

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΜΕ**

# **ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ**

**ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΝΑΖΛΙΔΟΥ**

**ΑΝΤΕΛΙΝΑ ΜΠΟΜΠΑΗ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΤΡΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

**Πύργος, 2015**

## Περιεχόμενα

Εικόνες .....	4
Πίνακες.....	5
Περίληψη .....	6
1 Οι τρισδιάστατοι (3D) εκτυπωτές.....	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Τρόπος λειτουργίας .....	7
1.2.1 Καρτεσιανό ρομπότ .....	7
1.2.2 Θερμοπλαστικός εξωθητής.....	8
1.2.3 Βάση εκτύπωσης.....	9
1.2.4 Γραμμική κίνηση .....	10
1.2.5 Ακραίοι αναστολείς .....	11
1.2.6 Σκελετός κατασκευής.....	12
2 Μοντέλα τρισδιάστατων εκτυπωτών .....	14
2.1 Εισαγωγή.....	14
2.2 RepRaps.....	14
2.2.1 RepRap Mendel.....	14
2.2.2 RepRap Huxley .....	15
2.3 Box Bots .....	16
2.3.1 MakerBot .....	17
2.3.2 MakerGear Mosaic M1 .....	18
2.3.3 ULTIMAKER .....	19
2.4 RepStraps .....	20
2.4.1 whiteAnt CNC.....	20
2.5 Upstarts.....	21
2.5.1 MendelMax και AO-100.....	21
2.5.2 RepRap Wallace και Printrbot .....	23
3 Διαλέγοντας τον κατάλληλο 3D εκτυπωτή .....	25
3.1 Σύνοψη 3D εκτυπωτών.....	25
3.2 Σύγκριση μεγέθους εκτύπωσης.....	26
3.3 Αγορά ή Κατασκευή εκτυπωτή;.....	27
3.3.1 Αγοράζοντας μια συσκευασία .....	27
3.3.2 Φτιάχνοντας έναν 3D εκτυπωτή .....	27
3.3.3 Η τελική επιλογή .....	28
4 Οι εφαρμογές της 3D εκτύπωσης στον πραγματικό κόσμο .....	29
4.1 Δημιουργία πρωτότυπων .....	29

4.2	Σπίτια και σπιτικά .....	32
4.2.1	3D Τούβλα.....	32
4.2.2	Το πρώτο 3D σπίτι.....	34
4.3	Ιατρική.....	35
4.3.1	Εκτυπώνοντας φάρμακα.....	36
4.3.2	Αντικατάσταση άκρων .....	36
4.3.3	Φτιάχνοντας μοντέλα .....	37
4.3.4	Ρομποτικό χέρι.....	38
4.4	Μόδα.....	40
4.4.1	3D σχέδια στην πασαρέλα.....	41
4.4.2	3D παπούτσια .....	42
4.4.3	3D αξεσουάρ .....	43
4.4.4	Κοσμήματα.....	44
4.4.5	3D εκτυπώσεις στο σπίτι.....	44
5	Τα αρνητικά της 3D εκτύπωσης.....	45
5.1	Όπλα.....	45
5.2	ΑΤΜ απάτες .....	46
5.3	Κλειδιά .....	46
5.4	Προσαρμογή του νόμου .....	47
6	Το μέλλον της 3D εκτύπωσης .....	48
6.1	Το υλικό ως ο σημαντικότερος παράγοντας .....	48
6.2	Η 3D εκτύπωση σε 10 χρόνια.....	48
6.3	3D εκτύπωση σε καθημερινή βάση.....	49
7	Συμπεράσματα.....	50
8	Βιβλιογραφία .....	51

## Εικόνες

Εικόνα 1-1 Πως λειτουργεί ο 3D εκτυπωτής (πρωτότυπο μοντέλο Gary Hodgson, 2011) .....	7
Εικόνα 1-2 Ολοκληρωμένος εξωθητής με υποδοχέα νήματος και θερμικό τέλος .....	9
Εικόνα 1-3 Θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης.....	10
Εικόνα 1-4 Αυτό-ευθυγραμμιζόμενα χάλκινα ρουλεμάν πάνω σε ένα Prusa Mendel .....	11
Εικόνα 1-5 Μηχανική ακραίοι αναστολής.....	12
Εικόνα 1-6 MakerGear Mosaic με κόντρα πλακέ σκελετό .....	13
Εικόνα 2-1 MakerGear Prusa Mendel.....	15
Εικόνα 2-2 Huxley της eMAKER (ευγενική χορηγία του Johannes Heberlein, 2011) .....	16
Εικόνα 2-3 Thing-O-Matic της MakerBot (ευγενική χορηγία του Tony Buser, 2011) .....	17
Εικόνα 2-4 Ο Mosaic της MakerGear .....	18
Εικόνα 2-5 Ultimaker (ευγενική χορηγία του Dave Durant, 2011).....	19
Εικόνα 2-6 whiteAnt CNC (ευγενική χορηγία του James Floyd Kelly και του Patrick Hood-Daniel, 2011) .....	21
Εικόνα 2-7 Aleph Objects AO-100 (ευγενική χορηγία της Aleph Objects, 2012) .....	22
Εικόνα 2-8 RepRap Wallace (ευγενική χορηγία Whosawhatsis, 2012) .....	23
Εικόνα 3-1 Σύγκλιση μεγεθών εκτύπωσης .....	26
Εικόνα 4-1 Urbee .....	31
Εικόνα 4-2 Nespresso.....	32
Εικόνα 4-3 Τούβλα σε σχήμα κερήθρας .....	34
Εικόνα 4-4 Η μορφή του πρώτου 3D σπιτιού .....	35
Εικόνα 4-5 Προσθετικό μέλος.....	37
Εικόνα 4-6 Ρομποτικά χέρια .....	38
Εικόνα 4-7 Τρίχρονο παιδάκι φορώντας το ρομποτικό χέρι.....	40
Εικόνα 4-8 3D printing fashion .....	41
Εικόνα 4-9 Δαντελένιο φόρεμα της Iris van Herpen.....	42
Εικόνα 4-10 Παπούτσια της Iris van Herpen .....	43

