προσθέτοντας όμως 20 με 30% παραπάνω για τα ανοίγματα και τις τυχόν βάσεις. Σε αντίθετη περίπτωση η ποσότητα της ρητίνης για το πρώτο αντικείμενο θα πρέπει να υπολογιστεί. Στην πρώτη μας προσπάθεια καλύτερο θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε λίγο παραπάνω υλικό από το να μην γεμίσει τελείως το καλούπι.

3.6.3) Ετοιμάζοντας το υλικό

Αφού ζυγίσουμε τα δύο υλικά μέσα στα δοχεία A και B, αυτά τοποθετούνται μέσα στο θάλαμο της μηχανής, στις προκαθορισμένες θέσεις του και ασφαλίζονται. Στη συνέχεια η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

Πρώτα από όλα τοποθετούμε το δοχείο B στην θέση του και το ασφαλίζουμε. Κατόπιν βάζουμε μέσα σε αυτό τον αναδευτήρα σηκώνοντας την ασφάλεια που βρίσκεται πάνω από αυτό. Μετά τοποθετούμε και το δοχείο A και το ασφαλίζουμε και αυτό. Όταν τοποθετούμε τα δύο δοχεία, πρέπει να προσέξουμε οι βάσεις τους να «πατάνε» καλά και το χείλος τους να έχει μπει ακριβώς στις υποδοχές που υπάρχουν. Αφού όλα τα παραπάνω έχουν γίνει σωστά τότε βάζουμε και την ασφάλεια που βρίσκεται στο χείλος του κάθε δοχείου.

Εάν αυτό είναι εφικτό, η εξαέρωση των υλικών πρέπει να γίνεται σε δύο βήματα. Η κύρια εξαέρωση διαρκεί περίπου 15-30 λεπτά, ανάλογα με το είδος των υλικών, και πρέπει να γίνει χωρίς το καλούπι να έχει τοποθετηθεί μέσα στο θάλαμο. Εάν αυτό τοποθετηθεί από την αρχή τότε θα πέσει η θερμοκρασία του, κάτι που δεν είναι επιθυμητό για την όλη διαδικασία. Μετά την κύρια εξαέρωση, το καλούπι βγαίνει από τον φούρνο και τοποθετείται μέσα στο θάλαμο. Για μικρά καλούπια, το μικρό χωνί, που περιλαμβάνεται στην μηχανή είναι ότι καλύτερο για την είσοδο των υλικών μέσα στο καλούπι. Το χωνί, τοποθετείται απλά στο κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού.



Σχήμα 3.15

Το καλούπι πρέπει να τοποθετηθεί ακριβώς κάτω από το δοχείο B. Για μεγαλύτερα καλούπια, χρησιμοποιούμε το μεγάλο πλαστικό χωνί, το οποίο και αυτό περιλαμβάνεται στην μηχανή. Σε συνάρτηση με το πόσο μεγάλο είναι το

καλούπι, μπορούμε να κόψουμε το χωνί στο άκρο του έτσι ώστε αυτό να εφαρμόζει ακριβώς στο κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού. Εάν τα ανοίγματα στο καλούπι είναι παραπάνω από ένα τότε χρησιμοποιούμε το εργαλείο «Υ». Ο θάλαμος εκκενώνεται και η ρητίνη επαναεραρώνεται στο απόλυτο κενό (ένδειξη μηδέν) για 3-5 λεπτά. Είναι χρήσιμο το μίγμα των υλικών να βρίσκεται στην θερμοκρασία των 35⁰C, γιατί οι συνθήκες αυτές διευκολύνουν και επιταχύνουν την εξαέρωση.

Αφού έχουμε θέσει σε λειτουργία της αντλία και η εκκένωση του αέρα έχει αρχίσει τότε αρχίζουμε να μετράμε τον ακριβή χρόνο διάρκειας αυτή της φάσης. Μετά από περίπου 8 λεπτά, 3 λεπτά εκκένωσης του θαλάμου και 5 λεπτά εκκένωσης των υλικών, μπορούμε πλέον να αρχίσουμε την «πραγματική» διαδικασία.



Σχήμα 3.16

3.6.4) Η Διαδικασία Έκχυσης των Υλικών στο Καλούπι

Μετά το πέρας των 8 λεπτών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκκένωσης τότε μηδενίζουμε το ρολόι. Εκείνη την στιγμή χύνουμε το υλικό του δοχείου Α μέσα στο δοχείο Β και το ρολόι ξαναρχίζει. Τώρα τα δύο υλικά έχουν αναμειχθεί και πλέον το ρολόι δεν μετράει τίποτα άλλο από τον χρόνο πήξης του μίγματος. Από αυτό το σημείο ο χρόνος μετράει αντίστροφα. Η όλη διαδικασία πρέπει να ολοκληρωθεί πριν τον πέρας του χρόνου πήξης του μίγματος. Ο χρόνος αυτός ποικίλει από 1,5 έως 20 λεπτά, ανάλογα με το είδος των ρητινών.

Μετά την έναρξη λειτουργίας του ρολογιού χύνουμε το υλικό του δοχείου Α στο δοχείο Β και αρχίζουμε να ανακατεύουμε με το μίξερ. Η

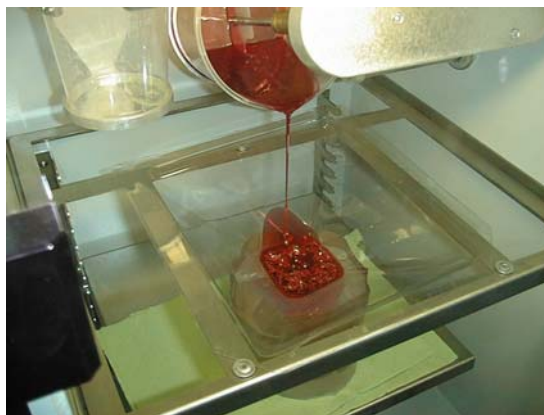
ταχύτητα του μίξερ στο σύστημα ελέγχεται χειροκίνητα και εξαρτάται από την ποσότητα και από το πόσο παχύρρευστο είναι το μίγμα. Το ανακάτεμα των υλικών ολοκληρώνεται μετά από 15-20 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 3.17

Η ανάμειξη των υλικών πρέπει να γίνεται σε πίεση λίγο κάτω από την μέγιστη πίεση της μηχανής (0,8 mbar). Μετά το ανακάτεμα των υλικών, το μίγμα χρειάζεται μία μικρή μείωση της πίεσεως για να βγει από αυτό τυχόν αέρας που έχει εγκλωβιστεί με την μορφή φουσκαλών.

Αφού το μίγμα παραμένει σε αυτή την πίεση για περίπου 15-30 δευτερόλεπτα τότε είναι πλέον έτοιμο για να γεμίσει το καλούπι. Γυρίζουμε τον μοχλό ελέγχου του δοχείου Β και αδειάζουμε το μίγμα μέσα στο καλούπι έως ότου αυτό γεμίσει τελείως. Αυτή η διαδικασία απαιτεί εκτός από γρήγορες κινήσεις και εξαιρετική προσοχή. Μόλις το καλούπι γεμίσει τελείως με το μίγμα, τότε μειώνουμε ακόμη περισσότερο την πίεση μέσα στον θάλαμο έτσι ώστε το μίγμα να φτάσει σε κάθε γωνία του καλουπιού και τυχόν αέρας εγκλωβισμένος μέσα σε αυτό να βγει έξω στον θάλαμο.



Σχήμα 3.18

Αφού ολοκληρωθεί τελείως και αυτή η διαδικασία, τότε μηδενίζουμε την πίεση στο θάλαμο, τον ανοίγουμε και βγάζουμε προσεκτικά το καλούπι. Μόλις το βγάλουμε το τοποθετούμε μέσα στον φούρνο και το μόνο που πρέπει να κάνουμε τώρα είναι να περιμένουμε να πήξει η ρητίνη.



Σχήμα 3.19

3.6.5) Τελικές Τακτοποιήσεις

Αφού το καλούπι έχει τοποθετηθεί μέσα στο φούρνο, ο αναδευτήρας του μίξερ πρέπει να βγει και να καθαριστεί με ένα πανί τύπου Kleenex αμέσως. Το καθάρισμα του γίνεται πολύ πιο δύσκολο όταν το μίγμα έχει αντιδράσει και έχει αρχίσει να στερεοποιείται. Βέβαια όλο και κάποιος θα βρεθεί στην συγκεκριμένη θέση, γι'αυτό υπάρχουν κάποιες συγκεκριμένες λύσεις :

1. Πετάμε τον παλιό αναδευτήρα και χρησιμοποιούμε τον δεύτερο που περιλαμβάνεται με την μηχανή.
2. Ανοίγουμε τις δύο βίδες που ενώνουν τα πλαστικά πτερύγια του αναδευτήρα και τα αλλάζουμε με αυτά του καινούργιου.
3. Θερμαίνουμε τον αναδευτήρα στους 120⁰C και κατόπιν αφαιρούμε το σχεδόν υγροποιημένο μίγμα.

Ανάλογα με το είδος της ρητίνης, το καλούπι της σιλικόνης μπορεί να βγει από τον φούρνο, μέσα σε 5-30 λεπτά, για να βγάλουμε το αντικείμενο.

Πριν ανοίξουμε το καλούπι καλό θα ήταν να διοχετεύσουμε μέσα σε αυτό πεπιεσμένο αέρα, για την διευκόλυνση αποκόλλησης του αντικειμένου. Μερικές ρητίνες είναι αρκετά κολλώδης και παχύρρευστες στις υψηλές θερμοκρασίες. Γι' αυτό το λόγο καλό θα ήταν να αφήσουμε το καλούπι να κρυώσει για λίγο, για να αποφύγουμε τυχόν παραμορφώσεις. Εάν το αντικείμενο παραμορφωθεί τότε θα πρέπει να ξαναξεσταθεί πάραυτα στους 70°C. Αυτή η διαδικασία απαιτεί το αντικείμενο να βρίσκεται επίπεδο στον πάτο του καλουπιού. Η θέρμανση κάνει το αντικείμενο να ξαναέρθει στην κανονική του μορφή. Για ρητίνες υψηλής θερμοκρασίας, απαιτούνται θερμοκρασίες ακόμα και 95% μεγαλύτερες.

Το αντικείμενο αφού βγει από το καλούπι καθαρίζεται από τυχόν υπολείμματα ταινίας ή υλικού στα σημεία των ανοιγμάτων, των στηριγμάτων και των βάσεων, και είναι πλέον έτοιμο. Ο επόμενος κύκλος παραγωγής μπορεί να αρχίσει αφού καθαριστεί και το καλούπι και ψεκαστεί με το ειδικό σπρέι αποκόλλησης. Το αντικείμενο πρέπει να καθαριστεί με πολύ ακρίβεια και προσοχή σε όλα τα επίμαχα σημεία του, έτσι ώστε να πάρει ακριβώς το σχήμα του πρωτότυπου.

Ο χρόνος ζωής του καλουπιού, δηλαδή το πόσα αντικείμενα μπορούμε να παράγουμε, εξαρτάται από μία σειρά παραγόντων. Σύμφωνα με την μέχρι τώρα εμπειρία μας, ο χρόνος αυτός ποικίλει από 20 έως 80 αντικείμενα. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι:

- 1.** Ο αριθμός και το είδος των κοψιμάτων
- 2.** Το είδος των ρητινών και το προστιθέμενο χρώμα, εάν αυτό υπάρχει.
- 3.** Η χρήση του ειδικού αντικολλητικού σπρέι σιλικόνης.
- 4.** Ο αριθμός των κύκλων παραγωγής ανά ημέρα: Ένα καλούπι που χρησιμοποιείται μία φορά την ημέρα, και τον υπόλοιπο καιρό μένει ανοικτό για να αναπνέει, θα παράγει πολύ περισσότερα κομμάτια από αυτό που χρησιμοποιείται σε ωριαίο ρυθμό καθημερινά.

4.1) Η τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας

Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία η χρήση του όρου virtual (εικονικός, πλασματικός) συναντάται όλο και συχνότερα σε αρκετούς τομείς της τεχνολογίας. Καθημερινά γίνονται αναφορές για εικονικά πανεπιστήμια, εικονικά γραφεία, εικονικά κατοικίδια ζώα, εικονικούς γιατρούς, εικονικές περιηγήσεις κ.α. Όλες αυτές οι αναφορές συνδέονται με την τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας.

Η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality – VR) εμφανίστηκε ως όρος στα μέσα της δεκαετίας του 1980 δημιουργώντας μια σειρά από συζητήσεις για τον ορισμό της έννοιας της πραγματικότητας. Σε μικρό χρονικό διάστημα πολλοί τομείς, όπως η αγορά αγαθών και η εκπαίδευση, απέκτησαν μια νέα, εικονική διάσταση.

4.2) Τι είναι Εικονική Πραγματικότητα

Η εικονική πραγματικότητα είναι η τεχνολογία, με την οποία προσομοιώνεται η συμπεριφορά πραγματικών κόσμων σε κάποιο εικονικό περιβάλλον, με τη βοήθεια κατάλληλου συστήματος προσομοίωσης.

Η τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας έγινε αποδεκτή από τις επιχειρήσεις από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης της. Για το λόγο αυτό οι εταιρίες που παρείχαν εφαρμογές της τεχνολογίας Εικονικής Πραγματικότητας σύντομα τις εξέλιξαν σε εμπορικά προϊόντα. Τα αρχικά συστήματα είχαν πρόβλημα στο χρόνο απόκρισης των εφαρμογών στους χειρισμούς του χρήστη, αλλά ήταν εμφανές ότι τα προβλήματα αυτά θα ξεπερνούσαν σύντομα, παρέχοντας περισσότερο ρεαλιστικές εφαρμογές.

Η τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας στη σημερινή της μορφή εμφανίζεται με συνθέσεις, οι οποίες διαφοροποιούνται κυρίως ως προς τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό. Με την εξέλιξη των συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας έγινε εφικτός ο χειρισμός από το χρήστη των αντικειμένων, που απεικονίζονται από το σύστημα, με τη χρήση κατάλληλων περιφερειακών. Επιπλέον παρέχεται η δυνατότητα εικονικής κίνησης και

αλληλεπίδρασης του χρήστη με τον εικονικό κόσμο, επεκτείνοντας αρκετά τους τομείς εφαρμογής της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας. Έτσι είναι πλέον εφικτός ο σχεδιασμός και η αλληλεπίδραση με προϊόντα, πριν αυτά κατασκευαστούν, η εκπαίδευση ιατρών σε εικονικές επεμβάσεις και πολλές άλλες εφαρμογές, μερικές από τις οποίες θα περιγραφούν παρακάτω.

Ένα σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας πρέπει να κάνει τρεις δουλείες:

1. Να επικοινωνεί με τον άνθρωπο
2. Να «θυμάται» και να «υπολογίζει»
3. Να δίνει απαντήσεις και συμβουλές

Οι δημιουργοί λογισμικού εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας πρέπει να γνωρίζουν ότι όπως στην πραγματική ζωή ο άνθρωπος πρέπει να ολοκληρώνει τις αποφάσεις του και μετά να τις αξιολογεί, έτσι και στις εφαρμογές υπάρχει η ανάγκη υλοποίησης ενός πλήρους κύκλου για να υπάρχει η δυνατότητα στη συνέχεια η όποια εφαρμογή να βελτιστοποιηθεί, σε διάρκεια πολλών κύκλων όπου ο καθένας ξεχωριστά πρέπει να είναι πλήρης.

4.3) Τι δεν είναι Εικονική Πραγματικότητα

Όταν έγινε εφικτή η χρήση των υπολογιστών στη δημιουργία εικόνων, οι τεχνικές δημιουργίας γραφικών σε υπολογιστή εφαρμόστηκαν σχεδόν σε όλες τις μορφές σχεδιασμού. Η δημιουργία γραφικών σε υπολογιστή συναντάται σε εφαρμογές γραφιστικής, σε συστήματα οπτικοποίησης δεδομένων, σε παιχνίδια, σε προγράμματα στην τηλεόραση, σε εφέ στον κινηματογράφο κλπ. Όλες αυτές οι εφαρμογές δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας και αυτό αποτελεί συχνά θέμα προς συζήτηση.

Τα πρώτα παιχνίδια σε υπολογιστή περιείχαν αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο, αλλά σίγουρα δεν αποτελούσαν συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας. Ένας βασικός λόγος είναι ότι η απεικόνιση γινόταν με τη χρήση δισδιάστατων γραφικών. Στα σημερινά παιχνίδια η απεικόνιση γίνεται με τρισδιάστατα γραφικά και έχει αυξηθεί σημαντικά η αληθοφάνεια των περιεχόμενων σεναρίων. Υπάρχει η δυνατότητα χειρισμού αεροσκαφών σε πραγματικά περιβάλλοντα ή η οδήγηση αυτοκινήτων σε ακριβή αντίγραφα

πραγματικών πιστών αγώνων. Τέτοια συστήματα περιέχουν χαρακτηριστικά περιήγησης και αλληλεπίδρασης σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα και μπορούν να χαρακτηριστούν ως συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας. Η τεχνολογία των παιχνιδιών σε υπολογιστές εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς και ήδη τα παιχνίδια είναι οι πιο απαιτητικές εφαρμογές σε υπολογιστές, παρέχοντας σε κάποιες περιπτώσεις εφαρμογές για τη μέτρηση της απόδοσης των υπολογιστών (π.χ. το benchmarking στο Quake). Έτσι τα σημερινά παιχνίδια μπορούν να θεωρηθούν ως ένας από τους τομείς εφαρμογής της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας. Ταυτόχρονα όμως με την αύξηση των δυνατοτήτων των υπολογιστών αυξάνεται και η ρεαλιστικότητα της προσομοίωσης διαδικασιών, οπότε η χρήση της Εικονικής Πραγματικότητας μπορεί να εφαρμοστεί με χαμηλότερο κόστος σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπου απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια στην αλληλεπίδραση με το σύστημα. Οπότε και σε αυτόν τον τομέα αναμένεται διάδοση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας, η οποία φαίνεται να αποτελεί την εξέλιξη και την επόμενη γενιά των συστημάτων CAD.

Εφαρμογές που δεν μπορούν να χαρακτηριστούν εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας είναι τα γραφικά σε εφαρμογές γραφιστικής ή τα γραφικά που δημιουργούνται στα εφέ στον κινηματογράφο. Στον κινηματογράφο για παράδειγμα δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των ηθοποιών με τα τους εικονικούς χαρακτήρες. Το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον δημιουργούνται ανεξάρτητα και στη συνέχεια γίνεται σύνθεση των δύο αυτών τμημάτων για τη δημιουργία της ταινίας. Έτσι δεν υπάρχει ούτε το χαρακτηριστικό της περιήγησης από τους ηθοποιούς στο εικονικό περιβάλλον, ούτε κάποιο είδος αλληλεπίδρασης.

Οι εταιρίες δημιουργίας ειδικών εφέ έχουν δημιουργήσει αρκετά εντυπωσιακά σενάρια με τη χρήση υπολογιστών, τα οποία όμως δεν αποτελούν συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας, αλλά πολύ καλά παραδείγματα κινούμενων γραφικών σε υπολογιστή, το οποίο αποτελεί διαφορετική τεχνολογία. Μια βασική διαφορά είναι ότι τα γραφικά αυτά είναι πολύ υψηλής ανάλυσης και λεπτομέρειας και δεν μπορούν με οποιοδήποτε σύγχρονο υπολογιστή να αναπαραχθούν σε πραγματικό χρόνο, το οποίο σημαίνει την απεικόνιση τουλάχιστο 10 εικόνων το δευτερόλεπτο. Οι πολύ υψηλής ανάλυσης εικόνες που εμφανίζονται σε αυτά τα κινούμενα γραφικά

μπορούν να παραχθούν σε ένα ισχυρό υπολογιστικό σύστημα με ρυθμό περίπου 6 εικόνων την ώρα. Η τεχνολογία αυτή αφορά τη δημιουργία και αποθήκευση των εικόνων μέσω προεπιλεγμένων σεναρίων. Οι εικόνες αυτές στη συνέχεια αναπαράγονται χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής του σεναρίου ή η οποιαδήποτε μορφή αλληλεπίδρασης με τα εικονικά αντικείμενα που απεικονίζονται μέσω των γραφικών.

4.4) Η Φυσική και η τεχνητή εικόνα

Το αστραφτερό αυτοκίνητο που βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα, δεν αποτελεί κάποια φωτογραφία.

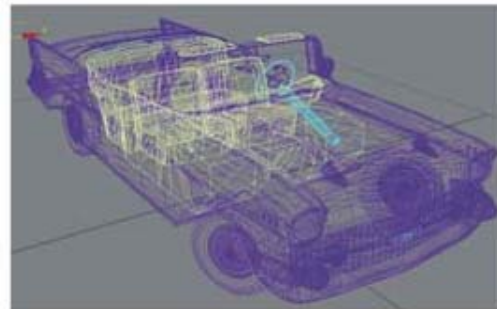


Σχήμα 4.1

Είναι η ρεαλιστική αναπαράσταση του στερεού ηλεκτρονικού μοντέλου του αυτοκινήτου μετά από την διαδικασία απόκρυψης των μη εμφανών επιφανειών. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από 30.000 τρίγωνα. Το αυτοκίνητο ως στερεό αντικείμενο αποτελείται από στερεά τμήματα, π.χ. τιμόνι, καθίσματα, ρόδες, κ.τ.λ. Κάθε στερεό τμήμα μπορεί να αναλυθεί σε ένα σύνολο επιφανειών που το περικλείουν. Κάθε επιφάνεια μπορεί να αναλυθεί σε ένα αριθμό τριγώνων που ανά δύο έχουν κοινές ακμές μεταξύ



Οι επιφάνειες του αυτοκινήτου έχουν χωριστεί σε 30,000 τρίγωνα.