## Πίνακες

Πίνακας 3-1 Σύνοψη όλων των τρισδιάστατων εκτυπωτών .....	25
---	----

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στους 3D εκτυπωτές και στον τρόπο λειτουργίας τους. Παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι των τρισδιάστατων εκτυπωτών που υπάρχουν τόσο σε πειραματικό όσο και σε εμπορικό στάδιο στις ημέρες μας. Αναλύονται όλα τα επί μέρους τεχνικά στοιχεία των εκτυπωτών αυτών και ο ακριβής τρόπος λειτουργίας τους. Τέλος, δίνονται αναλυτικές εφαρμογές της χρήσης των εκτυπωτών αυτών καθώς και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η αλόγιστη χρήση τους. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα και τις μελλοντικές επεκτάσεις αυτού του τύπου των εκτυπωτών.

# 1 Οι τρισδιάστατοι (3D) εκτυπωτές

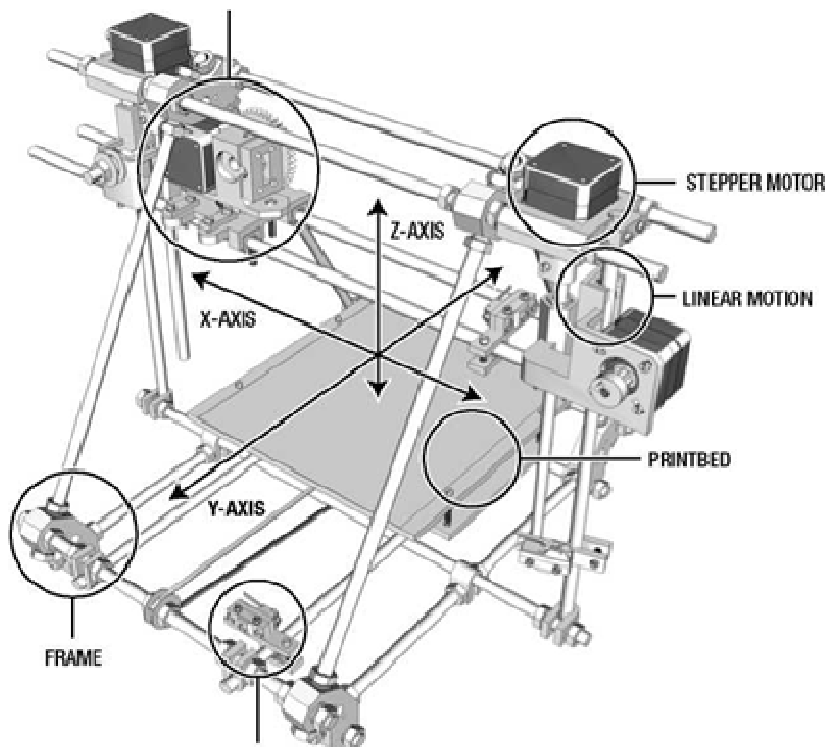
## 1.1 Εισαγωγή

Ο 3D εκτυπωτής είναι ένα μηχάνημα που χρησιμοποιεί μια διαδικασία δημιουργίας ενός φυσικού αντικείμενου τριών διαστάσεων, βασισμένο σε ένα σχέδιο ψηφιακού αρχείου. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που λειτουργεί ο 3D εκτυπωτής, αλλά η κάθε μια από αυτές, με τον δικό της τρόπο, περιλαμβάνει το χτίσιμο ενός αντικείμενου βάζοντας μια στρώση υλικού πάνω σε μία άλλη.

Μπορεί η παραδοσιακή παραγωγή αντικειμένων αρχικά να επιτυγχάνονταν με το σκάλισμα και την απομάκρυνση διάφορων κομματιών ενός υλικού για να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο αντικείμενο, ή μπορεί να συμπεριελάμβανε το ρίξιμο καυτού υγρού υλικού μέσα σε ένα καλούπι, αφήνοντάς το να πάρει την σωστή μορφή, ο 3D εκτυπωτής δουλεύει εντελώς διαφορετικά και φτιάχνει ένα αντικείμενο από την βάση προς την κορυφή. Είναι μια μορφή προσθετικής παραγωγής. Τα αντικείμενα δημιουργούνται προσθέτοντας το υλικό, κομμάτι - κομμάτι και στρώση πάνω σε στρώση μέχρι ή "εκτύπωση" να ολοκληρωθεί.

## 1.2 Τρόπος λειτουργίας

Όλοι οι προσωπικοί 3D εκτυπωτές που θα αναλυθούν στη παρούσα εργασία, μοιράζονται πολλές ομοιότητες ο ένας με τον άλλο, τουλάχιστον στην αρχική δομή τους, παρόλο που μπορεί ο καθένας να προσεγγίζει τα πράγματα πάντα λίγο διαφορετικά. Ακολουθεί παραστατική εικόνα της λειτουργίας του εκτυπωτή.



Εικόνα 1-1 Πως λειτουργεί ο 3D εκτυπωτής (πρωτότυπο μοντέλο Gary Hodgson, 2011)

### 1.2.1 Καρτεσιανό ρομπότ

Κεντρική ιδέα ενός 3D εκτυπωτή είναι το Καρτεσιανό ρομπότ. Αυτό είναι ένα μηχάνημα που μπορεί να κινηθεί σε τρεις γραμμικές κατευθύνσεις, κατά μήκος των αξόνων  $x, y, z$ , επίσης γνωστό ως το Καρτεσιανό επίπεδο. Για να επιτευχθεί αυτού του είδους η κίνηση, οι 3D εκτυπωτές χρησιμοποιούν μικροκινητήρες που μπορούν να κινηθούν με

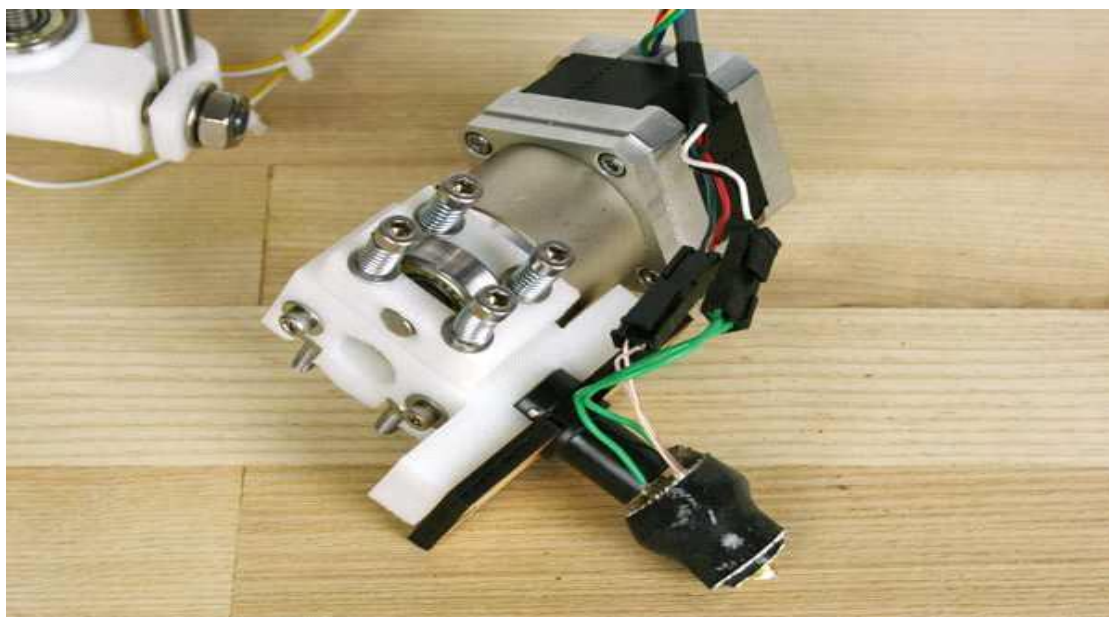
μεγάλη ακρίβεια, συνήθως με 1.8 μοίρες ανά βήμα, η οποία μεταφράζεται στην ανάλυση μίας σειράς από κλάσματα του χιλιοστού μέσω της οποίας φαίνεται ο μοναδικός τρόπος με τον οποίο ελέγχονται οι μικροκινητήρες. Το τριαξονικό ρομπότ λειτουργεί όπως κάθε άλλο ψηφιακά ελεγχόμενο ρομπότ και έχει την δυνατότητα να τοποθετήσει τον θερμοπλαστικό εξωθητή του κατά μήκος των γραμμικών αξόνων για να θέσει μια στρώση πλαστικού πάνω σε μία άλλη. Όλοι οι 3D εκτυπωτές που θα αναφερθούν χρησιμοποιούν χρονικούς ιμάντες και τροχαλίες κατά μήκος των αξόνων x,y για να προσφέρουν γρήγορη και ακριβή τοποθέτηση, και οι περισσότεροι χρησιμοποιούν σπειρωτές ράβδους, ή κοχλίες μάλυβδου, για να τοποθετήσουν τον άξονα z με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια.

Όσο περίπλοκο και να φαίνεται ο παραπάνω τρόπος λειτουργίας, στην πραγματικότητα δεν είναι, όλοι οι 3D εκτυπωτές χρησιμοποιούν συγκεκριμένα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε διάφορες βιομηχανίες. Χρειάστηκε πολλή σκληρή δουλειά όλα αυτά τα χρόνια για να μπορέσουν να καταλάβουν οι δημιουργοί των εκτυπωτών τι δούλευε καλά και τι όχι, καταλήγοντας στους αξιοσημείωτους εκτυπωτές που υπάρχουν διαθέσιμοι σήμερα. Χάρη στην ανοιχτή κοινότητα, αυτά τα σχέδια και αυτές οι βελτιώσεις έχουν μοιραστεί ελεύθερα, βελτιώνοντας την τεχνολογία ολόένα σε μεγαλύτερο βαθμό.