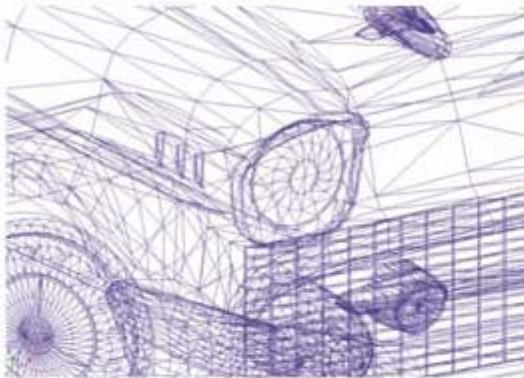


Όλες οι επιφάνειες που ορίζουν τα στερεά μέρη του αυτοκινήτου, εξωτερικά και εσωτερικά, έχουν αναλυθεί σε τρίγωνα.

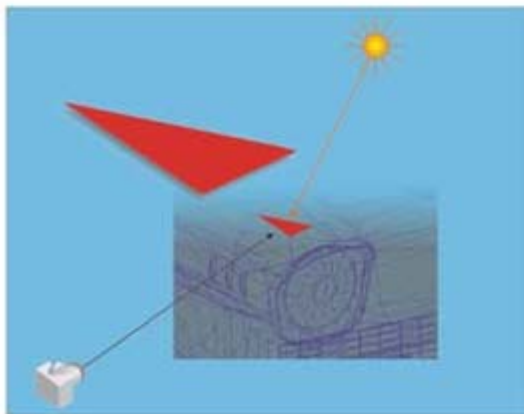


Το μέγεθος των τριγώνων, άρα και ο αριθμός τους, ορίζουν την ακρίβεια αναπαράστασης των επιφανειών άρα και των στερεών τμημάτων του, άρα και του αυτοκινήτου.

τους. Αναπαριστώντας τα τρίγωνα αυτά έχουμε την αναπαράσταση της επιφάνειας και επομένως έχουμε και την αναπαράσταση του αντικειμένου. Σε όσο περισσότερα τρίγωνα αναλυθεί η επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια αναπαράστασης, αλλά ταυτόχρονα τόσο περισσότερη είναι και η υπολογιστική ανάγκη από τον Η/Υ που αναλαμβάνει να φέρει εις πέρας όλες τις αναγκαίες πράξεις για να αποδώσει τελικά φωτορεαλιστικά το αντικείμενο.



Σε κάθε τρίγωνο ορίζεται μαθηματικά το υλικό με τις ιδιότητές του. Ορίζοντας μαθηματικά την θέση, το είδος και την ένταση των φωτεινών πηγών καθώς και την θέση του παρατηρητή, το λογισμικό μπορεί να αναπαραστήσει φωτορεαλιστικά όλα τα τρίγωνα άρα και ολόκληρο το αντικείμενο.



Ορίζοντας τη θέση και τις ιδιότητες της φωτεινής πηγής, την θέση του παρατηρητή (της κάμερας) και το τρίγωνο με την θέση και τις ιδιότητές του, μπορεί να αναπαρασταθεί φωτορεαλιστικά το τρίγωνο.



Η φωτορεαλιστική αναπαράσταση του τριγώνου.

Σχήμα 4.2

Η πιο δύσκολη δουλειά που χρειάζεται να γίνει για την εικονική φωτογράφιση ενός αντικειμένου είναι η δημιουργία του μοντέλου αυτού του

αντικειμένου. Στην μοντελοποίηση του αντικειμένου δαπανάται ο περισσότερος χρόνος από τους χρήστες εικονικών φωτογραφιών και εκεί βρίσκεται όλη η αναμενόμενη εξέλιξη του λογισμικού αλλά και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Είτε με την χρήση ειδικών λογισμικών σχεδιασμού με την χρήση Η/Υ (CAD) είτε με την χρησιμοποίηση ειδικού λογισμικού και την χρήση ειδικών ψηφιακών ανιχνευτών (scanners) είναι δυνατό το «διάβασμα» των μορφών και η δημιουργία ενός τεράστιου αριθμού τριγώνων που περιγράφουν τη μορφή. Το είδος της μοντελοποίησης μέσω αφηρημένων τριγώνων είναι μια γρήγορη λύση που έχει όμως ένα μεγάλο μειονέκτημα – δεν μπορεί να ξεχωρίσει σε λογικές ομάδες (υποαντικείμενα) τα τρίγωνα.



Σχήμα 4.3

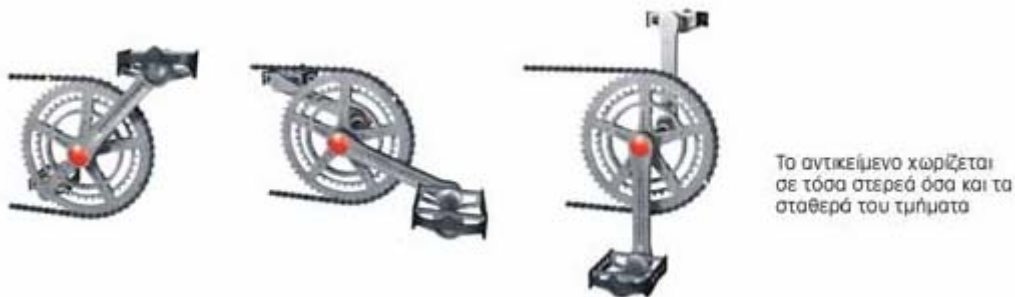
Για να παρατηρήσουμε και να κατανοήσουμε ένα αντικείμενο υπάρχουν τρεις τρόποι:

- α.) να είναι σταθερός ο παρατηρητής και να κινείται το αντικείμενο.
- β.) να κινείται ο παρατηρητής και να είναι σταθερό το αντικείμενο.
- γ.) να κινούνται ταυτόχρονα και ο παρατηρητής και το αντικείμενο.

Η δυσκολία αρχίζει όταν το προς παρατήρηση αντικείμενο έχει κινητά μεταξύ τους μέρη, π.χ. ένα ποδήλατο όπου κάθε χρονική στιγμή το τιμόνι, τα πετάλια και οι ρόδες βρίσκονται σε διαφορετική θέση, οπότε κάθε χρονική στιγμή χρειάζεται και ένα διαφορετικό μοντέλο. Με τους Η/Υ και τα σύγχρονα λογισμικά, το πρόβλημα λύνεται σχετικά απλά όταν οι σχετικές κινήσεις των τμημάτων του αντικειμένου ακολουθούν συγκεκριμένους κανόνες που

μπορούν να εκφραστούν μαθηματικά. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η μέθοδος που ακολουθείται είναι ο χωρισμός του αντικειμένου σε τόσα υποαντικείμενα όσα είναι τα επιμέρους σταθερά τμήματά του, όπου κάθε στερεό τμήμα λειτουργεί σαν ένα αντικείμενο με το αντίστοιχο μοντέλο του που έχει τα δικά του τρίγωνα όπως είδαμε παραπάνω.

Σε κάθε περίπτωση αντικειμένων, με κινητά ή σταθερά μέρη, όταν υπάρχει το μοντέλο που αντιστοιχεί στην κάθε χρονική στιγμή, κατασκευασμένο με οποιαδήποτε τρόπο, ο Η/Υ με την χρήση ειδικού λογισμικού, μπορεί να δημιουργεί εικόνες που το αναπαριστάνει. Οι κατασκευαστές ηλεκτρονικών υπολογιστών έχουν αναπτύξει γραφικές πλατφόρμες συνδυασμένου software και hardware που κάνουν όλες τις πράξεις και την αναπαράσταση σε ελάχιστο χρόνο, π.χ. 1000 φορές πιο γρήγορα απ' ότι το συνηθισμένο λογισμικό, δηλαδή 50 ή 100 καρέ ανά δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα αυτή ξεπερνάει την ταχύτητα που χρειάζεται το μάτι, για να δει την διαδοχή των εικόνων σαν κίνηση, που είναι τουλάχιστον 24 καρέ το δευτερόλεπτο, έτσι ώστε να έχουμε τελικά σε πραγματικό χρόνο την παρατήρηση του αντικειμένου.



Σχήμα 4.4

Το γραφικό σύστημα που έχει περισσότερο επικρατήσει είναι το OpenGL, το οποίο παρουσιάζει συνεχή βελτίωση ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσονται ραγδαία και οι γραφικοί επεξεργαστές, οι οποίοι μετρούν την ισχύ τους σε δυνατότητα ρεαλιστικής αναπαράστασης τριγώνων ανά δευτερόλεπτο, π.χ. 50 εκατομμύρια τρίγωνα το δευτερόλεπτο. Οι ταχύτητες αυτές επιδιώχθηκαν και τελικά επιτεύχθηκαν για ένα κυρίως λόγο, για να είναι εφικτή η αναπαράσταση της κίνησης των αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο με τέτοια ταχύτητα που να μην μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο μάτι την

αλληλουχία των εικόνων. Με αυτόν τον τρόπο, ο άνθρωπος έχει την αίσθηση της ρεαλιστικής αναπαράστασης.

4.5) Τομείς εφαρμογής των συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας

Όπως αναφέρεται και σε άλλο σημείο του κειμένου, η Εικονική Πραγματικότητα σχετίζεται με τη δημιουργία τρισδιάστατων απεικονίσεων, στις οποίες υπάρχει η δυνατότητα αλληλεπίδρασης και χειρισμού των εικονικών αντικειμένων από το χρήστη του συστήματος. Λόγω αυτής της εγγενούς δυνατότητας, η τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας χρησιμοποιείται ως εργαλείο προσομοίωσης της συμπεριφοράς του πραγματικού κόσμου στο εικονικό περιβάλλον.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί σε πάρα πολλούς τομείς της επιστήμης, αφού δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός ως προς το είδος του πραγματικού κόσμου που μπορεί να αναπαρασταθεί σε ένα εικονικό περιβάλλον. Παρόλα αυτά, με τις δυνατότητες των σημερινών υπολογιστικών συστημάτων, δεν είναι εφικτή η προσομοίωση οποιασδήποτε συμπεριφοράς του πραγματικού κόσμου. Συχνά απαιτούνται κάποιες παραδοχές από την πλευρά του χρήστη ή η χρήση τεχνασμάτων, τα οποία δημιουργούν την ψευδαίσθηση ότι παρατηρείται κάποιο φαινόμενο, χωρίς αυτό να πραγματοποιείται μέσα στο εικονικό περιβάλλον. Για παράδειγμα δεν είναι εφικτό ένας χρήστης να αλληλεπιδρά με ένα εικονικό αντικείμενο που να αναπαριστά μια ποσότητα υγρού και το εικονικό αυτό υγρό να μετατοπίζεται ανάλογα με τις κινήσεις του χρήστη, κάτι το οποίο είναι προφανές σε ένα πραγματικό σύστημα. Ένα τέχνασμα σε αυτήν την περίπτωση είναι η παρουσίαση μιας προεπιλεγμένης αλληλουχίας εικόνων, οι οποίες αναπαριστούν μια πιθανή κυματοειδή μορφή που υγρού, λόγω της κίνησης του χεριού του χρήστη μέσα σε αυτό.

Σε γενικές γραμμές πολλά τμήματα του πραγματικού κόσμου είναι εφικτό να προσομοιωθούν σε ένα σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας. Ο στόχος της προσομοίωσης διαφέρει, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Σε κάθε περίπτωση λοιπόν πρέπει να αξιολογείται το κόστος και ο χρόνος, που απαιτούνται για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής Εικονικής Πραγματικότητας σε σχέση με τα οφέλη από τη χρήση του συστήματος.

Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα συστημάτων, τα οποία επέφεραν σημαντικά οφέλη στις εταιρίες που τα χρησιμοποίησαν. Κάποια από αυτά τα συστήματα περιγράφονται παρακάτω. Υπάρχουν όμως και παραδείγματα συστημάτων, τα οποία δεν πέτυχαν το στόχο τους. Στις περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις το σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας αναπτύχθηκε χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση αυτής της τεχνολογίας για την παροχή των συγκεκριμένων πληροφοριών που επιθυμούσαν οι εταιρίες, αφού οι πληροφορίες αυτές μπορούσαν να προσδιοριστούν με πιο απλές τεχνικές. Με το πέρασμα του χρόνου και την εξάπλωση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας γίνονται αντιληπτοί οι τομείς της επιστήμης, στους οποίους ένα σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας είναι οικονομικά αποδεκτό και τεχνολογικά αποτελεσματικό, παρόλο που τεχνικά είναι εφικτή η χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας σε πολύ περισσότερους τομείς.

Η Εικονική Πραγματικότητα χρησιμοποιείται σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές, αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία, όπου αξιοποιείται η δυνατότητα αναπαράστασης αντικειμένων και η δυνατότητα περιήγησης στο εικονικό περιβάλλον, για την αισθητική και λειτουργική του αξιολόγηση. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τόσο οι αρχαιολογικοί χώροι, όσοι και οι αρχιτεκτονικές εφαρμογές αποτελούν μη υπαρκτά περιβάλλοντα. Η παρουσίαση στατικών εικόνων δεν επαρκεί για την κατανόηση από το χρήστη των χώρων αυτών. Η τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να κατανοήσει καλύτερα τους χώρους αυτούς, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό με κάποια άλλη μέθοδο. Οι αρχαιολογικοί χώροι απλά δεν υπάρχουν, ενώ στις αρχιτεκτονικές εφαρμογές μπορούν να εντοπιστούν μη αναστρέψιμα λάθη στο σχεδιασμό.

Η δυνατότητα αναπαράστασης και περιήγησης σε τρισδιάστατους χώρους ή αντικείμενα χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για αισθητική αξιολόγηση νέων προϊόντων. Η αξιολόγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στον χώρο χρήσης του προϊόντος, ο οποίος μπορεί να αναπαρασταθεί στο εικονικό περιβάλλον. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να συνδυαστεί με την προσομοίωση της λειτουργίας των μηχανισμών του προϊόντος στο εικονικό περιβάλλον, για τον προσδιορισμό των λειτουργικών του χαρακτηριστικών στη φάση του σχεδιασμού.

Ένας άλλος τομέας εφαρμογής της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας αφορά το σχεδιασμό γραμμών παραγωγής, μέσω της δημιουργίας εικονικών εργοστασίων. Στα εικονικά αυτά εργοστάσια είναι εφικτός ο εργονομικός σχεδιασμός των χώρων του εργοστασίου, ο σχεδιασμός της ροής των υλικών, του εξοπλισμού ασφαλείας, των θέσεων εργασίας, του φωτισμού και γενικά όλων των λειτουργικών χαρακτηριστικών του εργοστασίου.

Ο πιο κρίσιμος τομέας εφαρμογής της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας είναι στην προσομοίωση χειρωνακτικών διαδικασιών κυρίως στη βιομηχανία. Αρκετές διαδικασίες στη βιομηχανία πραγματοποιούνται χειρωνακτικά, κάτι το οποίο αυξάνει το κόστος του προϊόντος και εκθέτει τους εργαζόμενους σε συνθήκες πολλές φορές επιβλαβείς για την υγεία τους. Η εφαρμογή της Εικονικής Πραγματικότητας χρησιμοποιείται στη φάση του σχεδιασμού του προϊόντος όχι μόνο για την αισθητική και λειτουργική του αξιολόγηση, αλλά και για το σχεδιασμό του τρόπου παραγωγής του. Η εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση εργονομικών μελετών ή μελετών για τον προσδιορισμό της δυνατότητας πραγματοποίησης εργασιών, αποτρέποντας το σχεδιασμό εργασιών που δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν. Ταυτόχρονα οδηγεί τις εταιρίες στο σχεδιασμό εργασιών που είναι ευκολότερες, ασφαλέστερες και γρηγορότερες να πραγματοποιηθούν, μειώνοντας το κόστος του προϊόντος. Σε αυτήν την περίπτωση η εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευση εργαζομένων στις νέες διαδικασίες, παρέχοντας ένα ασφαλές και με χαμηλό κόστος (δε σταματάει η γραμμή παραγωγής, δε χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες κλπ.) περιβάλλον εκπαίδευσης.

4.6) Επιπτώσεις από τη χρήση συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία

Η χρήση συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία έχει επιπτώσεις σε αρκετές λειτουργίες, που σχετίζονται με τις διαδικασίες σχεδιασμού προϊόντων, με τις διαδικασίες σχεδιασμού μεθόδων για την παραγωγή τους και με τον τρόπο επικοινωνίας κάθε επιχείρησης με

εξωτερικούς παράγοντες, όπως οι προμηθευτές και οι πελάτες της. Αυτό σημαίνει ότι οι λειτουργίες αυτές διαφοροποιούνται σε κάποιο βαθμό μέσα στην επιχείρηση.

Η αξιοποίηση των επιπλέον δυνατοτήτων που παρέχονται από ένα σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας εξαρτάται από την οργάνωση και την αποτελεσματικότητα κάθε εταιρίας. Αυτοί είναι σημαντικοί παράγοντες για την ανεπιτυχή εφαρμογή κάποιων συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας σε εταιρίες, οι οποίες δεν μπόρεσαν να ενσωματώσουν εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας στις λειτουργίες τους, λόγω του ότι δεν κατάφεραν να αξιοποιήσουν τις πληροφορίες που παρέχονται από το σύστημα για τον κύκλο ζωής των προϊόντων τους. Στη συνέχεια περιγράφονται οι επιπτώσεις από τη χρήση ενός συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας στις λειτουργίες μιας εταιρίας.

- **Επιχειρηματική γνώση.**
- **Επενδύσεις σε εξοπλισμό.**
- **Διαχείριση προμηθευτών.**
- **Σχεδιομελέτη προϊόντος.**
- **Προσδιορισμός κόστους.**
- **Διαχείριση επιχειρηματικού κίνδυνου.**
- **Επικοινωνία με τον πελάτη.**
- **Επικοινωνία επιχειρήσεων.**
- **Παραγωγή στο εργοστάσιο.**

Με βάση τις επιπτώσεις στις λειτουργίες μιας εταιρίας, οι οποίες περιγράφονται παραπάνω, τα **πλεονεκτήματα**, που προκύπτουν, από τη χρήση εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας είναι:

- Προσδιορισμός της δυνατότητας υλοποίησης εργασιών συναρμολόγησης χωρίς αυτές να έχουν πραγματοποιηθεί. Εναλλακτικά σενάρια αλληλουχιών συναρμολόγησης μπορούν να δοκιμασθούν και να αξιολογηθούν χωρίς να έχει γίνει η κατασκευή κάποιου πρωτότυπου.
- Αξιοπιστία στον προσδιορισμό του κόστους και του χρονοδιαγράμματος παραγωγής, λόγω των χαρακτηριστικών των μοντέλων, τα οποία βασίζονται σε πραγματικές παραγωγικές διαδικασίες και όχι σε παραμέτρους μόνο.

- Χρήση μεθόδων μοντελοποίησης και προσομοίωσης, οι οποίες συμβάλλουν στην επίτευξη ευελιξίας στην παραγωγή και συνεπώς στη μείωση του κόστους του προϊόντος.
- Βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων από τα στελέχη της επιχείρησης.
- Βελτίωση της παραγωγής, καθώς παρέχεται η δυνατότητα σχεδιασμού παράλληλα με τη σχεδίαση του προϊόντος.
- Βελτίωση της μορφής των εξαρτημάτων, μέσω της αξιοποίησης των παρεχόμενων από το σύστημα πληροφοριών, ώστε να είναι πιο εύκολη η διαδικασία συναρμολόγησης τους (design for assembly).

Τα **αποτελέσματα** της χρήσης ενός συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία είναι:

- Υψηλή ποιότητα των προϊόντων.
- Χαμηλότερα κόστη παραγωγής.
- Λιγότερα πρωτότυπα.
- Βελτίωση της ακρίβειας του σχεδιασμού και των κατεργασιών.
- Ελαχιστοποίηση των κινδύνων.
- Μειωμένος χρόνος για την εισαγωγή του προϊόντος στην αγορά.
- Λιγότερα προβλήματα κατά την έναρξη αλλά και την εξέλιξη της παραγωγής.

4.7) Χαρακτηριστικά συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας

Λειτουργικά χαρακτηριστικά συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας

4.7.1) Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση Δεδομένων.



Σχήμα 4.5: Οπτικοποίηση εικονικού αυτοκινήτου σε σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας (εικόνα Parametric Technology Inc.).



Σχήμα 4.6: Εικονικό περιβάλλον εργοστασίου (εικόνα PERA).

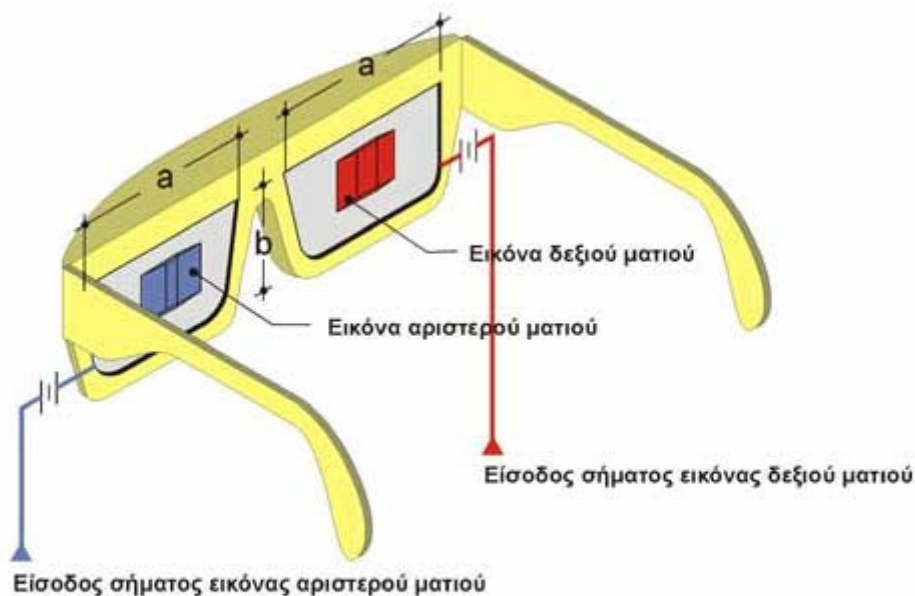
4.7.2) Περιήγηση στο εικονικό περιβάλλον – Οι νέες δυνατότητες της τεχνολογίας

α.) Η τρισδιάστατη στερεοσκοπική εικόνα

Κάθε χρονική στιγμή το κάθε μάτι αποτυπώνει από μια διαφορετική εικόνα και έτσι ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει δύο εικόνες του ίδιου θέματος

(του ίδιου συνόλου αντικειμένων) «τραβηγμένες» από δύο διαφορετικές «κάμερες». Ακαριαία ο εγκέφαλος συγκρίνει αυτές τις δύο εικόνες και βγάζει συμπέρασμα για την σχετική θέση των αντικειμένων μεταξύ τους, δίνοντας αντικειμενικότητα στην Τρίτη Διάσταση. Αν ο άνθρωπος είχε ένα μάτι δεν θα είχε τρισδιάστατη αντίληψη ενώ εάν είχε τρία θα μπερδευόταν μια και θα περίσσευαν πληροφορίες. Στους σημερινούς Η/Υ έχουμε μια οθόνη όπου προβάλλεται το δισδιάστατο αποτύπωμα των τρισδιάστατων αντικειμένων, το οποίο μας δίνει έμμεσα την αίσθηση των τριών διαστάσεων. Για να έχει ο άνθρωπος πραγματική τρισδιάστατη αντίληψη πρέπει το κάθε μάτι του να βλέπει την αντίστοιχη άποψη του συγκεκριμένου θέματος.

Οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών του μέλλοντος προβλέπεται να είναι δίδυμες, τύπου γυαλιών οράσεως, ώστε ο χρήστης να έχει πλήρη επίγνωση των τριών διαστάσεων.

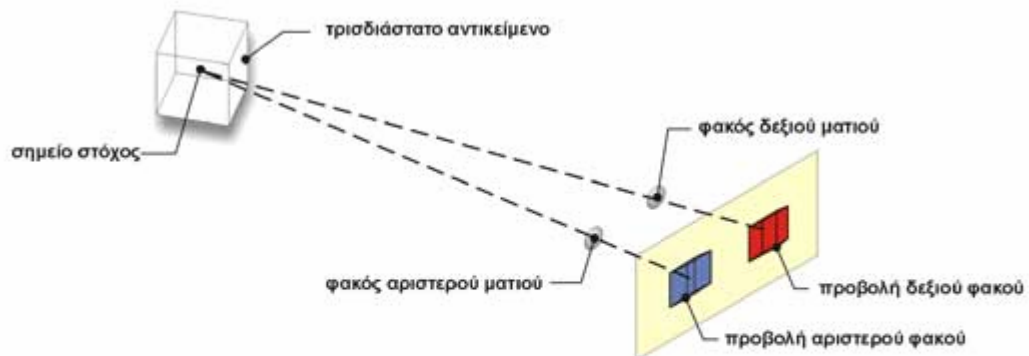


Οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών του μέλλοντος θα είναι διπλές, μία για το κάθε μάτι, στη λογική και το μέγεθος των γυαλιών. Τα σήματα για την προβολή των εικόνων θα προβάλλονται στις μικρές οθόνες των γυαλιών μέσω συρμάτων ή ασύρματα. Τα 'γυαλιά' αυτά μπορεί να είναι διαφανή ή αδιαφανή.

Σχήμα 4.7

Παραλλαγή των δύο ξεχωριστών κανονικών οθονών τύπου γυαλιών αποτελεί η διπλή πολωμένη προβολή σε ειδική μεγάλη οθόνη και η παρακολούθηση από ένα ή περισσότερους ανθρώπους με γυαλιά που φέρουν ανάλογα πολωτικά τζάμια που επιτρέπουν στο κάθε μάτι να βλέπει

την προβολή που αντιστοιχεί σ' αυτό, την μια προβολή για το αριστερό μάτι και την άλλη προβολή για το δεξιό μάτι.

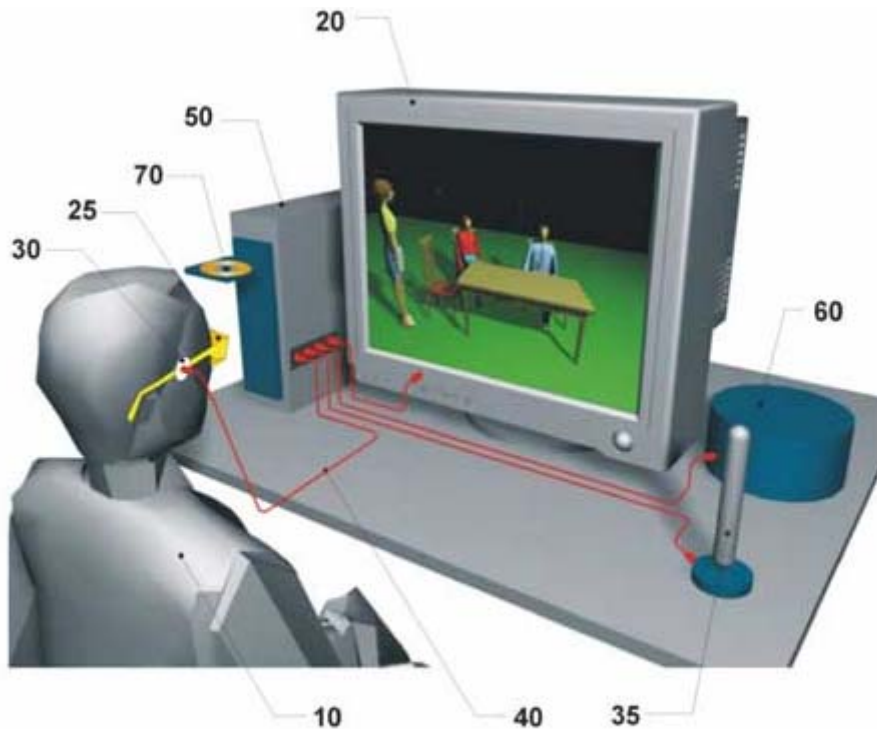


Ο άνθρωπος χρειάζεται δύο εικόνες του ίδιου αντικείμενου, μία από τη θέση του αριστερού ματιού και μία από τη θέση του δεξιού ματιού, για να έχει πραγματική αίσθηση και των τριών διαστάσεων του χώρου (την τέταρτη διάσταση, την διάσταση του χρόνου, την αντιλαμβάνεται με την διαδοχή των εικόνων, με την κίνηση).

Σχήμα 4.8

β.) Η ομιλία

Η ομιλία είναι μια από τις βασικές ικανότητες που έχει ο άνθρωπος. Είναι μια ικανότητα αμφίπλευρης επικοινωνίας. Ο άνθρωπος ομιλεί ο ίδιος εκφράζοντας τις θελήσεις του προς το περιβάλλον του και ακούει τους άλλους ανθρώπους αντιλαμβανόμενος τις απόψεις τους. Η ομιλία, σαν τρόπος επικοινωνίας, είναι επόμενο να αποτελεί και εργαλείο επικοινωνίας της Εικονικής Πραγματικότητας, για δύο λόγους, ο ένας είναι για να δίνει εντολές (π.χ. κινήσου αριστερά) και ο δεύτερος είναι για να ακούει αναφορές (π.χ. επαρκής αντοχή) από την εκάστοτε εφαρμογή που χρησιμοποιεί κάθε φορά ο άνθρωπος.



Η ομιλία, προφορά και άκουσμα, είναι βασική λειτουργία της Εικονικής Πραγματικότητας τόσο για την έκφραση των εντολών όσο και για το άκουσμα των συμπερασμάτων και των υποδείξεων της εκάστοτε εφαρμογής που εκτελείται.

Σχήμα 4.9

Η ομιλία, εκτός από οικείος τρόπος επικοινωνίας, πολύ ανώτερος του πληκτρολογίου ή του mouse των Η/Υ, είναι πολύ ξεκούραστος τρόπος και για το δόσιμο των εντολών και για την συμπυκνωμένη ακουστική αναφορά πάνω στο εκάστοτε θέμα με το οποίο ασχολείται η εφαρμογή της Εικονικής Πραγματικότητας.

γ.) Η επικέντρωση (η επιλογή)

Στον πραγματικό κόσμο, όταν ο άνθρωπος παρατηρεί ένα θέμα, π.χ. ένα δρόμο με αυτοκίνητα, πεζοδρόμια και κτίρια, και από το συνολικό αυτό θέμα θελήσει να εξετάσει ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, π.χ. ένα σταθμευμένο αυτοκίνητο, επικεντρώνει το βλέμμα του σ' αυτό το αντικείμενο και το μελετάει με προσοχή. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στον ιδεατό χώρο. Ο άνθρωπος, σκεπτόμενος, φέρνει το θέμα που τον απασχολεί στη φαντασία του και επιλέγει το αντικείμενο στο οποίο θέλει να επικεντρωθεί. Στη συνέχεια το εξετάζει κάνοντας ένα είδος zoom, και όχι μόνο βλέπει το αντικείμενο αλλά «κατεβάζει» στο επίκεντρο της σκέψης του όλες τις πληροφορίες που διαθέτει στη μνήμη του γι' αυτό το αντικείμενο.

Στην Εικονική Πραγματικότητα πρέπει να γίνεται το ανάλογο, πρέπει δηλαδή το λογισμικό να καταλαβαίνει πότε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα αντικείμενο. Η επιλογή μπορεί να είναι οπτική ή νευρική. Η οπτική επιλογή μπορεί να προσδιοριστεί πάντοτε με το κατάλληλο λογισμικό, με στερεοσκοπική προβολή και ταυτόχρονη χρήση συσκευής που παρακολουθεί την κίνηση της κόρης του ματιού. Η νευρική επιλογή γίνεται με συσκευή που παρακολουθεί τα ηλεκτρικά σήματα του νευρικού συστήματος. Τέλος υπάρχει και μια ακόμη επιλογή, αυτόματη από το ίδιο το λογισμικό που μπορεί να προβλέπει την άμεση ανάγκη του χρήστη και να φέρνει στο επίκεντρο το συγκεκριμένο αντικείμενο. Βέβαια, ένας συνδυασμός των τριών δυνατοτήτων επιλογής είναι ο καλύτερος τρόπος επιλογής αντικειμένου από τον χρήστη. Με όποιο τρόπο πάντως και αν γίνεται η επιλογή του αντικειμένου που θα αποτελεί το επίκεντρο του ενδιαφέροντος εκείνης της στιγμής, πρέπει αυτό να επισημαίνεται ώστε ο χρήστης να επιβεβαιώνει την επιλογή του οπτικά ή / και ηχητικά.



Σχήμα 4.10: Περιφερειακά χειρισμού αντικειμένων: Spaceball της Spacetec, Spacestick της Virtual Presence, Trackman της Logitech.

δ.) Η ερώτηση (εντολή)

Στη καθημερινή του ζωή ο άνθρωπος διαρκώς εξετάζει διάφορα θέματα και σε κάθε θέμα που εξετάζει, πραγματικά ή νοητικά διαρκώς επιλέγει ένα

αντικείμενο στο οποίο επικεντρώνει το ενδιαφέρον του. Στο κάθε αντικείμενο που επικεντρώνεται θέτει διάφορες ερωτήσεις και σε κάθε ερώτηση που θέτει περιμένει μια απάντηση. Το λογισμικό της εκάστοτε εφαρμογής Εικονικής Πραγματικότητας μπορεί να απαριθμεί όλες τις πιθανές ερωτήσεις και να περιμένει από τον χρήστη να επιλέξει σε ποιες από αυτές τις ερωτήσεις χρειάζεται απάντηση, π.χ. ποιο είναι το κόστος του συγκεκριμένου επίπλου; Επίσης μπορεί να προβλέπει ποιες είναι οι απαραίτητες ερωτήσεις και να τις θέτει αυτόματα, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα και όλες τις αντίστοιχες απαντήσεις.

ε.) Η επεξεργασία

Ο πυρήνας του ανθρώπου θέλει ο εγκέφαλός του να κάνει όλες τις εργασίες που απαιτούνται για να πάρει μια απάντηση στην ερώτηση επιλογή που του θέτει. Για να απαντήσει σε μια ερώτηση, ανακαλεί στην μνήμη του όλες τις πληροφορίες που έχει κατά καιρούς συλλέξει για το συγκεκριμένο αντικείμενο και αρχίζει να τις συνδυάζει και να τις επεξεργάζεται σύμφωνα πάντα με την συλλογιστική ικανότητα που διαθέτει και βέβαια σύμφωνα με την πείρα που έχει έως εκείνη την στιγμή. Ανάλογη είναι και η λειτουργία της εντολής σε κάθε εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας και από εδώ αρχίζει η πραγματική βοήθεια που το λογισμικό της συγκεκριμένης εφαρμογής μπορεί να δώσει στον άνθρωπο. Δηλαδή, η εκάστοτε εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας μπορεί να δώσει στον άνθρωπο αυτό που του λείπει και αυτό είναι η δυνατότητα αφ' ενός μεν της πρόσβασης σε τεράστιο αριθμό πληροφοριών και αφ' ετέρου η δυνατότητα πρακτικά απεριορίστου αριθμού πράξεων και συγκρίσεων.

Ο Η/Υ έχει την ικανότητα σε σχέση με τον άνθρωπο να κάνει υπολογισμούς, να ανακαλεί γιγάντιο όγκο πληροφοριών και να κάνει συνδυασμούς χωρίς να βλέπει και χωρίς να δείχνει αυτό που κάνει. Αυτή η ικανότητα έχει πολύ μεγάλη σημασία γιατί μπορεί να καταλήγει σε συμπεράσματα περνώντας από αλληπάλληλες απίστευτες υπολογιστικά λειτουργίες ώστε να προετοιμάζει όλες τις αναγκαίες πληροφορίες – απαντήσεις που θα βοηθήσουν τον χρήστη να κάνει την δουλειά του.



Σχήμα 4.11: Εικονικό χειριστήριο κίνησης, όπως εμφανίζεται στην οθόνη του συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας (εικόνα από το Cosmo plugin).

στ.) Η απάντηση (η αναφορά)

Ο σκοπός του ανθρώπου είναι να παίρνει αποφάσεις στα διάφορα θέματα της ζωής του. Ανάλογα με τον βαθμό εκπαίδευσής του, ο άνθρωπος μπορεί να θέτει στον εγκέφαλό του συγκεκριμένες ερωτήσεις και να παίρνει μια ή περισσότερες απαντήσεις σε κάθε ερώτηση. Ανάλογα με την ανθρώπινη λειτουργία, η εκάστοτε εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας οφείλει να είναι σε θέση να υπολογίσει και να συνδυάσει όλα τα στοιχεία και να δώσει στο χρήστη μια απάντηση ή ένα συμπέρασμα στη συγκεκριμένη ερώτηση. Η κάθε εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος γνωρίζει την ανάγκη και το είδος των πληροφοριών που έχει ανάγκη ο χρήστης και μπορεί ή να του τις δίνει κατευθείαν, ή αλλιώς με το κατάλληλο interface (φωνητικό ή άλλο) να δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέγει την ερώτηση και να παίρνει την ανάλογη απάντηση. Ο τρόπος με τον οποίο θέλει την απάντηση ο άνθρωπος είναι με μια εικόνα, κατά προτίμηση στεροσκοπική και με ομιλία «χρωματισμένη» κατάλληλα.

ζ.) Η συμβουλή (η βελτιστοποίηση)

Σκοπός του ανθρώπου είναι να δώσει ο ίδιος απάντηση στο συνολικό πρόβλημα και όχι απλώς να παίρνει απαντήσεις στα επιμέρους ερωτήματα. Η ορθότητα της τελικής απόφασης του ανθρώπου δοκιμάζεται στο τέλος, αποτιμώντας το συνολικό όφελος. Συνήθως στον πραγματικό κόσμο, ο άνθρωπος αξιολογεί την ορθότητα της απόφασης μετρώντας τα αποτελέσματα. Αν, μετά την αποτίμηση των αποτελεσμάτων της απόφασης καταλήξει σε αρνητικό ισοζύγιο, αλλάζει την απόφασή του, αν βέβαια υπάρχει χρόνος και αν το επιτρέπουν οι συνθήκες. Μια εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας έχει την δυνατότητα να δώσει την τελική απάντηση – συμβουλή, να εξετάσει χιλιάδες πιθανές λύσεις και να απαντήσει με την βέλτιστη. Σε πρακτικά οικονομοτεχνικά προβλήματα η αξιοπιστία προσδιορισμού της βέλτιστης λύσης μπορεί να είναι πολύ υψηλή αλλά σε

άλλα προσωπικά και κοινωνικά θέματα μπορεί να είναι πολύ αμφισβητήσιμη. Όταν ένα πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί μαθηματικά υπάρχει η δυνατότητα να επιλυθεί άμεσα, κατά κανόνα όμως ακόμα και στα μαθηματικά προβλήματα η τόσο πεπλεγμένη μορφή τους επιτρέπει μόνο τον «δοκιμαστικό» τρόπο εύρεσης της βέλτιστης λύσης, δηλαδή η εξέταση όλων των πιθανών συνδυασμών, η μέτρηση της απόδοσης κάθε μιας χωριστά και τελικά η επιλογή της βέλτιστης.

η.) Η απόφαση

Σ' όλη του την ζωή ο άνθρωπος καλείται να λαμβάνει αποφάσεις, από τα απλούστερα έως τα πιο σύνθετα θέματα της ζωής του. Από τις αποφάσεις αυτές εξαρτάται η επιτυχία του και η ισορροπία του. Πολλές φορές ο άνθρωπος δεν γνωρίζει καλά όλο το περιβάλλον μέσα στο οποίο κινείται και το οποίο κατά κανόνα είναι εξαιρετικά σύνθετο. Τα περισσότερα πρακτικά προβλήματα του ανθρώπου θα μπορούν να εξετασθούν από μια κατάλληλη εφαρμογή για την περίπτωση. Για πολλά χρόνια ακόμα, προβλέπεται την λύση των πρακτικών προβλημάτων να εξακολουθούν να την χειρίζονται οι επαγγελματίες, π.χ. την μελέτη ενός σπιτιού ο Αρχιτέκτονας. Οι επαγγελματίες αυτοί θα μπορούν να λύνουν τα προβλήματα των πελατών τους με εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας. Το αποτέλεσμα του τελικού σχεδιασμού θα είναι *real time* εικόνες που θα επιδεικνύονται στον ιδιοκτήτη του σπιτιού που θα μπορεί έτσι να έχει μια αληθοφανή εικόνα του σπιτιού του. Το όφελος έτσι θα το επωμιστούν και ο επαγγελματίας αλλά και ο δυνητικός πελάτης αφού θα έχουν στα χέρια τους ένα σημαντικό βοήθημα για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης.

4.7.3) Αλληλεπίδραση με αντικείμενα στο εικονικό περιβάλλον.

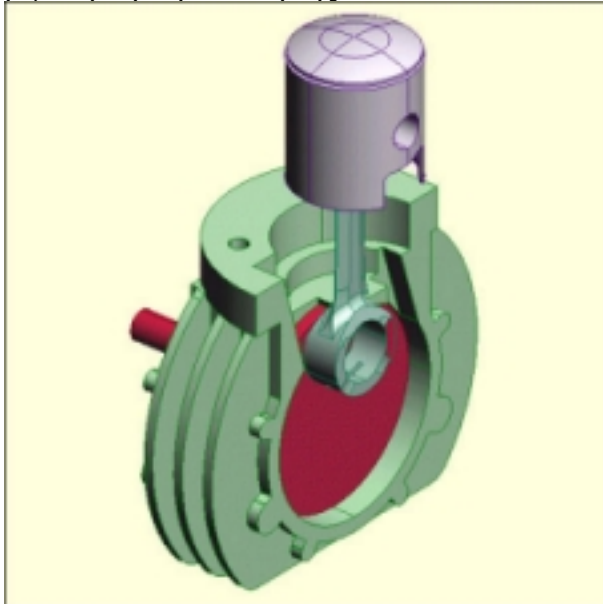


Σχήμα 4.12: Γάντι δεδομένων Cyberglove της Virtual Technologies (εικόνα VTI).

4.8) Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας.

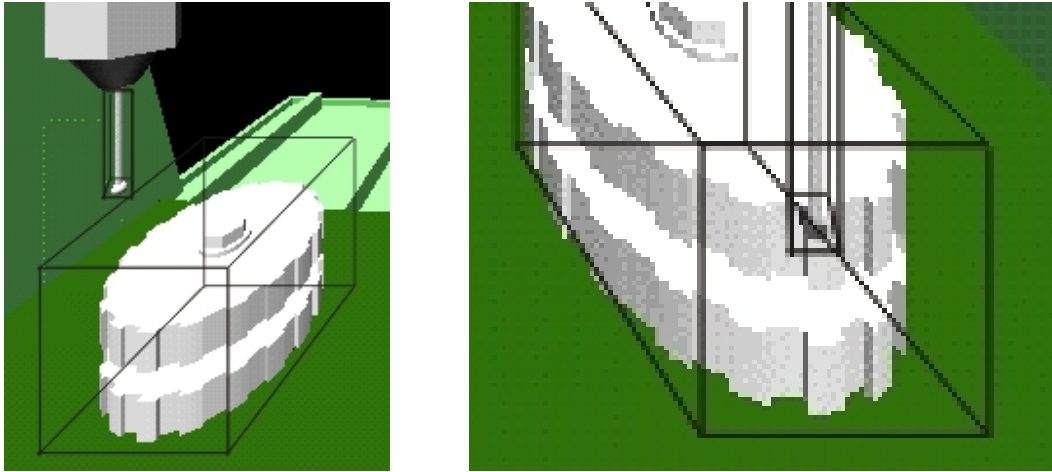
α.) Μοντελοποίηση αντικειμένων.

β.) Περιορισμοί κίνησης στα εικονικά αντικείμενα.



Σχήμα 4.13: Εικονικό μοντέλο δίχρονου κινητήρα με περιορισμούς στην κίνηση των επιμέρους τμημάτων (εικόνα Parametric Technology Inc.).