### 1.2.2 Θερμοπλαστικός εξωθητής

Με το καρτεσιανό σύστημα να παρέχει ακριβή γραμμική τοποθέτηση, χρειάζεται ένας εξωθητής ικανός να στρώνει λεπτές λωρίδες θερμοπλαστικού (ένα είδος πλαστικού που θα μαλακώσει σε μια ημι-υγροποιημένη μορφή όταν θα ζεσταθεί). Ο εξωθητής είναι αναμφισβήτητο το πιο πολύπλοκο μέρος ενός 3D εκτυπωτή που ακόμα δέχεται έντονη ανάπτυξη. Στην πραγματικότητα είναι η ένωση δυο στοιχείων – κλειδιών: του οδηγού νήματος και του θερμικού τέλους.





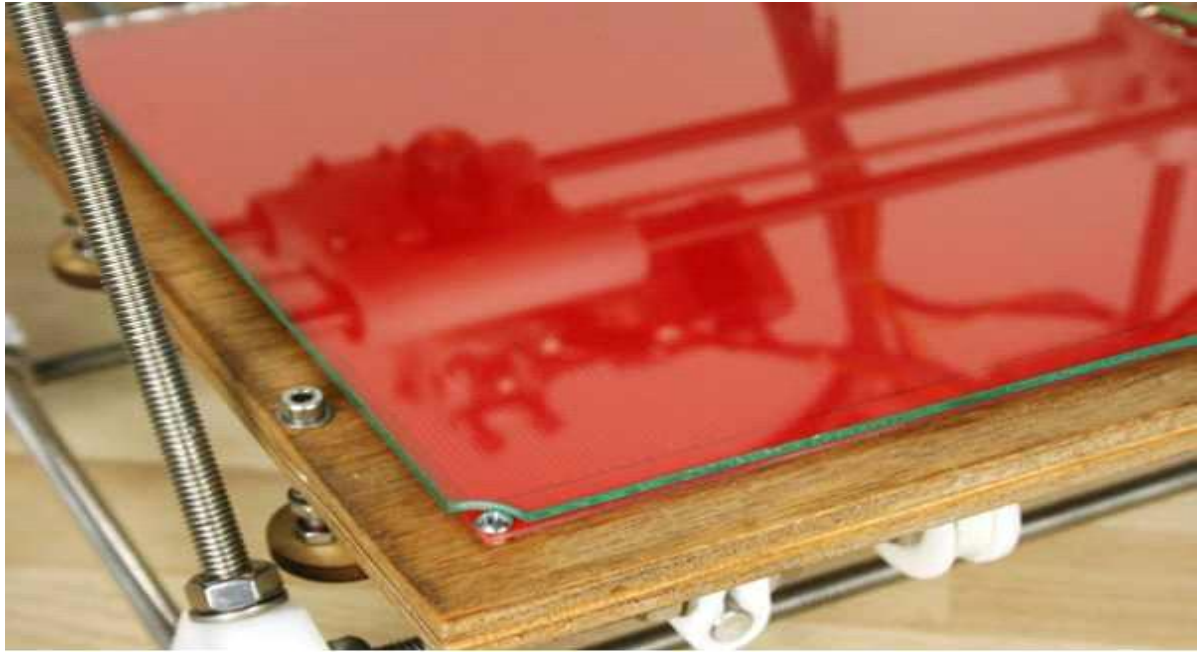
Εικόνα 1-2 Ολοκληρωμένος εξωθητής με υποδοχέα νήματος και θερμικό τέλος

Ο οδηγός νήματος τραβάει μέσα πλαστικό νήμα που είναι συνήθως ομαδοποιημένο σε πηνία με διάμετρο νήματος είτε 3mm ή 1,75mm, χρησιμοποιώντας μηχανισμό εξοπλισμένου οδηγού. Οι περισσότεροι, αν όχι όλοι, σύγχρονοι οδηγοί νήματος χρησιμοποιούν μικροκινητήρα για τον καλύτερο έλεγχο της ροής του πλαστικού μέσα στο θερμικό τέλος. Αυτοί οι κινητήρες είναι συχνά εξοπλισμένοι με αναπόσπαστα γρανάζια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1-2, για να δώσουν στο οδηγό νήματος την δύναμη που απαιτείται για συνεχή εξώθηση.

Το νήμα, αφού τραβηχτεί μέσα στον εξωθητή από τον οδηγό νήματος, καταλήγει στον θάλαμο θέρμανσης ή θερμικό τέλος. Το θερμικό τέλος συνήθως είναι θερμικά μονωμένο από το υπόλοιπο εξωθητή και είναι φτιαγμένο είτε από ένα μεγάλο κομμάτι αλουμινίου με ενσωματωμένη θερμάστρα ή από κάποιο άλλο υλικό με αισθητήρα θερμοκρασίας. Όταν το πλαστικό φτάνει στο θερμικό τέλος, ζεσταίνεται περίπου στους 170°C με 220°C (αναλόγως το πλαστικό που θα εξωθηθεί). Μόλις φτάσει σε ημιυγροποιημένη κατάσταση, το πλαστικό πιέζεται μέσο ενός ακροφυσίου (με το άνοιγμα να έχει διάμετρο περίπου 0,35mm έως 0,5mm), πριν στρωθεί η λεπτή στρώση καυτού πλαστικού πάνω στην βάση εκτύπωσης, σχεδιάζοντας γραμμές που διαμορφώνουν το σχήμα του εκτυπωμένου αντικειμένου.