γ.) Έλεγχος συγκρούσεων.



Σχήμα 4.14: Μη τεμνόμενα και τεμνόμενα αντικείμενα, με βάση του όγκους που τα οριοθετούν για ανίχνευση συγκρούσεων (εικόνα του Industrial Virtual Reality Institute).

δ.) Οπτικοποίηση τρισδιάστατων χώρων.

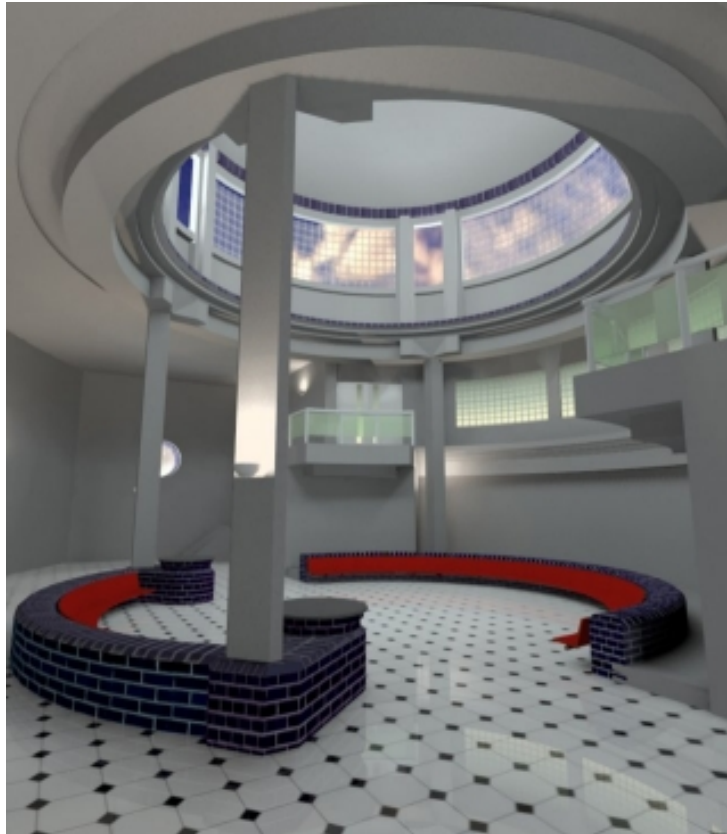
ε.) Φωτορεαλιστική απεικόνιση γεωμετρικών μοντέλων.

στ.) Τεχνικές αύξησης του ρεαλισμού σε μια φωτορεαλιστική απεικόνιση.

ζ.) Απόδοση υφής στις επιφάνειες.



Σχήμα 4.15: Bump mapping. (εικόνα Evans & Sutherland Computer Corporation, Salt Lake City, Utah, USA).



Σχήμα 4.16: Γεωμετρικό μοντέλο εσωτερικού κτιρίου με απόδοση υφής για τούβλο και πλακάκι στις αντίστοιχες επιφάνειες (εικόνα Light Work Design).

η.) Σκίαση.



Σχήμα 4.17: Απεικόνιση εσωτερικού αυτοκινήτου με τη χρήση της τεχνικής φωτισμού radiosity (εικόνα της LightWork design).

θ.) Απεικόνιση ομίχλης - Απεικόνιση διαφανών αντικειμένων.



Σχήμα 4.18: Απεικόνιση ομίχλης. (εικόνα Evans & Sutherland Computer Corporation, Salt Lake City, Utah, USA).

4.9) Εξοπλισμός σε συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας.

Ο εξοπλισμός των συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

- Στον υπολογιστικό εξοπλισμό και
- Στα περιφερειακά Εικονικής Πραγματικότητας.

Ο υπολογιστικός εξοπλισμός αφορά κυρίως τα συστήματα υπολογιστή που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του λογισμικού (για το λογισμικό θα γίνει αναφορά παρακάτω). Τα περιφερειακά Εικονικής Πραγματικότητας είναι συσκευές εισόδου και εξόδου, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον. Με τη χρήση των περιφερειακών αυτών είναι εφικτή η προσομοίωση λειτουργιών του πραγματικού κόσμου στο εικονικό περιβάλλον.

Στην παρούσα ενότητα θα γίνει αναφορά στην αρχή και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των περιφερειακών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας και θα αναφερθούν τα πιο διαδεδομένα εμπορικά περιφερειακά Εικονικής Πραγματικότητας. Σε επόμενη ενότητα θα αναφερθούμε στους διάφορους τρόπους και στην διαδικασία εισόδου των γεωμετρικών μοντέλων στο περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας

4.9.1) Περιφερειακά προσδιορισμού θέσης και προσανατολισμού του χρήστη σε συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας.

α.) Μηχανικά συστήματα προσδιορισμού θέσης και προσανατολισμού.



Σχήμα 4.19: Το μηχανικό σύστημα προσδιορισμού θέσης και προσανατολισμού του κεφαλιού του χρήστη (εικόνα Fakespace).

β.) Οπτικά συστήματα προσδιορισμού θέσης και προσανατολισμού.

γ.) Συστήματα προσδιορισμού θέσης και προσανατολισμού με υπέρηχους.

δ.) Ηλεκτρομαγνητικά συστήματα προσδιορισμού θέσης και προσανατολισμού.



Σχήμα 4.20: Σύστημα προσδιορισμού θέσης της Polhemus.

Συσκευές εισόδου δεδομένων σε συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας.

α.) Τρισδιάστατα ποντίκια (3D Mouse).

β.) Γάντια δεδομένων (Data Glove).



Σχήμα 4.21: Γάντι Δεδομένων 5DT

4.9.2) Συσκευές εξόδου σε συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας.

α.) Συσκευές ανάδρασης δύναμης.



Σχήμα 4.22: Σύστημα ανάδρασης δύναμης Phantom Premium (εικόνα SensAble).

β.) Γυαλιά τρισδιάστατης απεικόνισης.



Σχήμα 4.23: Crystal Eyes. (εικόνα Stereographics)

γ.) Κράνος Εικονικής Πραγματικότητας.



Σχήμα 4.24:Κράνος Εικονικής Πραγματικότητας V6 της Virtual Research.

δ.) CAVE.

4.10) Λογισμικό συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας.

Το λογισμικό αποτελεί το βασικότερο τμήμα ενός συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας. Το λογισμικό ελέγχει τα περιφερειακά Εικονικής Πραγματικότητας, παρέχει τα εργαλεία για την υλοποίηση του εικονικού περιβάλλοντος και μέσω αυτού εκτελούνται οι λειτουργίες της εφαρμογής που έχει αναπτυχθεί. Γενικά οι λειτουργίες ενός λογισμικού Εικονικής Πραγματικότητας αφορούν τη διαχείριση δεδομένων για τρισδιάστατα αντικείμενα. Η βασική διαφορά από ένα σύστημα CAD είναι ότι παρέχονται δυνατότητες περιήγησης και αλληλεπίδρασης στο εικονικό περιβάλλον που δημιουργείται από τα τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα.

Χαρακτηριστικά λογισμικού Εικονικής Πραγματικότητας.

- Εισαγωγή γεωμετρικών μοντέλων.
- Χρήση βιβλιοθηκών (Libraries).
- Επίπεδο απεικόνισης λεπτομερειών (Level of Detail).
- Κλιμάκωση, περιστροφή και μεταφορά αντικειμένων (Object scaling, rotating, translating).
- Καθορισμός της συμπεριφοράς των αντικειμένων (Constraints).

- Χαρακτηριστικά προσομοίωσης μηχανισμών (Articulated features).
- Απεικόνιση κινούμενων γραφικών (Animation).
- Ανίχνευση συγκρούσεων (Collision detection).
- Παράλληλοι κόσμοι (Parallel worlds).
- Χρήση φωτισμού.
- Ήχος.
- Προσομοίωση.
- Υποστήριξη περιφερειακών.
- Στερεοσκοπική απεικόνιση.
- Δικτυακές λειτουργίες.

5.1) Το σύστημα εικονικής πραγματικότητας του εργαστηρίου CAD

Το εργαστήριο CAD του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης έχει μια ουσιαστική συμμετοχή στην τεχνολογία και τις εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας. Η τεχνογνωσία του εργαστηρίου επικεντρώνεται στη χρήση της τεχνολογίας εικονικής πραγματικότητας για την ανάπτυξη των βιομηχανικών εφαρμογών. Οι ερευνητικές και οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες του Cadlab εφαρμόζονται σε ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας, εγκατεστημένο και ενσωματωμένο στο εργαστήριο. Όλες οι εφαρμογές βασίζονται σε υπολογιστές που λειτουργούν με λειτουργικά συστήματα Windows με τη σύμπραξη κάρτας γραφικών Elsa III.



Σχήμα 5.1: Κάρτα γραφικών

5.1.1) Λογισμικό εικονικής πραγματικότητας

Το λογισμικό είναι ο πυρήνας κάθε συστήματος εικονικής πραγματικότητας:

- οι ικανότητές του λογισμικού ασκούν άμεση επίδραση στις ικανότητες του εικονικού περιβάλλοντος σε κάθε εφαρμογή, από την άποψη των τεχνικών και λειτουργικών προδιαγραφών της.
- το λογισμικό είναι το κλειδί για την ολοκλήρωση των τμημάτων ενός συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας.

Στο εργαστήριο CAD οι περισσότερες εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας αναπτύσσονται με την χρήση του λογισμικού Division Mockup από την Parametric Technology Inc., το οποίο είναι εργαλείο λογισμικού για την ανάπτυξη εικονικών περιβαλλόντων και εφαρμογών. Στην περίπτωση της παρούσας

εφαρμογής όμως δεν γίνεται χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού αλλά της εφαρμογής World Up της εταιρείας Sense8. Για τους λόγους που μας οδήγησαν σε αυτήν την επιλογή θα αναφερθούμε σε επόμενη ενότητα.

5.1.2) Head Mounted Display (κράνος εικονικής πραγματικότητας)

Το κράνος εικονικής πραγματικότητας είναι μια συσκευή εξόδου. Χρησιμοποιείται για την απεικόνιση του εικονικού περιβάλλοντος και τη εντύπωση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον. Στο δικό μας σύστημα εικονικής πραγματικότητας χρησιμοποιούμε το κράνος V6 HMD από την εταιρεία Virtual Research. Το V6 είναι ένα μέσου κόστους HMD με ανάλυση επιπέδου VGA. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κανένας οδηγός διαθέσιμος για αυτήν την συσκευή, η χρήση αυτής της συσκευής θα πρέπει να υποστηριχθεί από το λογισμικό εικονικής πραγματικότητας. Το σύστημα απεικόνισης του V6 περιέχει δύο οθόνες LCD. Κάθε οθόνη παρέχει το οπτικό πεδίο για το κάθε μάτι του χρήστη, προκειμένου να μπορέσει ο χρήστης να βυθιστεί στο εικονικό περιβάλλον. Το V6 υποστηρίζει επίσης τη στερεοσκοπική εικόνα, το οποίο σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να διαφοροποιήσει το βάθος της άποψης και τις πραγματικές διαστάσεις των εικονικών προτύπων. Αυτό επιτυγχάνεται με την προβολή των εικόνων στα όργανα ελέγχου HMD με μια επικάλυψη, όπως στον πραγματικό κόσμο. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα πρέπει να υποστηρίζεται και από το λογισμικό εικονικής πραγματικότητας.



Σχήμα 5.2: HMD V6

Για την σύνδεση του HMD με το υπόλοιπο του συστήματος εικονικής πραγματικότητας υπάρχει ένα κιβώτιο ελέγχου. Το κιβώτιο ελέγχου συνδέεται με την κάρτα γραφικών και παρέχει επίσης εξόδους για την σύνδεση άλλων

συσκευών επίδειξης (εξωτερικό όργανο ελέγχου, κτλ). Πρέπει να σημειωθεί ότι προσαρτείται πάνω στο HMD ένας δέκτης σημάτων, προκειμένου να είναι εφικτή η αλλαγή του οπτικού πεδίου του χρήστη, σύμφωνα με τις μετακινήσεις του στο χώρο εργασίας.

5.1.3) Tracking System (σύστημα παρακολούθησης των κινήσεων)

Το σύστημα παρακολούθησης των κινήσεων είναι το κρισιμότερο περιφερειακό για ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας:

- η απόκριση του επηρεάζει την απόκριση του συστήματος στις ενέργειες του χρήστη.
- η ακρίβεια του είναι σχετική με το soberness της εφαρμογής.
- είναι το πιο ευαίσθητο περιφερειακό στις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Το εύρος του έχει επιπτώσεις στις λειτουργικές πτυχές, όπως στον φάκελο λειτουργίας της εφαρμογής.

Υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες τεχνολογίες για την κατάδειξη των κινήσεων του χρήστη. Στο εργαστήριο CAD χρησιμοποιούμε το ηλεκτρομαγνητικό σύστημα ακολουθίας κινήσεων επειδή:

- τα μηχανικά συστήματα έχουν καλύτερη απόκριση, αλλά δεν έχουν πάντα 6 βαθμούς ελευθερίας.
- τα οπτικά συστήματα απαιτούν ειδικό φωτισμό.
- τα συστήματα υπερήχων έχουν μικρό εύρος.
- τα ηλεκτρομαγνητικά συστήματα έχουν 6 βαθμούς ελευθερίας (θέσης και προσανατολισμού), καλή ονομαστική ακρίβεια, μικρό βάρος και προσιτό εύρος.



Σχήμα 5.3: Polhemus Fastrak

Στο σύστημα εικονικής πραγματικότητας του Cadlab χρησιμοποιούμε το σύστημα ακολουθίας κινήσεων Fastrak της Polhemus. Για τον προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο της θέσης και του προσανατολισμού του χρήστη, το Fastrak έχει μια συσκευή αποστολής σημάτων που παράγει ένα μαγνητικό πεδίο. Οι δέκτες του Fastrak προσαρτούνται στις περιφερειακές μονάδες εικονικής πραγματικότητας (HMD, γάντι, κ.λπ.). Αυτοί οι δέκτες στέλνουν τις πληροφορίες για το μαγνητικό πεδίο στο κιβώτιο ελέγχου του συστήματος. Αυτές οι πληροφορίες αναλύονται με τη χρήση μαθηματικών αλγορίθμων και έτσι είναι δυνατή η εύρεση της σχετικής θέσης και του προσανατολισμού του δέκτη ως προς την συσκευή αποστολής σημάτων. Ο δέκτης προσαρτείται στις περιφερειακές μονάδες εικονικής πραγματικότητας, έτσι ώστε οι αλλαγές της θέσης και του προσανατολισμού του δέκτη να αντιστοιχούν στις μετακινήσεις του χρήστη. Το σύστημα μετρά τις διακριτές θέσεις του χρήστη στον πραγματικό χρόνο. Οι μετρήσεις λαμβάνονται αρκετές φορές ανά δευτερόλεπτο και υπάρχει μια συνεχής ροή στοιχείων μεταξύ των τμημάτων του συστήματος και του λογισμικού.

Το Fastrak συνδέεται μέσω μιας σειριακής θύρας RS 232 με τον υπολογιστή. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κανένας οδηγός διαθέσιμος για αυτήν την συσκευή, η χρήση αυτής της συσκευής πρέπει να υποστηριχθεί από το λογισμικό εικονικής πραγματικότητας. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια οποιουδήποτε ηλεκτρομαγνητικού ακολουθούντος συστήματος επηρεάζεται από την ύπαρξη μεταλλικών μερών στην περιοχή της εφαρμογής.

5.1.4) Τρισδιάστατες συσκευές εισόδου δεδομένων

Data Glove 16 από την 5DT

Το γάντι αυτό είναι μια τρισδιάστατη συσκευή εισαγωγής που προσφέρει την δυνατότητα φυσικού χειρισμού των εικονικών προτύπων από το χρήστη. Οι λειτουργίες του γαντιού (χειρισμός των εικονικών προτύπων και της περιήγηση στο εικονικό περιβάλλον του χρήστη) ενεργοποιούνται με τις κατάλληλες χειρονομίες χεριών, που προκαθορίζονται με από το χρήστη. Το γάντι αυτό έρχεται με 16 αισθητήρες που επιτρέπουν την προσομοίωση όλων των

συνδέσμων του χεριού (τρεις αισθητήρες σε κάθε δάχτυλο και ένας για τον καρπό).



Σχήμα 5.4: Data Glove 16 από την 5DT

Υπάρχουν διαφορετικά γάντια διαθέσιμα για το δεξιό και το αριστερό χέρι. Στο εργαστήριο CAD χρησιμοποιούμε ένα γάντι προσαρμοσμένο για δεξιόχειρες. Πρέπει να σημειωθεί ότι πάνω στο γάντι προσαρτείται ένας δέκτης παρακολούθησης της θέσης, προκειμένου να μπορεί να αλλάζει η σχετική θέση και ο προσανατολισμός του χεριού του χρήστη σε σχέση με το υπόλοιπο του σώματος του χρήστη, σύμφωνα με τις μετακινήσεις του χρήστη στο χώρο εργασίας.

Το γάντι Data Glove 16 συνδέεται μέσω θύρας RS 232 με τον υπολογιστή. Το γάντι διαθέτει λογισμικό και οδηγούς για τα πιο γνωστά λειτουργικά συστήματα. Ο χρήστης πρέπει να εγκαταστήσει τον οδηγό προκειμένου να ενεργοποιηθεί η συσκευή στο λειτουργικό σύστημα. Η συσκευή πρέπει επίσης να υποστηρίζεται από το λογισμικό εικονικής πραγματικότητας, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι ικανότητές της στο εικονικό περιβάλλον.

5.1.5) LogiCAD Space mouse 3D

Το Spacemouse είναι μια συσκευή υπολογιστή γραφείου, έτσι ο χειρισμός των εικονικών αντικειμένων και η κίνηση του χρήστη στο Εικονικό Περιβάλλον δεν ανταποκρίνεται στις φυσικές μετακινήσεις του. Δεδομένου ότι το Spacemouse είναι μια συσκευή υπολογιστή γραφείου δεν υπάρχει καμία ανάγκη να χρησιμοποιηθεί ένας δέκτης παρακολούθησης της κίνησης με αυτήν την συσκευή. Η συσκευή υποστηρίζει 6 βαθμούς ελευθερίας για την κίνηση και το χειρισμό των εικονικών προτύπων. Η συσκευή προσφέρει επίσης 11 κουμπιά. Ο

χρήστης μπορεί να προγραμματίσει καθένα από αυτά τα κουμπιά, προκειμένου να ενεργοποιηθούν ευκολότερα οι προγραμματισμένες ενέργειες στο εικονικό περιβάλλον.



Σχήμα 5.5: Space mouse

Το Space mouse συνδέεται μέσω θύρας RS 232 με τον υπολογιστή. Το Spacemouse έρχεται με λογισμικό και οδηγούς για τα πιο γνωστά λειτουργικά συστήματα. Ο χρήστης πρέπει να εγκαταστήσει τον οδηγό προκειμένου να ενεργοποιηθεί η συσκευή στο λειτουργικό σύστημα. Η συσκευή πρέπει επίσης να υποστηρίζεται από το λογισμικό εικονικής πραγματικότητας, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι ικανότητές της στο εικονικό περιβάλλον.

6.1) Το λογισμικό Sense8 World Up

Το World Up της εταιρείας Sense8 αποτελεί ένα πλήρως αναπτυγμένο λογισμικό και προσφέρει ένα περιβάλλον για την οικοδόμηση τρισδιάστατων εφαρμογών (VR). Χτισμένο επάνω στο World Toolkit της EAI, ένα από τα ευρύτερα διαδεδομένα στη βιομηχανία λογισμικά εργαλεία ανάπτυξης οπτικής προσομοίωσης, προσφέρει ισχυρή λειτουργικότητα σε πραγματικό χρόνο σε ένα διαλογικό, αντικειμενοστραφές περιβάλλον.

Το World Up εφαρμόζει τις έννοιες του πραγματικού χρόνου και της αλληλεπίδρασης από την σύλληψη μέχρι και την ολοκλήρωση της εφαρμογής. Οι χρήστες μπορούν να βλέπουν τις επιπτώσεις αλλαγής των μεταβλητών παραμέτρων ενός σχεδίου σε πραγματικό χρόνο, ενώ τα αποτελέσματα της τροποποίησης των συμπεριφορών ή των ιδιοτήτων ενός αντικειμένου (όπως η μετακίνηση), μπορούν να φανούν ενώ παράλληλα η προσομοίωσή τους τρέχει. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να μειώσουν ουσιαστικά τις δαπάνες ανάπτυξης και τον χρόνο παρουσίασης ενός προϊόντος στην αγορά.

Το World Up παρέχει ένα ιδιαίτερα αντικειμενοστραφές περιβάλλον σχεδιασμένο με σκοπό την ταχύτερη ανάπτυξη εφαρμογών. Η δυνατότητα επέκτασης της ιεραρχίας ενός αντικειμένου περιέχει προκαθορισμένες ιδιότητες και μεθόδους που μπορούν να προσεγγιστούν μέσω του ίδιου του λογισμικού ή μέσω προγραμματιστικών εντολών της γλώσσας Visual Basic. Η εφαρμογή περιλαμβάνει επίσης έναν διορθωτή γραμμών προγραμματισμού και έναν profiler για να βελτιστοποιήσει την απόδοση, καθώς επίσης και μια πλήρη ακολουθία εργαλείων συμπεριλαμβανομένου ενσωματωμένου Modeler και υποστήριξης μέσω Διαδικτύου.

Το πλήρως ενσωματωμένο World Up Modeler παρουσιάζει τα αντικείμενα σχεδίασης ακριβώς όπως έχουν σκοπό να εμφανιστούν στην προσομοίωση. Τα πραγματικού χρόνου γεωμετρικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα διαμόρφωσης περιλαμβάνουν την επεξεργασία και διαμόρφωση της γεωμετρίας, την παρουσίαση πολλαπλών όψεων, την συγχώνευση των συνεπίπεδων

πολυγώνων και τη δυνατότητα να αποδοθούν τρισδιάστατα και οι δύο πλευρές του πολυγώνου.

Το λογισμικό προσφέρει διάφορες επιλογές προοριζόμενες για εμπορική χρήση συμπεριλαμβανομένων Stand Alone Players, Plug in Players και ActiveX Players. Η προσθήκη του World Up Player παρέχει επίσης στους ερασιτέχνες χρήστες μια αυτόνομη επιλογή ελεύθερης διανομής του περιεχομένου της δουλειάς τους σε ένα μεγάλο ακροατήριο. Οι ελεγκτές ActiveX του World Up που στηρίζονται στην πιο πρόσφατη τεχνολογία της Microsoft, επιτρέπουν στους χρήστες να ενσωματώσουν τις πραγματικού χρόνου τρισδιάστατες εφαρμογές τους σε περιβάλλον PowerPoint αλλά και τις περισσότερες εφαρμογές OLE, όπως τον Internet Explorer και το Microsoft Office Suite. Τα Plug in του World up επιτρέπουν τη διανομή και την παρουσίαση των τρισδιάστατων εφαρμογών μέσω του Διαδικτύου. Αρχεία VRML μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στις εφαρμογές του World up.

Το World Up υποστηρίζει τα βιομηχανικά πρότυπα συμπεριλαμβανομένου του OpenGL, και της βασικής σύνταξης της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic για να παρέχει στους χρήστες άμεση παραγωγικότητα και τη βέλτιστη ευελιξία. Το λογισμικό επίσης υποστηρίζει τα σχήματα αρχείων VRML, 3DS, DXF και FLT, και ποικίλα λειτουργικά συστήματα, χωρίς την ανάγκη recompile.

6.2) Το Λογισμικό Pro/Engineer Wildfire

Το Pro/Engineer είναι ένα από τα καινούρια σχεδιαστικά πακέτα που βασίζονται στην παραμετρική μοντελοποίηση με διαχείριση χαρακτηριστικών (feature manipulation). Μέσα στις λέξεις αυτές κρύβεται η φιλοσοφία του προγράμματος. Και αυτό, γιατί όταν σχεδιάζουμε ένα κομμάτι (part), είναι σαν να το χτίζουμε feature by feature. Και όταν λέμε feature αναφερόμαστε: σε στερεά που προκύπτουν από προέκταση, από περιστροφή κλπ, σε οπές, σε κοψίματα και άλλα. Κάθε κομμάτι δηλαδή, είναι ένα μπλοκ του οποίου τα μέρη που το συνιστούν είναι στοιχειώδη, τα features. Αυτά ορίζουν επακριβώς τον τρόπο με τον οποίο θα προστεθεί ή θα αφαιρεθεί υλικό και είναι παρουσιάζουν ευφυή

προσαρμοστικότητα γιατί ανταποκρίνονται αυτόματα στις αλλαγές που κάνει ο σχεδιαστής. Κάθε feature συνδέεται με κάποιες σχέσεις-παραμέτρους με το μοντέλο και με τα άλλα features. Ο χρήστης λοιπόν, ορίζει σε κάθε σχέδιο τις παραμέτρους με τέτοιο τρόπο ώστε :

1. να τον εξυπηρετούν να φτάσει τους στόχους του.
2. να έχει τη δυνατότητα με μερικές αλλαγές να μοντελοποιεί διαφορετικά το κομμάτι του, όπως επιθυμεί.

Έτσι περιγράφεται με λίγα λόγια η παραμετρική μοντελοποίηση, η οποία βοηθά πάρα πολύ στο σχεδιασμό και δίνει τρομερές δυνατότητες στον χρήστη του προγράμματος, ο οποίος μπορεί να σχεδιάζει ελεύθερος, γνωρίζοντας ότι μπορεί ανά πάσα στιγμή να κάνει ριζικές αλλαγές με μικρό σχετικά κόστος.

6.2.2) Pro/Engineer – Όσον αφορά την μοντελοποίηση

Το Pro/Engineer εμπεριέχει τον τρισδιάστατο πυρήνα παραμετρικής στερεάς μοντελοποίησης, αυτόν που χρησιμοποιούν οι περισσότερες βιομηχανίες , ο οποίος παρέχει ακριβείς αναπαραστάσεις της γεωμετρίας και ιδιότητες μάζας. Παρέχει πλήρη προσδιορισμό του προϊόντος, δίνοντας ολοκληρωμένα και ακριβή αποτελέσματα για το προϊόν, για παράδειγμα, στην κατεργασία, στην ανάλυση όπως και στις απαιτήσεις των υλικών και της μηχανικής. Παρέχοντας παραμετρική μοντελοποίηση βασισμένη σε features ("χαρακτηριστικά") και πλήρη επικοινωνία, επιτρέπει αλλαγές που γίνονται σε οποιοδήποτε στάδιο της ανάπτυξης του προϊόντος να μεταδίδονται σε όλο το σχέδιο. Συγκεκριμένα, αυτός ο τρόπος λειτουργίας της 3σδιάστατης μοντελοποίησης επιτρέπει στους σχεδιαστές:

- Να βρίσκουν ταχέως εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού
Επειδή τα σχέδια του Pro/Engineer συνίστανται από παρόμοια παραμετρικά χαρακτηριστικά και υπάρχει κάποια πρόβλεψη στον τρόπο που μπορούν να αλλάξουν αυτά, οι σχεδιαστές μπορούν να αναζητήσουν ταχύτατα εναλλακτικές λύσεις.
- Να αναπαριστούν επακριβώς κάθε σχέδιο

Έχει αποδειχθεί πως το Pro/Engineer είναι ένα ευέλικτο σχεδιαστικό πακέτο που υποστηρίζει πολύπλοκη γεωμετρία, δίνοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα πλήρους προσδιορισμού του μοντέλου. Αυτό εξασφαλίζει ακριβή και διαρκή πληροφόρηση για κάθε σχέδιο σε κάθε στιγμή κατά τη διαδικασία ανάπτυξης.

- Να πετυχαίνουν με εύκολο τρόπο τη μοντελοποίηση περίπλοκων features
Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν καμπύλες, πολύπλοκα rounds, μοντέλα από "σάρωση" διάφορων διατομών, μοντέλα από "μίξη" διατομών. Και όλα αυτά σε ελάχιστο χρόνο σε σύγκριση με αυτόν που απαιτείται με τα συμβατικά εργαλεία σχεδίασης.

6.2.3) Pro/Engineer – Όσον αφορά την συναρμολόγηση

Οι διάφορες εταιρείες αναπτύσσουν "προϊόντα" και όχι απλά κομμάτια, για αυτό η αρχιτεκτονική του Pro/Engineer τους παρέχει εκτεταμένες δυνατότητες για να προσδιορίσουν και να δημιουργήσουν αυτές τις συναρμολογήσεις. Συγκεκριμένα, ο τρόπος λειτουργίας της συναρμολόγησης επιτρέπει στους σχεδιαστές:

- Να δημιουργούν συναρμολογήσεις από υπάρχοντα ή νέα συστατικά
Οι χρήστες μπορούν να συναρμολογήσουν υπάρχοντα εξαρτήματα για να δημιουργήσουν συναρμολογήσεις ή να δημιουργήσουν νέα εξαρτήματα κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης. Η δημιουργία νέων εξαρτημάτων μπορεί να γίνει από: κοπή, αναπαραγωγή, αντιγραφή των ήδη υπάρχοντων κομματιών. Αντικείμενα όπως κόλλα, ταινία και μπογιά μπορούν επίσης να αναπαρασταθούν.
- Να πραγματοποιούν με εύκολο τρόπο μελέτη της συναρμολόγησης
Οι χρήστες μπορούν να προσθέτουν εξαρτήματα στη συναρμολόγηση μέχρι να επιτύχουν τον επιθυμητό στόχο, εκμεταλλευόμενοι τους εναπομείναντες βαθμούς ελευθερίας κάθε φορά.
- Να αναζητούν εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού
Οι χρήστες μπορούν να:

1. Σχεδιάζουν διαφορετικές εκδόσεις του προϊόντος κρατώντας διαφορετικά configuration, δηλαδή παραμέτρους για τα μοντέλα.
 2. Δημιουργούν εναλλακτικά σχέδια αλλάζοντας αυτόματα τα συστατικά σε μια συναρμολόγηση.
- Δημιουργούν παραμετρικές εξισώσεις στις συναρμολογήσεις
- Οι χρήστες μπορούν να πετύχουν το σκοπό τους στις συναρμολογήσεις θέτοντας παραμετρικές σχέσεις μεταξύ των διαστάσεων και άλλων παραμέτρων.

6.2.4) Pro/Engineer – Όσον αφορά το Documentation – Μηχανολογικό σχέδιο

Οι χρήστες μπορούν να παράγουν ολοκληρωμένα, έτοιμα για την παραγωγή μηχανολογικά σχέδια. Συγκεκριμένα, ο τρόπος λειτουργίας του Drawing επιτρέπει στους χρήστες:

- Να δημιουργούν έξυπνα formats
Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν templates με τέτοιο format (υπόμνημα, αριθμός μοντέλου, υλικό του μοντέλου και άλλα) τα οποία συμπληρώνονται μόνα τους όταν το drawing δημιουργείται, περιορίζοντας έτσι το ανθρώπινο λάθος.
- Να δημιουργούν εύκολα όψεις
Όλοι οι τύποι όψεων μπορούν να δημιουργηθούν απευθείας από το στερεό μοντέλο, περιορίζοντας στο ελάχιστο την απαιτούμενη εργασία. Επιπλέον, υπάρχουν πολλά διαθέσιμα εργαλεία για να προστεθεί επιπλέον πληροφορία στα σχέδια.
- Να παρουσιάζουν και να καθαρίζουν αυτόματα τις διαστάσεις
Οι χρήστες μπορούν να παρουσιάζουν αυτόματα τις διαστάσεις και να κάνουν πολλές εργασίες αυτόματα όσον αφορά την παρουσίαση του σχεδίου και τα ανάλογα σύμβολα.

6.2.5) Pro/Engineer – Όσον αφορά στην εξαγωγή (export) σε αρχεία VRML/HTML

Όλα τα μοντέλα του Pro/Engineer καθώς και οι συναρμολογήσεις, είναι δυνατόν να εξαχθούν σε ιστοσελίδες χρησιμοποιώντας τα στάνταρ format: HTML, VRML, CGM, JPEG, καθώς και Java applets. Όλα αυτά μπορεί να τα δει κανείς στο Internet ή σε ένα Intranet μέσω ενός απλού browser. Συγκεκριμένα, η εξαγωγή σε VRML/HTML format επιτρέπει στους χρήστες:

- Να δημιουργήσουν HTML σελίδες στο Web χρησιμοποιώντας frames και scrolls

Κείμενο, γραφικά, λίστες μοντέλων και σελίδες με οδηγίες παίρνουν συγκεκριμένο format αυτόματα.

- Να δείξουν τη δομή ενός μοντέλου ή συναρμολόγησης μέσω ενός Java-driven δέντρου

Αυτό το δέντρο πλοήγησης σαν εργαλείο παρέχει τη λίστα της δομής των μοντέλων και τις παραμέτρους του μοντέλου και μπορεί να συνδεθεί με links σε VRML αρχεία για κάθε εξάρτημα.

- Να δουν και να επιδείξουν τις συναρμολογήσεις χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα μοντέλα VRML και JPEG εικόνες

Τα αρχεία με format VRML μπορούν να ανοιχτούν από τα module της PTC, Pro/FLY-THROUGH ή Pro/Model.View. Εκτός από αυτά τα προϊόντα της PTC, μπορεί κανείς να δει κανείς αυτά τα αρχεία και με τους κλασσικούς browser, αρκεί να έχουν ενσωματωμένα κάποια plugins.

6.2.6) Pro/Engineer – Όσον αφορά το Φωτορεαλισμό (Rendering)

Το Pro/Engineer παρέχει εύκολη πρόσβαση σε όλα τα εργαλεία που είναι αναγκαία για να παραχθούν ακριβή, φωτορεαλιστικά μοντέλα κομματιών ή συναρμολογήσεων που έχουν σχεδιαστεί με το Pro/Engineer, τα οποία είναι ιδανικά για την επικοινωνία στα τμήματα των πωλήσεων και του μάρκετινγκ. Συγκεκριμένα, τα φωτορεαλιστικά μοντέλα επιτρέπουν στους χρήστες:

- Να ενσωματώσουν τεχνικές του βιομηχανικού σχεδιασμού στις διαδικασίες της μοντελοποίησης

Αντανακλάσεις των επιφανειών και συγκεκριμένος φωτισμός, που είναι εφικτό να αναπαρασταθούν σε δευτερόλεπτα, επιτρέπουν στους σχεδιαστές να εκτιμήσουν την ποιότητα των επιφανειών και την αισθητική του σχεδιασμού. Το Rendering στο Pro/Engineer είναι τόσο εύκολο και γρήγορο, που είναι δυνατόν για το χρήστη να κάνει διαρκές εκτιμήσεις για κάθε μοντέλο και όχι μόνο κατά την τελική φάση.

- Να βελτιώνουν τη διαδικασία επικοινωνίας

Οι χρήστες μπορούν να παρουσιάσουν τις ιδέες τους τοποθετώντας τα μοντέλα μέσα σε ένα τυπικό χώρο (room) ή να φτιάξουν ένα δικό τους σκηνικό, με φωτισμό, χρώματα και άλλα, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα του προϊόντος. Εσωτερικά γκρουπ της εταιρείας, όπως το τμήμα πωλήσεων, μάρκετινγκ, μάνατζμεντ, μπορούν να χρησιμοποιήσουν φωτορεαλιστικά μοντέλα για να προωθήσουν το προϊόν πριν ακόμα βγει στην παραγωγή.

7.1) Σχεδιασμός των κυριότερων γεωμετρικών μοντέλων της εφαρμογής

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, τα γεωμετρικά μοντέλα που θα εισαχθούν στο λογισμικό εικονικής πραγματικότητας Sense8 World Up θα δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα ProEngineer Wildfire. Έχοντας ήδη αναφερθεί για τα γενικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης εφαρμογής, στην παρούσα ενότητα θα περιγράψουμε εν συντομία το πως σχεδιάστηκαν τα κυριότερα από τα αντικείμενα – μοντέλα που χρησιμοποιούνται κατά την λειτουργία της τεχνικής του Vacuum Cast Molding. Πρέπει εδώ όμως να σημειώσουμε ότι ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε το ProEngineer Wildfire για τον σχεδιασμό των μοντέλων, εν αντιθέσει κάποιων άλλων λογισμικών της αγοράς είναι προφανώς η πολύχρονη επιτυχής χρήση και υποστήριξή του από το εργαστήριο Cadlab, αλλά και οι συγκριτικά μεγαλύτερες δυνατότητες και η ευκολία χρήσης που παρουσιάζει η εφαρμογή σε σχέση με τα ανταγωνιστικά λογισμικά για τον σχεδιασμό τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντέλων.

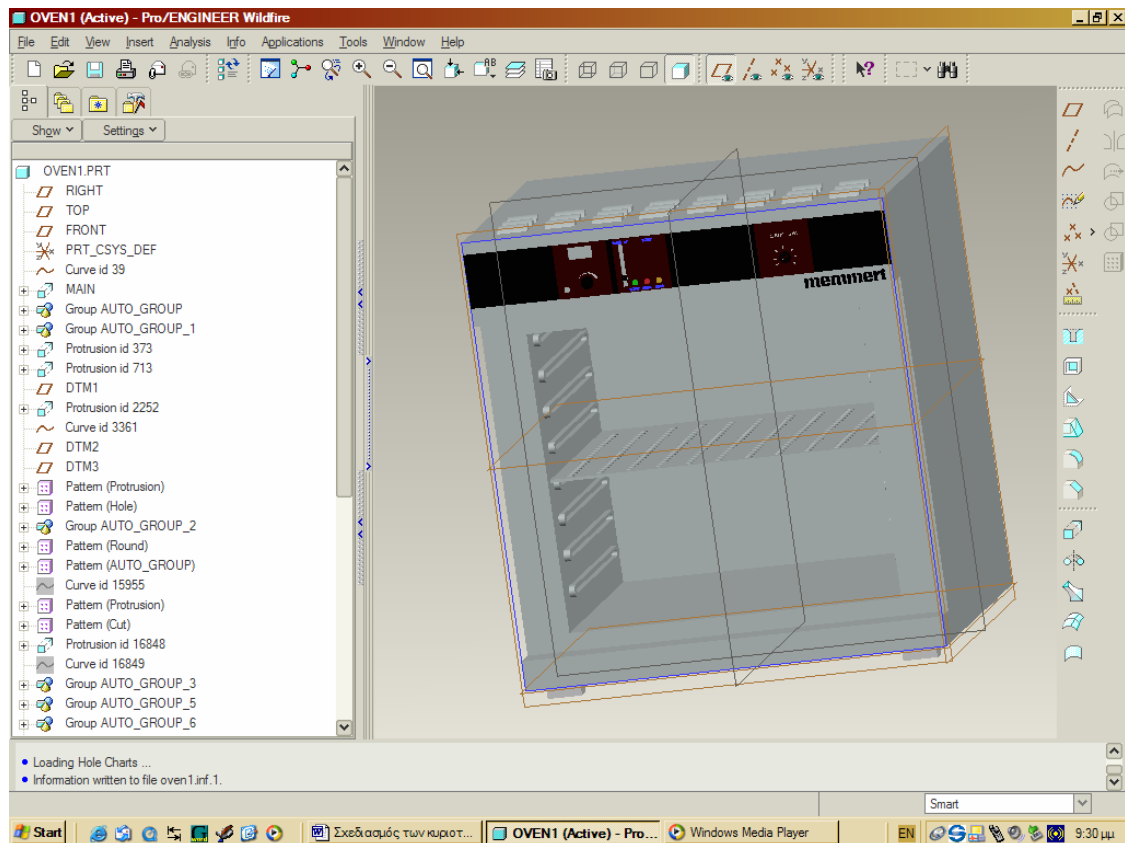
7.2) Σχεδιασμός του Φούρνου

Ο σχεδιασμός του φούρνου πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια, το πρώτο ήταν η δημιουργία του κύριου μπλοκ του φούρνου και το δεύτερο η δημιουργία της πόρτας του φούρνου. Ο λόγος που έγινε αυτός ο διαχωρισμός είναι η ανάγκη προσομοίωσης στο εικονικό περιβάλλον του ανοίγματος της πόρτας του φούρνου, πράγμα που απαιτεί την ύπαρξη δύο διαφορετικών κομματιών (τα οποία στην συνέχεια θα συναρμολογηθούν στις κατάλληλες θέσεις στο πρόγραμμα 3D).

α.) σχεδιασμός κύριου μπλοκ φούρνου

Ο σχεδιασμός του δεν παρουσίασε ιδιαίτερες δυσκολίες, ούτε και απαιτήθηκε η χρήση εξεζητημένων χαρακτηριστικών του προγράμματος. Αρχικά δημιουργήθηκε ένα κύριο Protrusion (MAIN) στις πραγματικές διαστάσεις του φούρνου, το οποίο στην συνέχεια με την χρήση κάποιων Cut features

(εσωτερικού χώρου φούρνου, κοιλότητας υποδοχής της πόρτας) προσέδωσε στο μοντέλο την πρωτογενή αρχική του μορφή.



Σχήμα 7.1: Σχεδιασμός Φούρνου

Στην συνέχεια, και πάντα με την εισαγωγή κάποιων Protrusion δημιουργήθηκαν το φιλέτο που περιλαμβάνει τα controls του φούρνου, το λογότυπο του κατασκευαστή αλλά και η εσωτερική σχάρα που χωρίζει τον φούρνο σε δύο μέρη (με την βοήθεια τριών νέων Datum Planes DTM1, DTM2 και DTM3). Οι τρύπες στην σχάρα δημιουργήθηκαν με την χρήση ενός Pattern Feature, όπως αντιστοίχως και τα ποδαράκια του φούρνου. Πρέπει εδώ να επισημάνουμε ότι η δημιουργία ενός Pattern απαιτεί πρώτα τον σχεδιασμό του πρωταρχικού στοιχείου του σχεδίου, το οποίο κατόπιν πολλαπλασιάζεται ανάλογα με τις διαθέσεις μας. Μια άλλη λεπτομέρεια που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι το ProEngineer Wildfire δεν επιτρέπει την δημιουργία Patterns τα οποία περιλαμβάνουν κάποιο στερεό, αλλά μόνο Patterns σχεδίων (curves). Στην

περίπτωση όπου εμείς επιθυμούμε τον πολλαπλασιασμό κάποιων στερεών, πρέπει αναγκαστικά να προβούμε σε κάποιο Pattern του πρωταρχικού του σχεδίου (curve) στον αριθμό που επιθυμούμε και κατόπιν να μετατρέψουμε με την χρήση Protrusions αυτά τα curves.