### 1.2.3 Βάση εκτύπωσης

Η βάση εκτύπωσης είναι η επιφάνεια πάνω στην οποία φτιάχνονται οι 3D εκτυπώσεις. Το μέγεθος της βάσης σχεδίασης διαφέρει από εκτυπωτή σε εκτυπωτή και μπορεί να είναι μεταξύ 4 ιντσών και 8 ιντσών ή και μεγαλύτερο. Οι περισσότεροι, αν και όχι όλοι, προσωπικοί 3D εκτυπωτές στην αγορά προσφέρουν θερμαινόμενη βάση (Εικόνα 1-3), είτε ως βασικό στοιχείο ή ως μια δευτερεύουσα επιλογή, αν και είναι πολύ εύκολο να φτιαχτεί από την αρχή αν χρειαστεί. Η βάση εκτύπωσης χρησιμοποιείται για να αποτρέψει την στρέβλωση ή το ράγισμα των εκτυπώσεων όσο αυτά κρύνουν και να δημιουργήσουν καλύτερη προσκόλληση μεταξύ των πρώτων στρώσεων της εκτύπωσης με την επιφάνειά της βάσης.

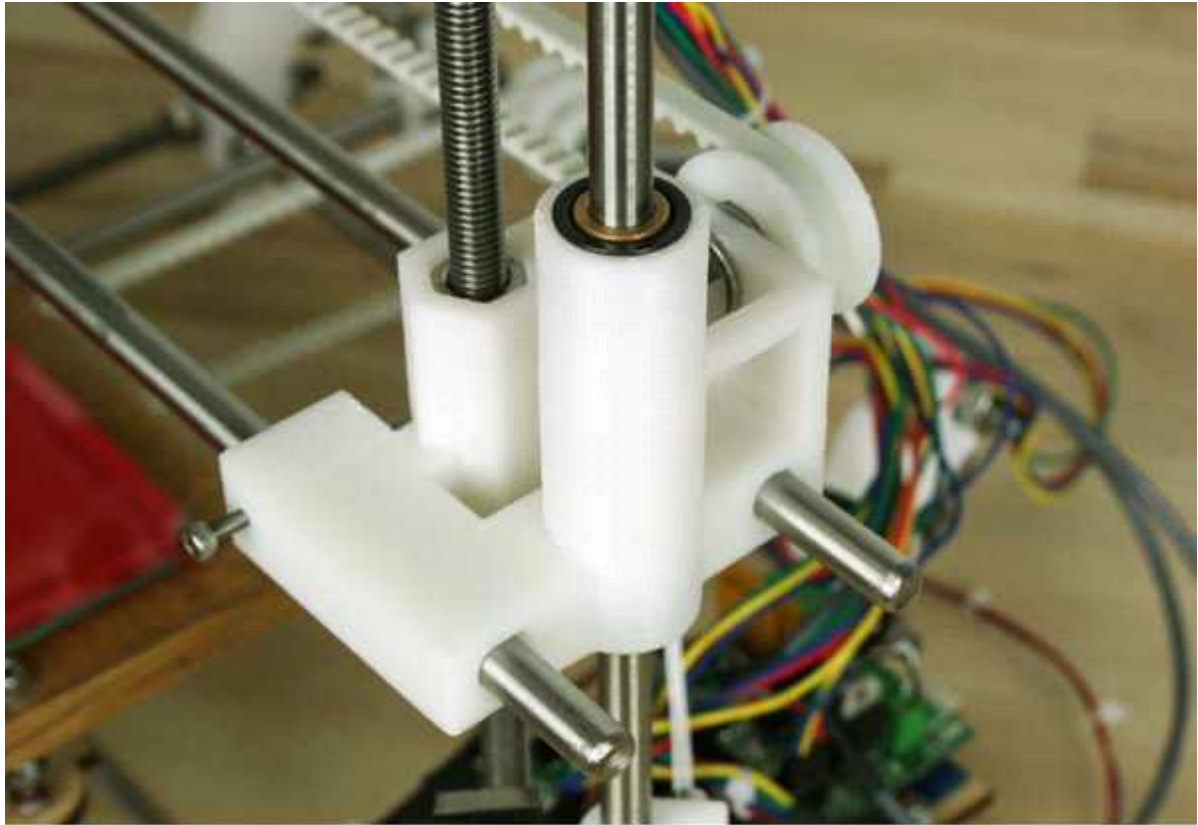


Εικόνα 1-3 Θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης

Η επιφάνεια της βάσης της εκτύπωσης είναι συχνά φτιαγμένη από γυαλί ή αλουμίνιο για την καλύτερη διάχυση της θερμότητας στην περιοχή και για να γίνει η επιφάνεια πιο λεία. Το γυαλί παρέχει την πιο λεία επιφάνεια για την εκτύπωση ενώ το αλουμίνιο άγει καλύτερα την θερμότητα. Για να αποφευχθεί το γλίστρημα του αντικειμένου στην μέση της διαδικασίας της εκτύπωσης, αυτές οι επιφάνειες συχνά καλύπτονται από ένα είδος ταινίας έτσι ώστε αυτή η επιφάνεια να μην είναι ακριβή κατά την αντικατάστασή της. Το υλικό των ταινιών μπορεί να είναι από πολυϊμίδη ή πολυεστέρα, αναλόγως τον τύπο του νήματος που χρησιμοποιείται.