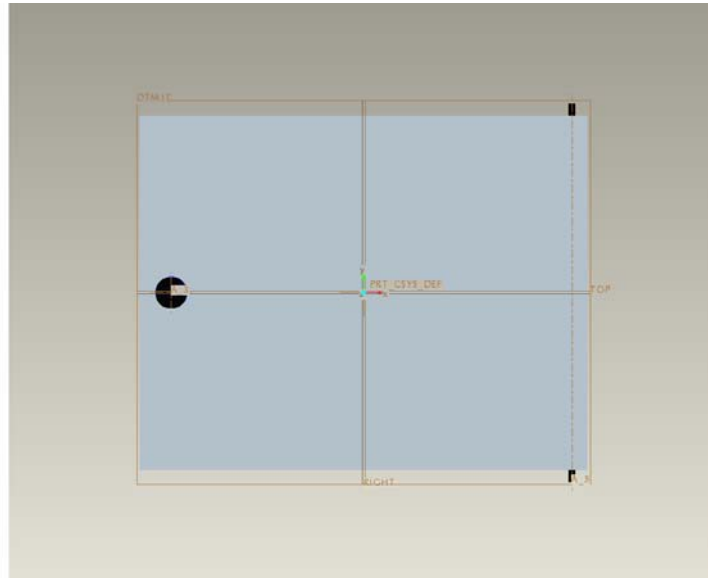
Στην συνέχεια, σειρά έχει ο σχεδιασμός των αεραγωγών οροφής και των στηριγμάτων / αντιστάσεων της σχάρας στα πλευρικά τοιχώματα του φούρνου, όπου και πάλι χρησιμοποιούμε την λειτουργία των Patterns με τρόπο αντίστοιχο όπως περιγράψαμε προηγουμένως. Για λόγους ευκολίας, πρώτα δημιουργήθηκαν τα στηρίγματα / αντιστάσεις της μίας πλευράς και έπειτα με χρήση του εργαλείου Mirror τα «καθρεπτίσαμε» επάνω στην απέναντι. Το σχέδιο ολοκληρώνεται με την δημιουργία των κοντρόλ ελέγχου του φούρνου, τα οποία σχεδιάστηκαν με την χρήση κάποιων Protrusions. Η μόνη δυσκολία που αντιμετωπίσαμε σε αυτό το στάδιο ήταν η αδυναμία απόδοσης όγκου στα γράμματα που περιγράφουν την λειτουργία των κοντρόλ ελέγχου, κάτι το οποίο είναι αδικαιολόγητο να συμβαίνει, αφού σε άλλες αντίστοιχες περιπτώσεις η συγκεκριμένη λειτουργία δούλεψε κανονικά.

Το ProEngineer Wildfire κατά την διάρκεια του σχεδιασμού εμφανίζει όλα τα αντικείμενα με ένα προκαθορισμένο χρώμα (απόχρωση του γκρι). Στην δική μας περίπτωση (κάτι που ισχύει για όλα τα σχέδια της εφαρμογής) είναι απαραίτητο για λόγους αληθοφάνειας να προσδώσουμε στα αντικείμενα χρώματα όσο το δυνατόν πιστότερα στα πραγματικά τους. Η συγκεκριμένη δυνατότητα ενεργοποιείται στο Wildfire μέσω της εντολής Color and Appearance, όπου επιλέγοντας την λειτουργία χρωματισμού επιφανειών (Surfaces) προσδίδουμε σε κάθε επιφάνεια του σχεδίου το επιθυμητό χρώμα. Επίσης, μέσω της ίδιας εντολής μπορούμε να προσδώσουμε στα αντικείμενα ή τις επιφάνειες κάποιες ιδιότητες ή υφές ανάλογες της αρεσκείας μας, όπως π.χ. το υλικό κατασκευής ή το ποσοστό διαπερατότητας (διαφάνειας) του φωτός.

β.) σχεδιασμός πόρτας φούρνου

Το συγκεκριμένο αντικείμενο δημιουργήθηκε πολύ απλά και γρήγορα, με την χρήση δύο Protrusion (το ένα στις διαστάσεις της πόρτας και το άλλο στις διαστάσεις του χερουλιού της πόρτας) και την χρήση ενός Revolve Protrusion για

τον σχεδιασμό των στηριγμάτων της πόρτας. Σαν βοήθημα δημιουργήθηκε μια επιπλέον Datum Plane (DTM1) που χρησιμοποιήθηκε στον σχεδιασμό των στηριγμάτων της πόρτας (ορισμός επιπέδου σχεδίασης).



Σχήμα 7.2: Σχεδιασμός πόρτας φούρνου

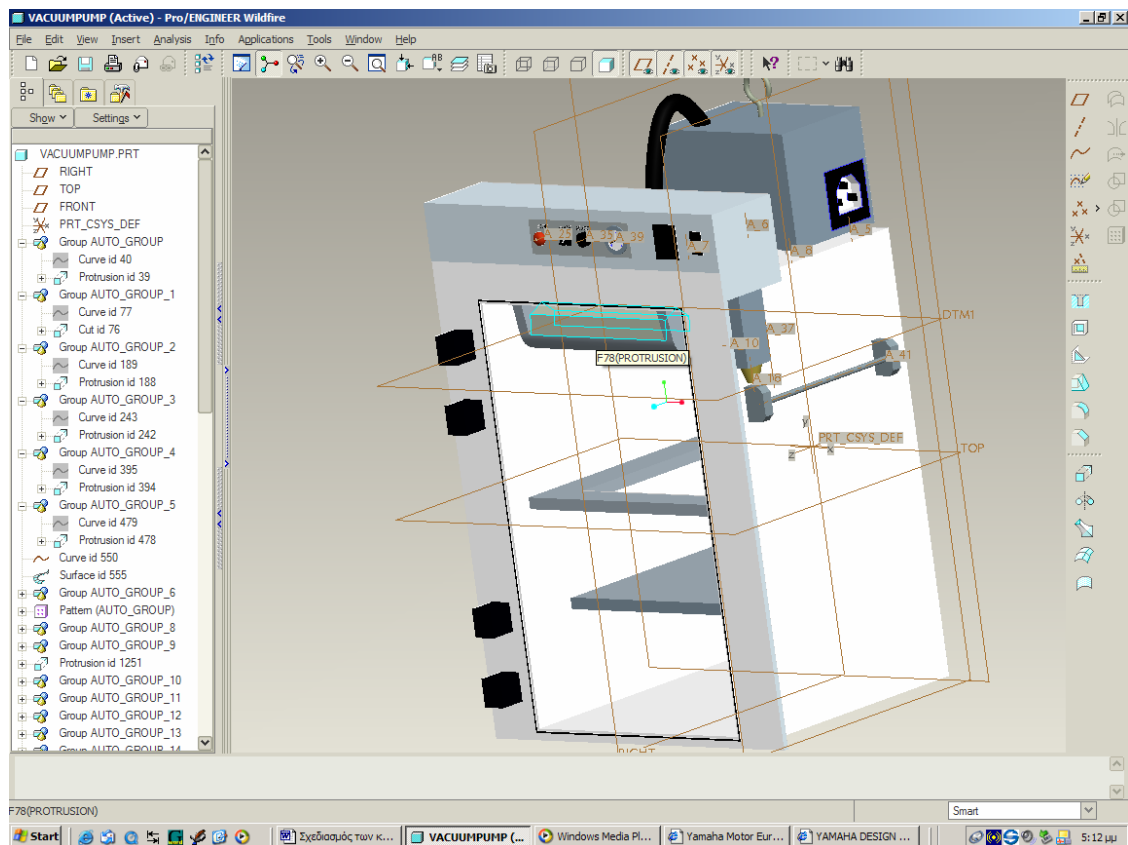
7.3) Σχεδιασμός του Θαλάμου Κενού Αέρος (Vacuum Pump)

Το συγκεκριμένο αντικείμενο παρουσίασε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας κατά τον σχεδιασμό του, συγκρινόμενο με αυτόν του φούρνου. Αυτό οφειλόταν κυρίως στα περισσότερα κινούμενα μέρη τα οποία πρέπει να αποδοθούν στην τρισδιάστατη εφαρμογή μας. Όπως ήδη εξηγήσαμε, για την αναπαράσταση των κινούμενων μερών ενός κομματιού είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν ως ξεχωριστές οντότητες, που θα εμφανίζουν μεταξύ τους κάποια σχετική κίνηση. Κατά τα άλλα, η αυξημένη πολυμορφία του θαλάμου απαίτησε κατά τον σχεδιασμό του την χρήση πιο σύνθετων εντολών του ProEngineer Wildfire, όπως θα δούμε παρακάτω.

α.) σχεδιασμός κύριου μπλοκ θαλάμου κενού

Ανάλογα με τον σχεδιασμό του φούρνου στο αντίστοιχο μέρος του, για τον σχεδιασμό του μπλοκ προβήκαμε στην δημιουργία κάποιων Protrusions πάνω

στις βασικές διαστάσεις του θαλάμου κενού. Έτσι, ως πρώτο βήμα σχεδιάστηκαν τέσσερα Protrusions στερεών που αναπαριστούν το κυρίως σώμα του θαλάμου, το κομμάτι πάνω στο οποίο θα τοποθετηθούν τα κοντρόλ ελέγχου, και την αντλία κενού του θαλάμου καθώς και τα ποδαράκια στηρίξεως της. Ακολούθως, με χρήση ενός Cut Feature αφαιρέθηκε υλικό από το κυρίως σώμα του θαλάμου, δημιουργώντας την εσωτερική του κοιλότητα.



Σχήμα 7.3: Σχεδιασμός Θαλάμου κενού αέρος

Ο σωλήνας που συνδέει την αντλία κενού με τον θάλαμο κενού αέρος σχεδιάστηκε με χρήση ενός Sweep Feature, πάνω σε τροχιά που ορίζεται στην Right Datum Plane. Τα εσωτερικά στηρίγματα των εσχάρων στο εσωτερικό του θαλάμου σχεδιάστηκαν ως δύο στερεά Protrusions από τα οποία με χρήση ενός Cut Feature αφαιρέθηκε ένα ημικύκλιο υλικού (ταυτόχρονα και από τα δύο στηρίγματα). Αυτή η αφαίρεση υλικού πολλαπλασιάστηκε κατά μήκος των στηριγμάτων με την χρήση ενός Pattern Feature. Τα στηρίγματα όπως και το

περιμετρικό λάστιχο στεγανοποίησης της πόρτας του θαλάμου σχεδιάστηκαν με δύο Protrusion τετραγωνικής διατομής. Οι δύο εσωτερικές εσχάρες δημιουργήθηκαν και αυτές με χρήση της λειτουργίας Protrusion, με την μοναδική διαφορά ότι στην ψηλότερα τοποθετημένη εσχάρα αφήνεται ένα εσωτερικό κενό (τετραγωνική τρύπα).

Ενώ το σχέδιό μας έχει ήδη πλησιάσει την τελική του μορφή είναι απαραίτητο να προχωρήσουμε στην δημιουργία κάποιων λεπτομερειών, οι οποίες είναι απαραίτητες για να προσδώσουν την αναγκαία αληθοφάνεια στον ευκαιριακό χρήστη της εφαρμογής VR. Παρακάτω επεξηγούμε συνοπτικά τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάστηκαν:

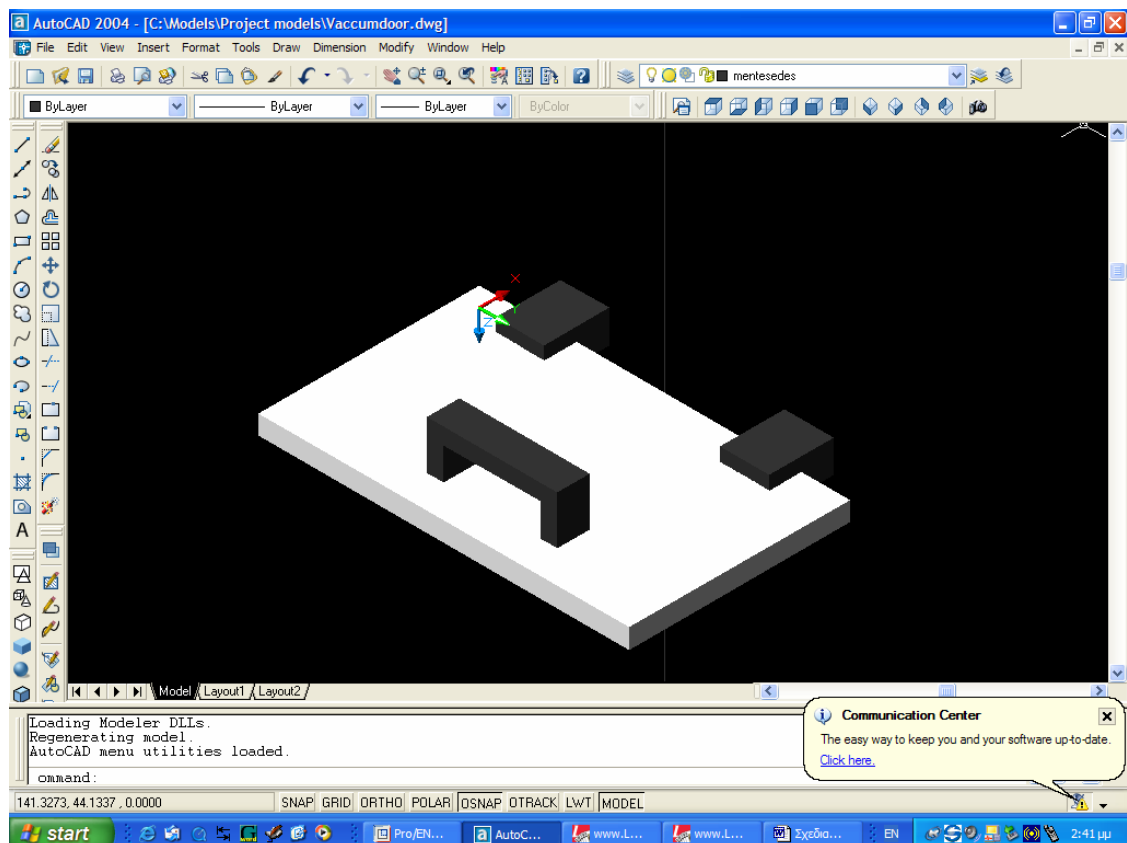
- *Σώμα βαλβίδας εκτόνωσης αέρος:* αφού πρώτα δημιουργήσαμε την βοηθητική Datum Plane DTM1, με δύο Protrusions κατασκευάσαμε διαδοχικά το χρυσαφί φίλτρο αέρος και το σώμα της βαλβίδας εκτόνωσης.
- *Εσωτερικό φως θαλάμου:* Με την κατασκευή της εσωτερικής λάμπας ως ενός εξαγωνικού Protrusion, σε δεύτερο στάδιο δημιουργήθηκαν τα πλαϊνά στηρίγματα της λάμπας και έπειτα το κάτω καπάκι του φωτιστικού, όλα με Protrusions.
- *Όργανα ελέγχου θαλάμου:* Σε πρώτη φάση δημιουργήθηκε με Protrusion μια πολύ λεπτή πλάκα πάνω στο κουτί ελέγχου έτσι ώστε να διαχωρίζονται τα χειριστήρια από αυτό. Έπειτα, σχεδιάστηκε το «μανιτάρι» άμεσης διακοπής λειτουργίας της συσκευής με την χρήση ενός Protrusion κυλινδρικής διατομής, ενός Round Feature για την καμπυλότητα της επιφανείας του διακόπτη και ενός Cut Feature για την απομάκρυνση υλικού από το κάτω μέρος του διακόπτη. Ο διακόπτης εκκινήσεως της αντλίας παρουσίασε ακόμη μεγαλύτερη δυσκολία καθώς πρώτα με ένα Protrusion δημιουργήθηκε ένα κουτί στο μέγεθος του διακόπτη, ακολούθως με την χρήση δύο Cut Features και δύο Round Features στα άκρα του διαμορφώθηκε στην τελική του μορφή. Ο διακόπτης λειτουργίας του μίξερ σχεδιάστηκε πολύ απλά με την χρήση ενός Revolve Protrusion. Τέλος, αφού αποδόθηκε σε κάθε διακόπτη το

φυσικό χρώμα του, απέμεινε η αναγραφή των λειτουργιών τους πάνω στην επιφάνεια ελέγχου. Αυτό έγινε δυνατό με τον σχεδιασμό των λογοτύπων, τον χρωματισμό τους αλλά και την απόδοση όγκου σε αυτά (πολύ μικρού πάχους) με την χρήση Protrusions, αφού με αυτόν τον τρόπο γίνονται πολύ πιο ευδιάκριτα στο τρισδιάστατο περιβάλλον.

- *Μετρητής πίεσεως θαλάμου:* Πρώτα σχεδιάστηκε ένας δακτύλιος που αναπαριστά τα τοιχώματα του μετρητή και ακολούθως ο δείκτης της πίεσεως, και τα δύο με χρήση Protrusion. Ο σχεδιασμός όμως των τιμών του μετρητή, ενώ αποδόθηκε κανονικά σε προβολή σχεδίασης, δεν στάθηκε δυνατόν να του αποδοθεί όγκος με κάποιο Protrusion, κάτι που δεν ήταν δυνατό να δικαιολογήσουμε για ποιόν λόγο συνέβη. Έτσι, ενώ αυτές οι τιμές γίνονται ξεκάθαρα ορατές στο ProEngineer, δεν αποδίδονται στο τρισδιάστατο περιβάλλον της εφαρμογής μας.
- *Πρίζα παροχής ρεύματος στην αντλία κενού:* Δημιουργήθηκε με μια αφαίρεση υλικού από το σώμα της αντλίας (Cut Feature) και ακολούθως με την δημιουργία τριών μικρών στερεών (Protrusions) στην κοιλότητα που προέκυψε, τα οποία προσομοιώνουν τις ακίδες της πρίζας.
- *Αναδευτήρας υλικού:* Η βάση του αναδευτήρα δημιουργήθηκε με δύο μέρη, το κυλινδρικό μέρος με ένα Sweep Feature ενώ το οριζόντιο με την χρήση ενός Protrusion Feature. Στην συνέχεια το στοιχείο του αναδευτήρα σχεδιάστηκε με ένα Revolve Protrusion πάνω στο επίπεδο που ορίζεται από την Right Datum Plane.
- *Λεπτομέρειες της αντλίας κενού:* το φινις του καλωδίου δημιουργήθηκε με την χρήση ενός Protrusion και ενός Chamfer Feature το οποίο γώνιασε τις πλευρές του. Το καλώδιο ρεύματος καθώς και ο γάντζος οροφής δημιουργήθηκαν με χρήση δύο Sweep Protrusion πάνω σε παράλληλο επίπεδο ως προς την Front Datum Plane.
- *Πλαϊνές λεπτομέρειες φούρνου:* Οι βάσεις του άξονα σχεδιάστηκαν με ένα Protrusion και με ένα Chamfer το οποίο επεξεργάστηκε τις γωνίες των βάσεων. Κατόπιν, ο άξονας σχεδιάστηκε με χρήση ενός Protrusion πάνω σε ένα κυκλικό Curve.

β.) σχεδιασμός πόρτας θαλάμου κενού

Κατά τον σχεδιασμό αυτού του κομματιού με το λογισμικό ProEngineer Wildfire αντιμετωπίσαμε μια ανυπέρβλητη δυσκολία στην απόδοση της απαιτούμενης διαπερατότητας του φωτός διαμέσου της πόρτας (διαφανής). Παρόλο που το λογισμικό παρέχει αυτήν την δυνατότητα στον χρήστη η οποία μάλιστα ενεργοποιείται κανονικά μέσα στο περιβάλλον του, η ιδιότητα αυτή δεν μπορεί να μεταφερθεί αργότερα στην εφαρμογή VR. Αναγκαστικά, στραφήκαμε λοιπόν σε ένα άλλο σχεδιαστικό λογισμικό, και πιο συγκεκριμένα στο AutoCAD 2004, το οποίο όπως αποδείχθηκε υποστήριζε την συγκεκριμένη ιδιότητα επιφανειών (διαπερατότητας του φωτός) και η οποία παράλληλα ήταν δυνατό να μεταφερθεί στο τρισδιάστατο περιβάλλον της εφαρμογής μας.

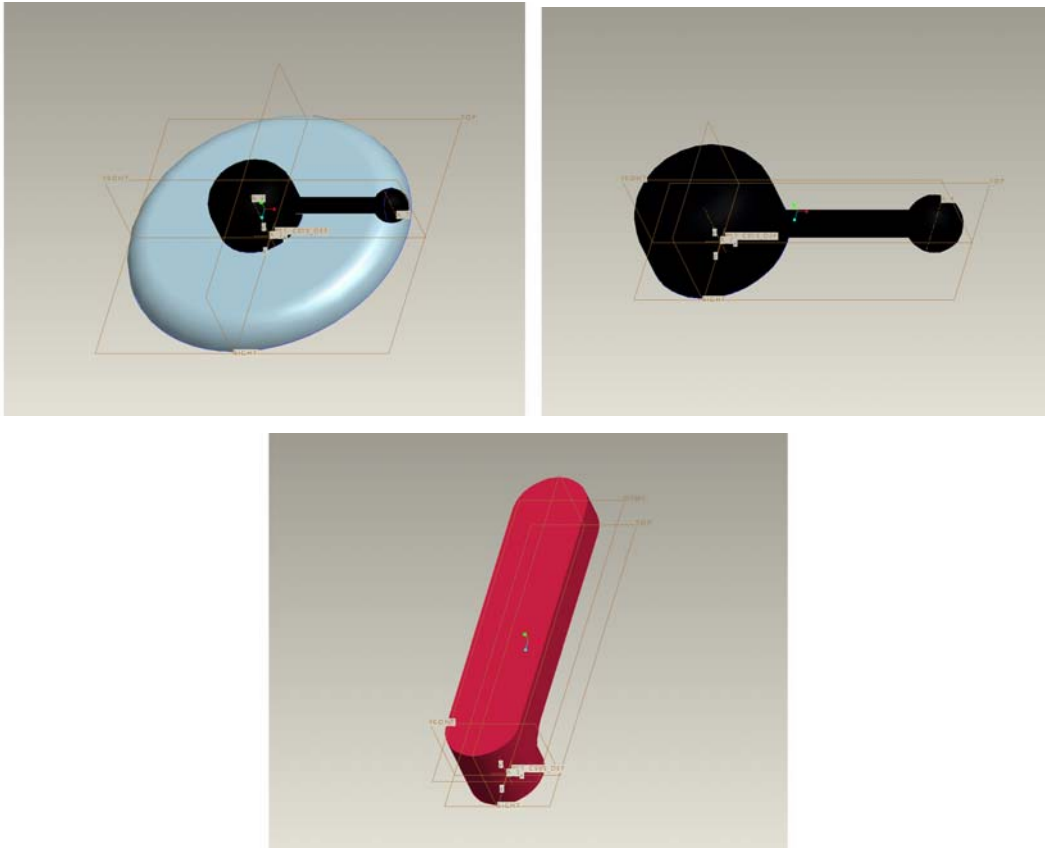


Σχήμα 7.4: Σχεδιασμός πόρτας θαλάμου κενού (AutoCAD)

Η σχεδίαση του εν λόγω μοντέλου βασίστηκε στον σχεδιασμό με χρήση εντολών σχεδίασης βασικών τρισδιάστατων γεωμετρικών σχημάτων (Box). Πρώτα έγινε ο σχεδιασμός του τζαμιού της πόρτας (με βάση σύστημα συντεταγμένων με δοθείσα αρχή των αξόνων πάνω σε μια ακμή της), ακολούθως ο σχεδιασμός των δύο μεντεσέδων της πόρτας (με χρήση απόλυτων συντεταγμένων ως προς την αρχή των αξόνων) και τέλος του χερουλιού ανοίγματος της πόρτας (με χρήση βασικών ιδιοτήτων τρισδιάστατων στερεών πραγματοποιήθηκε αφαίρεση στερεών – Modify / Solids Editing / Subtract). Δοθείσης της ευκαιρίας σχεδιασμού του συγκεκριμένου κομματιού σε άλλο λογισμικό πέρα του ProEnginner, είχαμε μια πρώτη τάξεως ευκαιρία να συγκρίνουμε τον τρόπο σχεδίασης ενός τρισδιάστατου μοντέλου με χρήση δύο διαφορετικών λογισμικών σχεδίασης. Το λογισμικό ProEngineer Wildfire παρουσιάζεται αισθητά πιο φιλικό στην χρήση προσφέροντας επίσης μικρότερους χρόνους σχεδίασης, κάτι που οφείλεται κυρίως στην παραμετρική φιλοσοφία σχεδίασης του.