#### 1.2.4 Γραμμική κίνηση

Ο τύπος του συστήματος της γραμμικής κίνησης (ή μηχανική συναρμολόγηση που επιτρέπει στο κάθε άξονα να κινείται) που θα χρησιμοποιηθεί από τον 3D εκτυπωτή, συχνά θα καθορίσει πόσο ακριβής είναι ο εκτυπωτής, ποσό γρήγορα μπορεί να τυπώσει και πόσο πολλή ή λίγη συντήρηση θα χρειαστεί ο εκτυπωτής μακροπρόθεσμα. Οι περισσότεροι προσωπικοί 3D εκτυπωτές χρησιμοποιούν λείους, ακριβείς ράβδους γείωσης για κάθε άξονα και είτε πλαστικά, χάλκινα, γραμμικά ρουλεμάν για να γλιστρούν ανάμεσα από τις ράβδους. Τα συστήματα των γραμμικών ρουλεμάν έχουν αποκτήσει μεγάλη δημοσιότητα τελευταία εξαιτίας της καλύτερης μακροβιότητας και της λειτουργίας σε σχέση με την "ζωή" του εκτυπωτή, αν και συχνά είναι πιο θορυβώδη κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους από τους χάλκινους δακτυλίους όπως για παράδειγμα η ποικιλία των αυτό-ευθυγραμμιζόμενων συστημάτων, οι οποίοι είναι γενικά πιο ήσυχοι αλλά συχνά απαιτούν περισσότερη δυσκολία για να ευθυγραμμιστούν κατά την διάρκεια της διαδικασίας της κατασκευής.

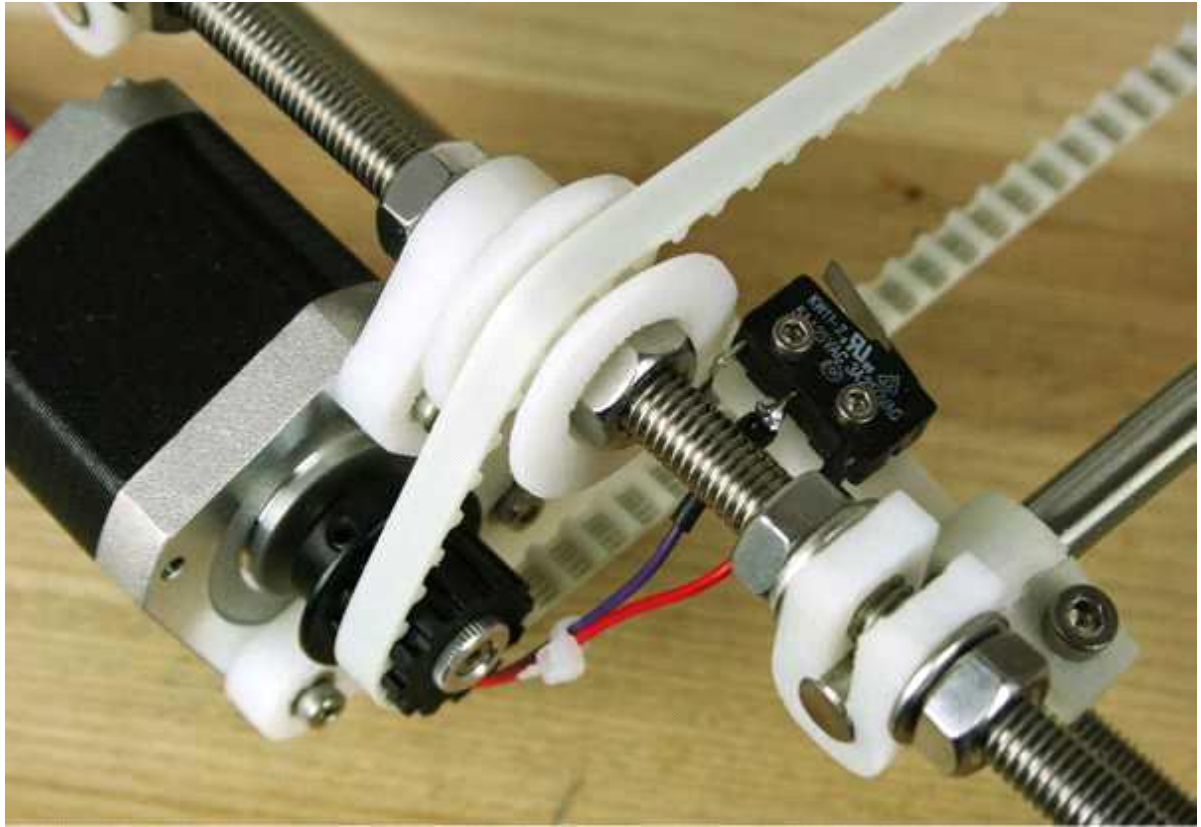


Εικόνα 1-4 Αυτό-ευθυγραμμιζόμενα χάλκινα ρουλεμάν πάνω σε ένα Prusa Mendel

Ο “καλύτερος” τύπος ενός συστήματος γραμμικής κίνησης για ένα 3D εκτυπωτή είναι θέμα προσωπικής άποψης όπως και το είδος του αυτοκινήτου που μπορεί να οδηγήσει κανείς. Οι δακτύλιοι για 3D εκτυπωτές είναι πολύ φθηνοί, αλλά δεν διαρκούν τόσο πολύ. Οι μηχανικοί πλαστικοποιημένοι δακτύλιοι είναι πολύ λείοι και δουλεύουν καλά στον αργοκίνητο άξονα z, αλλά τείνουν να παραμορφώνονται υπό βαριές χρήσεις. Από την άλλη μεριά, η αξιοπιστία των γραμμικών ρουλεμάν που αναφέρθηκαν πριν, εξαρτώνται από την ποιότητα των λείων ραγών που χρησιμοποιούνται, όμως κοστίζουν πολύ περισσότερο. Επίσης, διάφορα εξωτικά υλικά, όπως η τσόχα, έχουν χρησιμοποιηθεί και απέδωσαν ανάμικτα αποτελέσματα. Μερικοί εκτυπωτές χρησιμοποιούν ακόμα και εργοστασιακά γραμμικά ροδάκια που έχουν δυνατότητα για μεγαλύτερη ακρίβεια και μακροβιότητα, παράλληλα με υψηλότερο κόστος και μηχανική περιπλοκότητα.