γ.) σχεδιασμός κινούμενων μερών θαλάμου κενού

Στην τρισδιάστατη εφαρμογή μας είναι απαραίτητο να επιδείξουμε την ικανότητα σχετικής κίνησης κάποιων μερών ως προς τα υπόλοιπα κομμάτια του μοντέλου σχεδίασης. Αυτό επιτυγχάνεται με την διάσπαση σε μικρότερα κομμάτια του μοντέλου, έτσι ώστε να είναι εφικτή η σχετική μετατόπιση ή περιστροφή του ενός κομματιού σε σχέση με το άλλο. Η τεχνική αυτή ονομάζεται Part Assembly, και είναι ευρέως διαδεδομένη σε όλες τις εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας. Στην περίπτωση μας, εκτός από τον ξεχωριστό σχεδιασμό της πόρτας του θαλάμου προβήκαμε στον ξεχωριστό σχεδιασμό των δύο μοχλών κινήσεως (αναδευτήρα και μηχανισμού συγκράτησης και κλίσης του κουβά μίξεως του υλικού) και της βαλβίδας σταθεροποίησης του θαλάμου κενού. Ο σχεδιασμός των συγκεκριμένων υπομοντέλων ήταν απλοϊκός και δεν είναι απαραίτητο να περιγραφεί περαιτέρω.

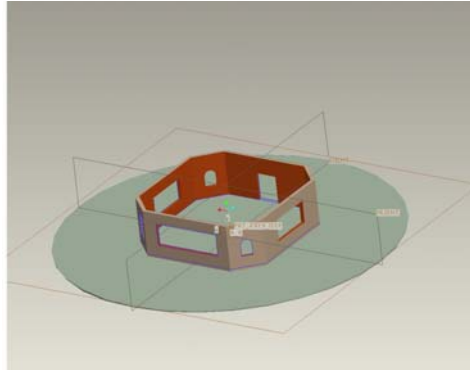


Σχήμα 7.5: Σχεδιασμός κινούμενων μερών θαλάμου κενού

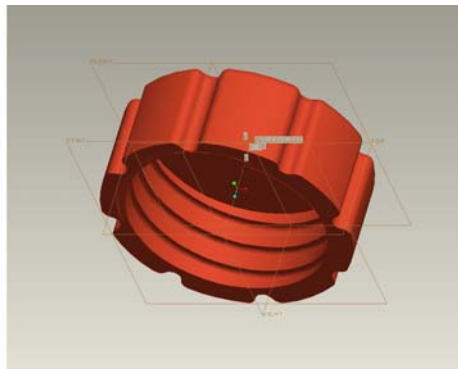
7.4) Σχεδιασμός των υπολοίπων μοντέλων της εικονικής εφαρμογής

Το σύστημα Vacuum Casting ολοκληρώνεται και από άλλα στοιχεία, τα οποίων είναι εξίσου αναγκαία να απεικονιστούν διαμέσου της εφαρμογής VR, προκειμένου να γίνει εφικτή η παρουσίαση του συνόλου της διαδικασίας. Η σχεδιάσή τους πραγματοποιήθηκε και σε αυτά με την βοήθεια του λογισμικού ProEngineer Wildfire, χρησιμοποιώντας σε γενικές γραμμές τις βασικές μόνο εντολές του προγράμματος. Παρακάτω επιδεικνύουμε τα εν λόγω μοντέλα χωρίς να περιγράφουμε τον τρόπο σχεδιασμού τους:

- περιβάλλον χώρος και κτίριο που φιλοξενεί την εφαρμογή (εικονικό εργαστήριο)



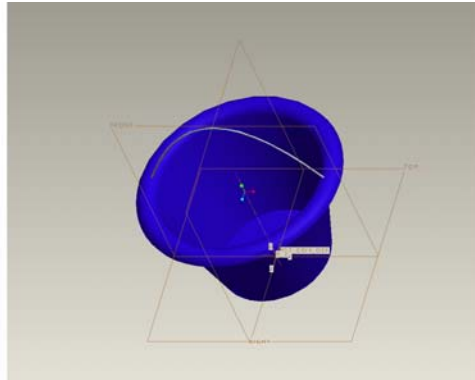
- καπάκι φιαλών που περιέχουν τα απαραίτητα συστατικά για την διεξαγωγή του Vacuum Casting



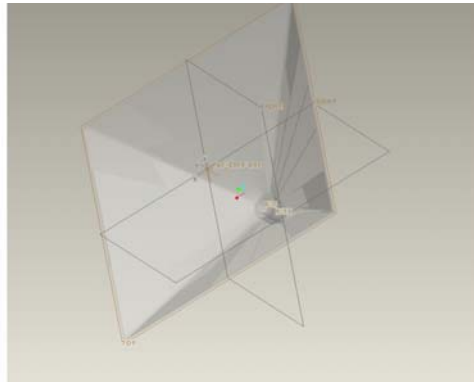
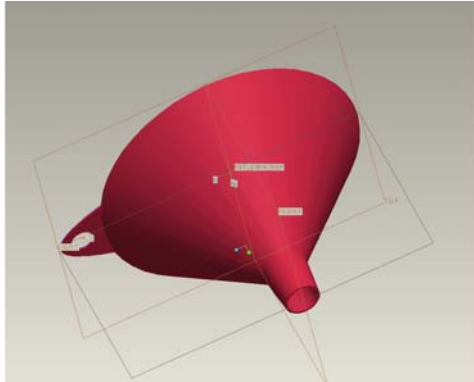
- φιάλες που περιέχουν τα απαραίτητα συστατικά για την διεξαγωγή του Vacuum Casting



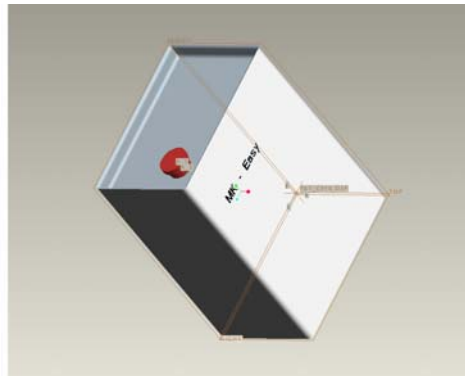
- κουβάς μέσα στον οποίο γίνεται η μίξη των βασικών συστατικών



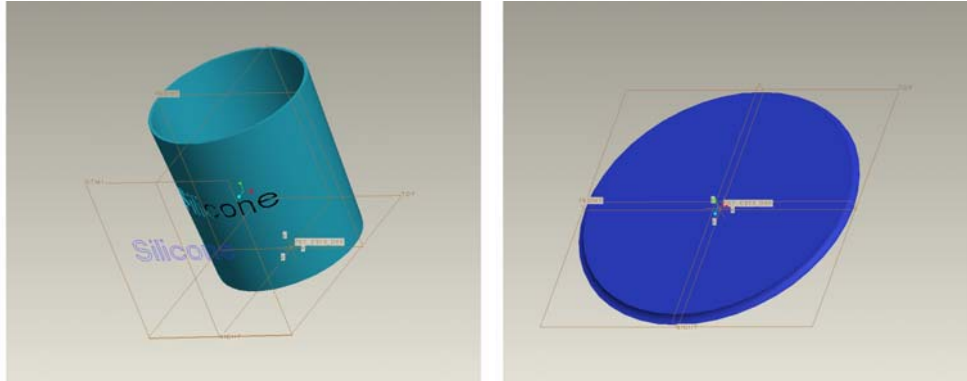
- μικρό χωνί το οποίο χρησιμεύει για την μεταφορά του μίγματος μέσα στο καλούπι (δύο διαφορετικά μοντέλα, ανάλογα με την χρήση)



- μεταλλικό δοχείο που περιέχει διάφορα διαλυτικά για την μίξη των βασικών συστατικών



- κουβάς που περιέχει το βασικό συστατικό (σιλικόνη) για την παραγωγή καλουπιών



Εκτός από τα προαναφερθέντα κύρια μοντέλα ήταν αναγκαίο να προβούμε και στην εισαγωγή κάποιων βοηθητικών μοντέλων τα οποία θα συμπλήρωναν την προσομοίωση της εφαρμογής μας. Τα εν λόγω μοντέλα εισήχθησαν απευθείας στην εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας, αφού προηγουμένως είχαν ανεβρεθεί από το διαδίκτυο σε ειδικές βάσεις δεδομένων 3D αντικειμένων. Τα περισσότερα από αυτά έχουν απλά ένα διακοσμητικό ρόλο στην εφαρμογή, γεγονός πάντως όχι αμελητέο καθώς βοηθά τον χρήστη να εντυφώσει ακόμα περισσότερο στο εικονικό περιβάλλον. Παράλληλα, κάποια από αυτά (κυρίως εργαλεία) αποτελούν κομμάτι της διαδικασίας Rapid Tooling και η παρουσία τους στην εφαρμογή κρίνεται απαραίτητη.

8.1) Εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας – Προσομοίωση του Vacuum Cast Molding με την βοήθεια του λογισμικού Sense8 World Up

Το λογισμικό World Up της Sense8 έχει πίσω του μια μακροχρόνια ιστορία ανάπτυξης, όπου με την πάροδο του χρόνου εμφανίζεται διαρκώς βελτιωμένο και με περισσότερες δυνατότητες. Μέχρι σήμερα, η εταιρία Sense8 έχει παρουσιάσει πέντε (5) διαφορετικές εκδόσεις του λογισμικού, οι οποίες παρόλο που αναπτύσσουν ουσιαστικά την πρωταρχική φιλοσοφία του προγράμματος, εντούτοις έχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στο εργαστήριο σχεδιασμού με χρήση Η/Υ (Cadlab) του Πολυτεχνείου Κρήτης είναι διαθέσιμη η έκδοση **World Up release 4**, στην οποία έχουν επίσης περιληφθεί όλα τα βελτιωτικά Patches (8) που υπάρχουν για αυτήν. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι η πιο πρόσφατη έκδοση του λογισμικού είναι η πέμπτη (release 5), όπου ουσιαστικά αποτελεί μια πιο φιλική προς τον χρήστη αναβάθμιση της προηγούμενης εκδόσεως, χωρίς να εμπλουτίζει σημαντικά τις δυνατότητες του προγράμματος.

Το συγκεκριμένο λογισμικό Εικονικής Πραγματικότητας σε σύγκριση με αντίστοιχες ανταγωνιστικές εφαρμογές άλλων εταιριών παραθέτει πολλά δυνατά στοιχεία. Αυτά είναι:

- Κορυφαία οπτική αναπαραγωγή των μοντέλων CAD που εισάγονται στην εφαρμογή.
- Ελάχιστες δυσλειτουργίες/ καταρρεύσεις του λογισμικού
- Πολύ φιλικό περιβάλλον εργασίας, το οποίο παρουσιάζεται σε παραθυρική μορφή με δυνατότητες λειτουργιών Drag and Drop.
- Υποστήριξη των κυριότερων και δημοφιλέστερων περιφερειακών VR που κυκλοφορούν στην αγορά.
- Υποστήριξη των περισσότερων μορφών αρχείων γεωμετρικών σχημάτων CAD (.up, .nff, .bff, .3ds, .wrl, .flt, .dxf, .obj)
- Δυνατότητα προγραμματισμού με χρήση βασικών εντολών της Visual Basic για την εκτέλεση ειδικών λειτουργιών και αλλαγής ιδιοτήτων των αντικειμένων της εφαρμογής.

Η φιλοσοφία λειτουργίας του World Up βασίζεται στην ύπαρξη μιας αλυσίδας ιδιοτήτων υπό τον κόμβο VBase, η ιεραρχία του οποίου παρουσιάζεται στο παράθυρο Type Browser. Από αυτό το παράθυρο είναι εφικτό ο χρήστης να επέμβει σε κάθε παράμετρο της εφαρμογής, απλά επιλέγοντας με το ποντίκι τον κόμβο που επιθυμεί. Όταν δύναται να εισαχθεί ή να δημιουργηθεί μια καινούργια παράμετρος, αυτό πραγματοποιείται πολύ απλά μέσω των τεσσάρων κουμπιών που βρίσκονται πάνω από το παράθυρο Type Browser (Create Object, Create Subtype, Duplicate Object/ Children). Κάθε νέα παράμετρος θεωρείται ως ένα νέο Object που εισάγεται στην εφαρμογή μας. Εάν δημιουργήσουμε ένα Subtype αυτό σημαίνει ότι το καινούργιο αντικείμενο που θα δημιουργηθεί θα έχει τις ίδιες ιδιότητες με το μητρικό του. Οι επιλογές Duplicate χρησιμεύουν για την γρήγορη αναπαραγωγή κάποιων αντιγράφων μοντέλων με τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά των μητρικών.

Οι ιδιότητες που αναφέρονται σε αυτό είναι οι παρακάτω:

- *Motion Link*: απεικονίζονται όλες οι διασυνδέσεις των γεωμετρικών μοντέλων ή όψεων (Viewpoint) με τις περιφερειακές συσκευές της εφαρμογής (π.χ. ποντίκι)
- *Node*: απεικονίζονται όλα τα γεωμετρικά μοντέλα που έχουν σχεδιαστεί (με την βοήθεια του Modeler) ή εισαχθεί στην εφαρμογή μας, οι φωτεινές πηγές και κάποιες λειτουργίες του Εικονικού Περιβάλλοντος (Level of Detail, Switcher), καθώς και την συνολική αλυσίδα γεωμετρικών μοντέλων ως οντότητα (Root)
- *Path*: δίνει την δυνατότητα αποτύπωσης (καταγραφής) κάποιων συγκεκριμένων εικόνων (frames), τα οποία λειτουργούν ως σύνολο και μπορούν να αναπαραχθούν μέσω προγραμματιστικών εντολών
- *Script*: κώδικας σε Visual Basic για την εκτέλεση συγκεκριμένων λειτουργιών
- *Sensor*: εμφανίζει όλες τις ενεργοποιημένες περιφερειακές συσκευές 3D

- *Sound*: παρουσιάζει τυχόν αρχεία ήχου που είναι προγραμματισμένα να ακουστούν σε κάποια συγκεκριμένη συγκυρία
- *Universe*: παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες της τρέχουσας εφαρμογής
- *Viewpoint*: παρουσιάζει τις διαθέσιμες όψεις που έχει ορίσει ο χρήστης
- *W2W Network*: εργασίες που εκτελούνται μέσω του Διαδικτύου
- *Window*: εμφανίζει τις ιδιότητες του χώρου πέρα από τα γεωμετρικά μοντέλα της εφαρμογής (background)

Οι τιμές και οι λεπτομέρειες για την κάθε μια από τις παραπάνω ιδιότητες εμφανίζονται σε ένα άλλο παράθυρο στο κάτω αριστερό άκρο της οθόνης της εφαρμογής μας (Properties Window) με τέσσερις καρτέλες επιλογής (All, Dynamic, User, Construction). Ο χρήστης επιλέγοντας οποιαδήποτε από τις ιδιότητες που αναφέραμε στο παράθυρο Type Browser μπορεί να ελέγξει ή να μεταβάλλει (όπου αυτό είναι εφικτό) τις τιμές τους, καθώς και να τους αναθέσει κάποια συγκεκριμένη εργασία (Event) η οποία ενεργοποιείται μέσω κάποιου προγραμματιστικού σεναρίου.

Στο τρίτο παράθυρο της οθόνης της εφαρμογής μας με την ονομασία Scene Graph Browser εμφανίζονται σε μορφή κλάδων όλα τα γεωμετρικά αντικείμενα και οι φωτεινές πηγές που έχουμε εισάγει ή δημιουργήσει (μέσω του Modeler) στην εφαρμογή μας. Το παράθυρο αυτό υποστηρίζει την λειτουργία Drag and Drop (όπως και το παράθυρο Type Browser), και έτσι είναι εφικτό ένα γεωμετρικό αντικείμενο να διαθέτει και την δική του ιεραρχία, όντας επικεφαλής σε μια νέα ιεραρχική αλυσίδα. Σε αυτήν την περίπτωση οποιαδήποτε αλλαγή συμβεί στις ιδιότητες του πρωταρχικού αντικείμενου της ιεραρχίας επηρεάζει ανάλογα και τις ιδιότητες των αντικειμένων που έπονται από αυτό. Να σημειώσουμε εδώ ότι όσο αφορά τις φωτεινές πηγές (Light) της εφαρμογής μας παίζει μεγάλη σημασία η ακριβής θέση τους στην σειρά της ιεραρχίας του Scene Graph Browser, καθώς επενεργούν (φωτίζουν) μόνο στα αντικείμενα που βρίσκονται κάτω από αυτές.

Στην κορυφή της εφαρμογής μας υπάρχουν δύο βασικές γραμμές εργαλείων, στις οποίες ο χρήστης έχει στην διάθεσή του όλες τις εντολές του λογισμικού. Η πρώτη και κυριότερη από τις γραμμές έχει την μορφή κυλιόμενου μενού εντολών ανοίγοντας ένα νέο παράθυρο με συσχετιζόμενες εντολές, ενώ η δεύτερη (η οποία περιέχει ένα υποσύνολο των εντολών της πρώτης) έχει την μορφή γρήγορα προσβάσιμων εικονιδίων τα οποία ενεργοποιούν τις πιο βασικές από τις εντολές του λογισμικού.

Στο δεξιό και μεγαλύτερο κομμάτι της οθόνης μας εμφανίζεται το παράθυρο DevWindow, το οποίο ουσιαστικά είναι το παράθυρο όπου απεικονίζεται η εφαρμογή μας στο Εικονικό Περιβάλλον VR. Ουσιαστικά, πρόκειται για την αναπαραγωγή του τρέχοντος Viewpoint που έχουμε ορίσει ως ενεργό μέσω του αντίστοιχου κόμβου. Στην κορυφή του παραθύρου βρίσκουμε μια ακόμη γραμμή εργαλείων από την οποία μπορούμε να ενεργοποιήσουμε τον τρόπο εργασίας μας στο εικονικό περιβάλλον (πλοήγηση ή επιλογή αντικειμένων) και κάποιες ακόμη εντολές προβολής. Με το πάτημα των κουμπιών του ποντικιού μέσα σε αυτό το παράθυρο έχουμε την δυνατότητα περιήγησης προς όλες τις διευθύνσεις του εικονικού περιβάλλοντος, και ενεργοποιώντας την επιλογή Run Simulation το παράθυρο DevWindow καταλαμβάνει το σύνολο της διαθέσιμης επιφάνειας της οθόνης μας.

8.2) Διαδικασίες κατασκευής της εφαρμογής μας

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέραμε τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάσαμε τα γεωμετρικά μοντέλα της εφαρμογής μας. Επίσης, πέρα από τα σχεδιασμένα από εμάς μοντέλα, θα εισαχθούν στην εφαρμογή μας και κάποια άλλα τα οποία έχουν προέλθει αυτούσια από βάσεις δεδομένων του Διαδικτύου που διανέμουν τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα.

8.2.1) Εισαγωγή των γεωμετρικών μοντέλων στην εφαρμογή

Μετά το ξεκίνημα της εφαρμογής μας στο λογισμικό World Up και αφού δημιουργήσουμε ένα καινούργιο Εικονικό Περιβάλλον (Universe) και το

αποθηκεύσουμε με κάποιο όνομα της επιλογής μας, το πρώτο που κάνουμε είναι να εισαγάγουμε τα γεωμετρικά μας σχήματα μέσα στην εφαρμογή VR. Αυτό πραγματοποιείται επιλέγοντας την εντολή `toggle resources browser`, όπου ανοίγει ένα νέο παράθυρο επιλογών (Resource Browser) παρέχοντάς μας την επιλογή `Add Resource`. Με αυτήν την επιλογή εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο (Open Models Path)) όπου παρουσιάζονται τα διαθέσιμα γεωμετρικά μοντέλα που μπορούμε να εισαγάγουμε στην εφαρμογή μας, αρκεί να είναι σύμφωνα με τους τύπους αρχείων που αναφέραμε σε προηγούμενη ενότητα. Τα μοντέλα δύνανται να εισαχθούν από οποιονδήποτε φάκελο του σκληρού δίσκου ή κάποιας περιφερειακής συσκευής του υπολογιστή μας.

Αφού επιλέξουμε το επιθυμητό μας μοντέλο, ένα ακόμη παράθυρο επιλογών (Resource Parameters) μας ζητάει να ορίσουμε τον βαθμό παραμόρφωσης με τον οποίο θα εμφανίζεται το μοντέλο μας στο εικονικό περιβάλλον σε σχέση με τις αρχικές του γεωμετρικές παραμέτρους. Επίσης, πρέπει να τσεκάρουμε σε ειδικό πλαίσιο εάν θέλουμε το μοντέλο μας να αντιμετωπίζεται ως ένα ενιαίο κομμάτι, ενώ ένα δεύτερο πλαίσιο μας ρωτάει εάν θέλουμε το γεωμετρικό του κέντρο (κέντρο βάρους) να τεθεί ως αρχή των αξόνων του μοντέλου στο περιβάλλον VR. Αφού κάνουμε τις παραπάνω επιλογές, το γεωμετρικό μοντέλο μαζί με την ιεραρχία των κομματιών από τα οποία αποτελείται τοποθετείται αυτόματα ως διαθέσιμη επιλογή στο παράθυρο Resource Browser από όπου μπορούμε να το διαλέξουμε με την βοήθεια του ποντικιού.

Για να το εισάγουμε στην εφαρμογή πρέπει να το μετακινήσουμε με την μέθοδο `Drag and Drop` πάνω στο Scene Graph Browser, όπου έτσι λαμβάνει μια θέση ανάμεσα στην ιεραρχία των γεωμετρικών μοντέλων και των φωτεινών πηγών. Μεγάλη σημασία έχει η θέση όπου θα τοποθετήσουμε το μοντέλο στην ιεραρχική σειρά, καθώς και το αν θα το θέσουμε «δέσμιο» κάποιου άλλου μοντέλου που είναι ήδη τοποθετημένο.

Όπως έχουμε αναφέρει, σημαντική είναι και η θέση του ως προς τις διαθέσιμες φωτεινές πηγές της εφαρμογής, καθώς σε περίπτωση που κάποια από αυτές είναι ψηλότερα τοποθετημένη από το γεωμετρικό μας μοντέλο τότε

δεν θα επενεργεί (φωτίζει) πάνω σε αυτό. Οι διαθέσιμοι τύποι φωτεινών πηγών είναι τρεις: Directed Light, Point Light και Spot Light, με τα ονόματά τους να χαρακτηρίζουν το εύρος φωτισμού που παρέχει η κάθε μία από αυτές.

8.2.2) Τοποθέτηση των μοντέλων στο επιθυμητό σημείο της Εικονικής Εφαρμογής

Το επόμενο στάδιο μετά την εισαγωγή του γεωμετρικού μοντέλου στην εφαρμογή μας είναι η τοποθέτησή του στο σημείο του χώρου που εμείς επιθυμούμε. Το μοντέλο όταν εισάγεται για πρώτη φορά στο περιβάλλον VR καταλαμβάνει μια θέση και περιστροφή ως προς το Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων (Global Coordinates) που σχετίζεται με την σχετική θέση που είχε το κέντρο βάρους του γεωμετρικού μοντέλου από την αρχή των αξόνων στο λογισμικό CAD που σχεδιάστηκε. Η θέση αυτή επηρεάζεται και από την τυχόν παραμόρφωση σε κάποιον από τους τρεις άξονες του συστήματος συντεταγμένων που έχει υποστεί το γεωμετρικό αντικείμενο καθώς εισαγόταν στο εικονικό περιβάλλον. Ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να τοποθετήσουμε το μοντέλο στην επιθυμητή μας θέση είναι επιλέγοντας την εντολή Position Object από το μενού Object. Με τον τρόπο αυτόν, εμφανίζεται ένα παράθυρο με τρεις διαθέσιμες καρτέλες επιλογών (Location, Orientation και Scale), μέσω των οποίων μπορούμε να τοποθετήσουμε, να περιστρέψουμε ή να παραμορφώσουμε το αντικείμενο με βάση τις προτιμήσεις μας. Το συγκεκριμένο παράθυρο διαθέτει επίσης την επιλογή οι όποιες αλλαγές μας να γίνονται σε σχέση με το Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων ή σε ένα σχετικό σύστημα συντεταγμένων ως προς κάποιο από τα ήδη τοποθετημένα αντικείμενα. Σε περίπτωση όπου ένα αντικείμενο διαθέτει δέσμιό του σε χαμηλότερη ιεραρχία ένα άλλο αντικείμενο, οποιαδήποτε μετακίνηση, περιστροφή ή παραμόρφωση του πρώτου θα επηρεάσει και το δεύτερο ανάλογα.

Η τοποθέτηση των αντικειμένων στο χώρο γίνεται σύμφωνα με τις πραγματικές τους διαστάσεις και την ανάγκη απόδοσης αληθοφάνειας και πιστότητας στην εφαρμογή μας. Λόγω επίσης της ανάγκης παρουσίασης δυνατότητας κίνησης κάποιων κομματιών από τα γεωμετρικά μας μοντέλα,

προβήκαμε στον ξεχωριστό τους σχεδιασμό και στην εισαγωγή τους στο περιβάλλον VR ως ξεχωριστές οντότητες (όπως έχουμε ήδη περιγράψει σε ξεχωριστή ενότητα). Μετά από την κατάλληλη τοποθέτησή τους σε θέση όπου διαφαίνονται ως ένα ενιαίο κομμάτι με τα κυρίως γεωμετρικά μοντέλα, με τρόπο που θα περιγραφεί παρακάτω θα αποδώσουμε σχετική κίνηση ή περιστροφή στα κινούμενα αυτά μέρη, απολαμβάνοντας το επιθυμητό οπτικό αποτέλεσμα.

8.2.3) Εισαγωγή μιας 3D περιφερειακής συσκευής και ενεργοποίησή της

Το εργαστήριο μας όπως αναφέραμε σε προηγούμενη ενότητα διαθέτει ένα σύνολο περιφερειακών συσκευών VR, οι οποίες μπορούν να αναβαθμίσουν σε πολύ μεγάλο βαθμό το επίπεδο αληθοφάνειας και ευχρηστίας της εφαρμογής μας. Δυστυχώς, λόγω της σχετικής παλαιότητας της χρησιμοποιούμενης εκδόσεως του World Up δεν ήταν δυνατό να ενεργοποιηθούν στην εφαρμογή μας όλες οι διαθέσιμες συσκευές. Έτσι, το Data Glove 16 της 5DT δεν χρησιμοποιήθηκε κατά την προσομοίωση εξαιτίας της ασυμβατότητας των δεκαέξι αισθητήρων του γαντιού με το λογισμικό (το οποίο μπορούσε να υποστηρίξει μόνο μέχρι οκτώ).

Ο τρόπος με τον οποίο εισάγεται μια περιφερειακή συσκευή στο λογισμικό είναι σχετικά απλός και στηρίζεται στην αρχή της δημιουργίας ενός νέου αντικειμένου αισθητήρα (Sensor) από τους διαθέσιμους που αναφέρονται στο παράθυρο Type Browser υπό τον κόμβο Sensor. Ο χρήστης, επιλέγοντας την συγκεκριμένη συσκευή που τον ενδιαφέρει και αφού πρώτα την έχει συνδέσει στον υπολογιστή, επιλέγει το κουμπί Create Object και ένα ηχητικό σήμα τον ενημερώνει ότι η συσκευή είναι τώρα ενεργή. Παράλληλα, κάτω ακριβώς από τον κόμβο της συγκεκριμένης συσκευής θα εμφανιστεί ένας καινούργιος κλάδος όπου θα αναφέρεται το όνομα (το οποίο εμείς έχουμε προσδιορίσει) τις συγκεκριμένης συσκευής. Εάν ο χρήστης επιλέξει τον συγκεκριμένο κλάδο, στο παράθυρο Properties θα εμφανιστούν όλες οι ιδιότητες της περιφερειακής συσκευής.

Η ενεργοποίηση μιας περιφερειακής συσκευής πρέπει να συνοδεύεται και από την ανάθεση σε αυτήν κάποιας συγκεκριμένης όψεως ή κάποιου γεωμετρικού αντικειμένου, έτσι ώστε σε οποιαδήποτε εντολή της περιφερειακής

συσκευής να συμβαίνει και κάποια ανάλογη αλλαγή της οπτικής γωνίας (όταν έχει ανατεθεί στην περιφερειακή συσκευή μια όψη) ή κάποια ανάλογη μετακίνηση του αντικειμένου (όταν της έχει ανατεθεί ένα αντικείμενο). Η ανάθεση σε μια περιφερειακή συσκευή μίας όψεως ή ενός αντικειμένου πραγματοποιείται με πολύ απλό τρόπο, από το μενού του Type Browser. Αφού έχουμε ήδη ενεργοποιήσει την συσκευή όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο, επιλέγουμε τον κλάδο όπου αναφέρεται η περιφερειακή συσκευή (υπό τον κόμβο Sensor), και από το μενού Object της κύριας γραμμής εντολών επιλέγουμε την εντολή Edit MLink Targets. Ένα νέο παράθυρο εμφανίζεται στην οθόνη μας, που περιλαμβάνει άλλα δύο υπό-παράθυρα, από αριστερά το Linked Targets και από δεξιά το Potential Linked Targets. Το πρώτο παράθυρο (αριστερό) αναφέρεται στην τρέχουσα ανάθεση της περιφερειακής συσκευής (οπτική γωνία ή γεωμετρικό αντικείμενο) ενώ το δεξιό αναφέρεται στις υπάρχουσες δυνατότητες ανάθεσης (οπτικών γωνιών ή γεωμετρικών αντικειμένων). Επιλέγοντας με την βοήθεια του ποντικιού από το δεξιό παράθυρο την επιθυμητή ανάθεση, μένει μόνο να την μεταφέρουμε στο παράθυρο Linked Targets με την εντολή Add. Αυτομάτως, εμφανίζεται στο αριστερό παράθυρο ή νέα επιλεγμένη ανάθεση για την περιφερειακή συσκευή.

8.2.4) Άλλες λειτουργίες του προγράμματος

Διαλέγοντας στο μενού Type Browser τον κόμβο Viewpoint, εμφανίζονται όλες οι διαθέσιμες όψεις που έχουν δημιουργηθεί στην εφαρμογή μας. Στην περίπτωση που ενδιαφερόμαστε να δημιουργήσουμε μια νέα όψη στην εξομοίωση μας, πρέπει να εφαρμόσουμε μια διαδικασία ανάλογη όπως ενεργήσαμε και σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. εισαγωγή περιφερειακής συσκευής). Απλά, επιλέγουμε Create Object από τον κόμβο Viewpoint και στο νεοεμφανισθέν παράθυρο αποδίδουμε το όνομα της αρεσκείας μας για την καινούργια όψη. Αργότερα, μπορούμε να αναθέσουμε την όψη αυτή σε μια συγκεκριμένη περιφερειακή συσκευή ή μέσω συντάξεως ενός προγραμματιστικού σεναρίου να εμφανίζεται σε μια συγκεκριμένη συγκυρία.

Στον κόμβο Path του μενού Type Browser μπορούμε να δημιουργήσουμε τις δικές μας επιλεγμένες αλληλουχίες στιγμιότυπων (frames) οι οποίες μπορούν να προβληθούν ως ένα σύνολο διαδοχικών εικόνων, προσομοιώνοντας στην ουσία μια «βιντεοσκόπηση» κινήσεων. Τα Path αυτά μπορούμε με την χρήση προγραμματιστικού κώδικα να τα προβάλουμε σε κάποια συγκεκριμένη στιγμή της εφαρμογής μας, αποκτώντας έτσι ένα σημαντικό εργαλείο προσομοίωσης. Τα Paths είναι πολύ χρήσιμα όταν ο χρήστης επιθυμεί:

- την δημιουργία μιας καθορισμένης περιήγησης στον χώρο για λόγους προβολής της εφαρμογής του
- όταν επιθυμεί να μετακινήσει κάποιο γεωμετρικό αντικείμενο στον χώρο κατά μια συγκεκριμένη αλληλουχία κινήσεων
- όταν θέλει να προσομοιώσει ένα γεγονός ή μια κατάσταση σε μια συγκεκριμένη στιγμή της εφαρμογής, το οποίο γεγονός θα ενεργοποιείται προγραμματιστικά ως αποτέλεσμα κάποιας αλλαγής των παραμέτρων του συστήματος ή λόγω επιθυμίας του χρήστη.

Για να δημιουργήσουμε ένα Path ακολουθούμε την γνωστή μέθοδο που έχουμε περιγράψει, δηλαδή διαλέγοντας με το ποντίκι τον κόμβο Path στο παράθυρο Type Browser επιλέγουμε Create Object, και αποδίδουμε στο νέο Path ένα όνομα της αρεσκείας μας. Έπειτα, από την κύρια γραμμή εργαλείων και από το μενού Object επιλέγουμε Edit Path και ένα νέο παράθυρο εμφανίζεται στην οθόνη μας με το όνομα Path Browser. Σε αυτό το παράθυρο μας δίνεται η δυνατότητα να θέσουμε τον στόχο (Target) του Path, να «βιντεοσκοπήσουμε» με την μέθοδο Frame by Frame το επιθυμητό μας Path αλλά και να αναπαράγουμε τα ήδη δημιουργηθέντα Paths.

Από την κύρια γραμμή εργαλείων εάν επιλέξουμε την εντολή Set Object Task εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο χωρισμένο σε δύο ομάδες με την ονομασία Edit Task List. Στην δεξιά ομάδα μπορούμε να δούμε τα προγραμματιστικά σενάρια (Scripts) τα οποία είναι διαθέσιμα για τις εφαρμογές μας. Η πηγή προέλευσης αυτών των σεναρίων είναι κάποιοι φάκελοι αρχείων, οι οποίοι έχουν επιλεγεί να είναι οι μόνοι από τους οποίους θα παρέχονται κάποια Scripts για οποιαδήποτε εφαρμογή του World Up. Τα σενάρια αυτά είναι στην ουσία

προγραμματιστικός κώδικας που συνθέτεται στον Compiler του προγράμματος, και έχει ως στόχο την πραγματοποίηση ορισμένων σύνθετων λειτουργιών που ξεπερνούν τις ήδη διαθέσιμες από το World Up. Η χρησιμοποιούμενη γλώσσα προγραμματισμού είναι η Visual Basic, η οποία έχει εμπλουτιστεί και με αρκετές ειδικές εντολές του World Up. Τα συνταχθέντα αυτά σενάρια μπορούμε να τα ενεργοποιούμε χειροκίνητα όταν εμείς το επιθυμούμε μέσα σε κάποια εφαρμογή (Run Script), αλλά οι πραγματικές τους δυνατότητες ξεδιπλώνονται όταν έχουν ανατεθεί σε οποιαδήποτε κόμβο του μενού Type Browser. Η ανάθεση αυτή πραγματοποιείται όταν από την δεξιά ομάδα του παραθύρου Edit Task List μετακινήσουμε ένα σενάριο με μορφή αρχείου (.ebs) στην αριστερή ομάδα (Task List). Το μετακινηθέν αυτό σενάριο ορίζει στο αντικείμενο κάποιες συγκεκριμένες ενέργειες που του έχουν ανατεθεί και μπορεί να πραγματοποιηθούν όταν εκπληρώνονται κάποιες συνθήκες (π.χ. Ανίχνευση Συγκρούσεων). Στην περίπτωση της δικής μας εφαρμογής έχουμε συνθέσει αρκετά σενάρια τα οποία επιδρούν πάνω σε διάφορα γεωμετρικά μοντέλα της εφαρμογής μας, είτε αυτόματα με την έναρξη της εφαρμογής είτε μετά από επιλογή του χρήστη.

Στην περίπτωση όπου μας ενδιαφέρει να προσθέσουμε στην εφαρμογή μας κάποιον ήχο, τότε ανατρέχουμε στον κόμβο Sound του μενού Type Browser. Επιλέγοντας Create Object, δίνουμε ένα όνομα της αρεσκείας μας για τον καινούργιο ήχο και ακολούθως εμφανίζεται ένα παράθυρο επιλογής αρχείων από το οποίο μπορούμε να ανοίξουμε κάποια αρχεία ήχων. Το επιλεγμένο αρχείο ήχου μεταφέρεται υπό την μορφή καινούργιου κλάδου του κόμβου Sound στο μενού Type Browser με την ονομασία που εμείς του προσδώσαμε. Με την χρήση κάποιου κατάλληλου Script μπορούμε να αναπαράγουμε αυτό το αρχείο ήχου ως αποτέλεσμα κάποιου Event (γεγονότος) που θα συμβεί στην εφαρμογή μας.

Η οπτική γωνία από την οποία μπορούμε να βιώσουμε την εφαρμογή μας (τα λεγόμενα Viewpoints) παρουσιάζονται στον κόμβο Viewpoint του μενού Type Browser. Ως προεπιλογή, το World Up μας προσφέρει ένα Viewpoint που ελέγχεται από το ποντίκι μας, το οποίο είναι τοποθετημένο στην αρχή των αξόνων με μηδενική διεύθυνση. Εάν μας ενδιαφέρει, με το μενού MLink μπορούμε να αναθέσουμε αυτό το Viewpoint και σε κάποια άλλη περιφερειακή

συσκευή. Επίσης, με την μεθοδολογία Create Object είναι δυνατό να δημιουργήσουμε πολλά ακόμη Viewpoints (με ποικίλη αρχική θέση και διεύθυνση), τα οποία μπορούν να ανατεθούν ξεχωριστά σε κάποια περιφερειακή συσκευή.

8.3) Προβλήματα - Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Κατά την εφαρμογή όλων των παραπάνω διαδικασιών που περιγράψαμε, αντιμετωπίσαμε κάποια σημαντικά **προβλήματα**, όπως:

1. Η εφαρμογή μας αποδείχθηκε πολύ «βαριά» για τις δυνατότητες ενός μέσου PC, όπως αυτών που διαθέτουμε στο εργαστήριο Cadlab. Το γραφικό περιβάλλον της παρουσίασης είναι το μέγιστο δυνατό επιτρεπόμενο που το σύστημά μας μπορεί να επεξεργαστεί, χωρίς να παρουσιάζει κάποιες δυσλειτουργίες ή καταρρεύσεις. Τον μεγαλύτερο φόρτο εργασίας από κάθε άλλο εξάρτημα του υπολογιστή τον δέχεται η κάρτα γραφικών.

2. Δεν ήταν δυνατή η εισαγωγή όλων των γραφικών μοντέλων που είχαμε στην διάθεσή μας, λόγω ασυμβατότητας της μορφής κάποιων αρχείων με τους αποδεκτούς από το World Up τύπους. Επίσης, σε μερικές περιπτώσεις, κάποιοι αποδεκτοί για το λογισμικό τύποι αρχείων δεν ήταν δυνατόν να εισαχθούν κανονικά, για λόγους που δεν μπορούμε να εξηγήσουμε.

3. Ο αισθητήρας του συστήματος ανιχνεύσεως θέσης (Polhemus Fastrak tracker) που ήταν συνδεδεμένος με το κράνος Εικονικής Πραγματικότητας ενώ ενεργοποιείται κανονικά στο περιβάλλον του λογισμικού, παρουσίαζε αρκετές δυσλειτουργίες με κυριότερη την εμφάνιση αστάθειας στον καθορισμό της ακριβούς θέσης του χρήστη. Αυτό δυσχέραινε κατά πολύ την πλοήγηση του χρήστη στον χώρο και μετά από χρήση αρκετής ώρας του προκαλούσε δυσφορία.

4. Παρόλο που η εισαγωγή της περιφερειακής συσκευής Magellan (3D Mouse) στο περιβάλλον της εφαρμογής μας γινόταν κανονικά, η χρήση αυτής δεν μπορούσε να μας αποδώσει κάποια θετικά αποτελέσματα. Οι δοθείσες εντολές του χρήστη στο Magellan είτε δεν μεταβιβαζόταν σωστά στο λογισμικό,

είτε δεν μεταβιβαζόταν καθόλου. Έτσι, ήταν σχεδόν αδύνατο ο χρήστης να πλοηγηθεί σωστά στο εικονικό περιβάλλον.

5. Δεν έγινε δυνατή η εισαγωγή κάποιων Textures (ταπετσαριών) στο περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας. Αυτό συνέβη διότι το λογισμικό δέχεται μόνο την εισαγωγή Textures τύπου (.tga), τα οποία δεν στάθηκε δυνατόν να αποκομίσουμε δωρεάν από βάσεις δεδομένων του Διαδικτύου.

Παρακάτω παρουσιάζουμε τα τελικά **συμπεράσματα** που αποκομίσαμε επιχειρώντας αυτήν την προσομοίωση VR του Vacuum Cast Molding με την βοήθεια του λογισμικού Sense8 World Up:

1. Κρίνοντας από το τελικό αποτέλεσμα, μπορούμε να πούμε ότι οι αρχικές μας προσδοκίες για την δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εφαρμογής Εικονικής Πραγματικότητας εκπληρώθηκαν στο ακέραιο. Το μοναδικό σημείο όπου παρουσιάζεται μια αδυναμία στην εφαρμογή μας είναι η μη δυνατότητα χρήσης της συσκευής 3D Glove (τρισδιάστατου γαντιού) με την υπάρχουσα έκδοση λογισμικού που διαθέτουμε, κάτι όμως το οποίο ήταν γνωστό εκ των προτέρων. Το πρόβλημα αυτό θα επιλυθεί άμεσα στην περίπτωση όπου το Εργαστήριο μας προμηθευτεί μελλοντικά την αναβαθμισμένη πέμπτη έκδοση του λογισμικού World Up.

2. Η παρούσα εφαρμογή είναι ικανή να αποτελέσει σε μεγάλο βαθμό ένα σημαντικό εκπαιδευτικό εργαλείο για την εκμάθηση της τεχνικής του Vacuum Casting. Ο εκπαιδευόμενος μπορεί να αποκομίσει μια πρώτη εικόνα αλλά και να ενημερωθεί για τον τρόπο λειτουργίας του εξοπλισμού του εργαστηρίου Rapid Tooling, έχοντας παράλληλα και την δυνατότητα εξοικείωσης των χειριστηρίων ελέγχου του. Σημαντική επίσης παράμετρο αποτελεί και το γεγονός ότι ο χρήστης δύναται να χρησιμοποιήσει την εφαρμογή εξ αποστάσεως, μέσω του διαδικτύου.

3. Εκτός από την εκμάθηση της τεχνικής του Vacuum Casting, ο εκπαιδευόμενος απολαμβάνοντας την χρήση των περιφερειακών συσκευών Εικονικής Πραγματικότητας αποκτά και μια σημαντική εμπειρία πάνω στην τεχνολογία Virtual Reality.