### 1.2.5 Ακραίοι αναστολείς

Το μήκος κίνησης κάθε γραμμικού άξονα είναι περιορισμένο συνήθως από μηχανικό ή οπτικό ακραίο αναστολέα (Εικόνα 1-5). Οι ακραίοι αναστολείς είναι διακόπτες που λένε στον ελεγκτή ηλεκτρονικών του εκτυπωτή, τότε έχει φτάσει στο όριο στην μια κατεύθυνση της κίνησής του, έτσι ώστε να αποφευχθεί η κίνηση του άξονα πέρα των ορίων του.



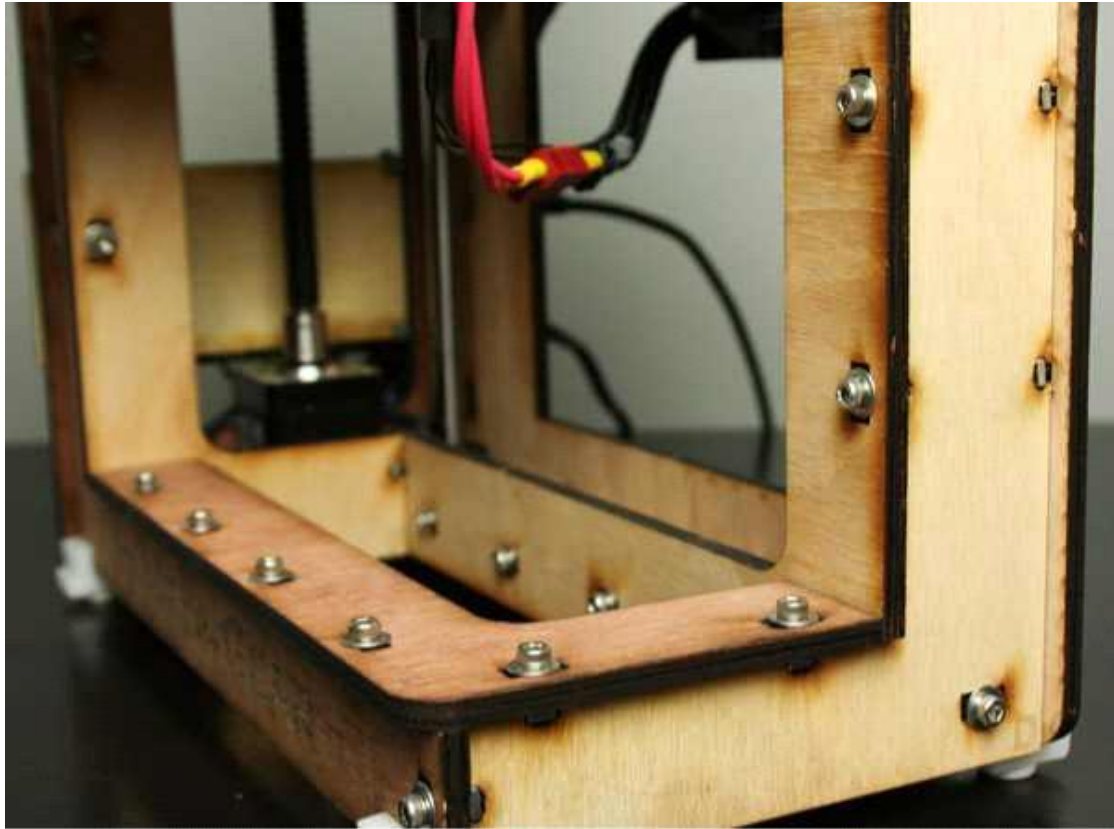
Εικόνα 1-5 Μηχανική ακραίοι αναστολής

Καθώς οι ακραίοι αναστολές δεν είναι αυστηρά απαραίτητοι για την λειτουργία, έχοντας τουλάχιστον ένα τοποθετημένο σε κάθε άξονα, επιτρέπει στον εκτυπωτή να πετύχει επαναλαμβανόμενες και ακριβείς εκτυπώσεις σε κάθε χρήση του.

### 1.2.6 Σκελετός κατασκευής

Στο σκελετό ενσωματώνονται όλα τα συστατικά στοιχεία του 3D εκτυπωτή. Αυτός είναι το δομικό στοιχείο του 3D εκτυπωτή και το υλικό και η κατασκευή του καθορίζουν πολλά για την τελική ακρίβεια του εκτυπωτή. Όλα αυτά τα σχέδια χρησιμοποιούν 3D εκτυπωμένα συστατικά, παράλληλα με σφυρωτή ράβδο και άλλα υλικά για να φτιαχτεί ο σκελετός κατασκευής. Όμως άλλα σχέδια χρησιμοποιούν περικομμένα από λέιζερ κόντρα πλακέ που είναι βιδωμένα μεταξύ τους σχηματίζοντας έτσι τον σκελετό. Τέτοιοι εκτυπωτές για παράδειγμα είναι οι Box Bots όπως ο MakerBot ή ο MakerGear Mosaic (Εικόνα 1-6). (Βασισμένο στο βιβλίο Practical 3D Printers, The Science and Art of 3D Printing του Brian Evans)





Εικόνα 1-6 MakerGear Mosaic με κόντρα πλακέ σκελετό

Ένα σκελετός κόντρα πλακέ χρησιμοποιεί κατασκευή εσοχών, όπου δυο κομμάτια κόντρα πλακέ κρατιούνται μεταξύ τους με το ένα κομμάτι να μπαίνει στην εσοχή του άλλου κομματιού και να είναι ενωμένα με παξιμάδια και βίδες. Τέτοιος τύπος σκελετού είναι γενικά εύκολο να συναρμολογηθεί και προσφέρει καλύτερη αρχική ακρίβεια έτσι ώστε η βαθμονόμηση του εκτυπωτή να είναι ευκολότερη. Παρόλα αυτά, συχνά αυτοί οι σκελετοί είναι πιο θορυβώδεις κατά την διάρκεια της λειτουργίας και στην τελική, όλες αυτές οι βίδες θα χρειαστούν σφίξιμο ξανά. Αντιστρόφως, οι σκελετοί με σπυρωτές ράβδους χρησιμοποιούνται σε πιο ήσυχα μοντέλα αλλά έχουν περισσότερο περίπλοκη συναρμολόγηση και βαθμονόμηση. Αν η προμήθεια των κομματιών ενός 3D εκτυπωτή είναι προσωπική, τότε θα χρειαστεί η συχνή κοπή των ράβδων και η λείανση τους, μια διαδικασία που προστίθεται στην περιπλοκότητα της συνολικής κατασκευής. Τέλος, μερικά από τα πιο πρόσφατα σχέδια για εκτυπωτές χρησιμοποιούν εμπορικό αλουμίνιο για να φτιάξουν τον σκελετό ο οποίος είναι πολύ εύκολος στην συναρμολόγηση, αν και μπορεί να κοστίζει 100 με 200 δολάρια παραπάνω.

## 2 Μοντέλα τρισδιάστατων εκτυπωτών

### 2.1 Εισαγωγή

Υπάρχει ένα ποικίλο και ταχέως αναπτυσσόμενο πεδίο 3D εκτυπωτών, τόσο μεγάλο, που στην πραγματικότητα θα χρειαζόταν ένα ολόκληρο βιβλίο μόνο για την κάλυψη των διαθέσιμων εκτυπωτών που υπάρχουν ως τώρα. Η παρούσα εργασία δεν μπορεί να καλύψει το μεγάλο αριθμό των 3D εκτυπωτών, αλλά στόχο έχει να περιλάβει μια μερικούς από τους πιο διάσημους εκτυπωτές που είναι διαθέσιμοι αυτή την στιγμή. Αυτοί οι εκτυπωτές μπορούν γενικά να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις κυρίως ομάδες:

- οι RepRaps,
- οι Box Bots,
- οι RepStraps και
- οι Upstarts.

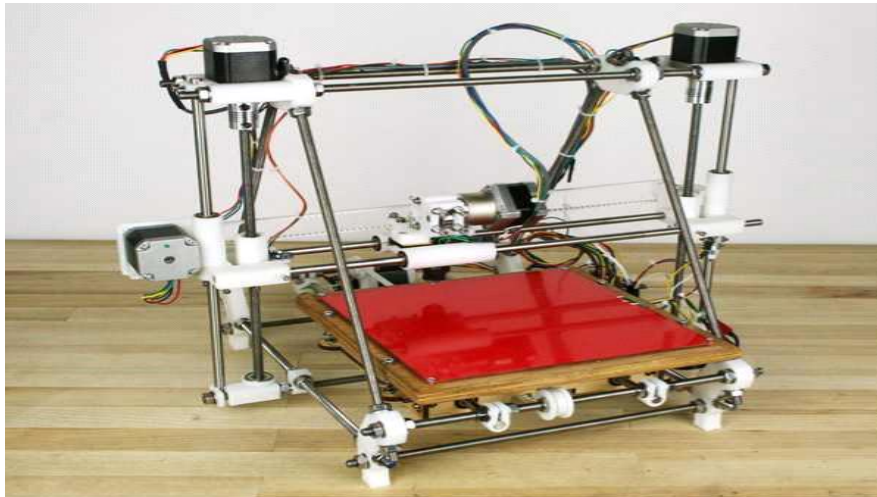
Όλοι οι εκτυπωτές που παρουσιάζονται σε αυτό το Κεφάλαιο μπορούν να αποκτηθούν με 2.000\$ ή λιγότερα σε μορφή συσκευασίας ή μπορεί να προέρχονται από ατομικά εξαρτήματα και προμηθευτές. Όλα τα σχέδια των 3D εκτυπωτών έχουν παραχθεί μέσω εκτεταμένων ερευνών (R&D), με αποτέλεσμα η εταιρεία κατασκευής των εκτυπωτών να μπορεί να δείξει την αξιοπιστία της διαμέσου των μεταπωλητών της. Αν επιλέξει κάποιος να φτιάξει έναν 3D εκτυπωτή από μόνος αντί να αγοράσει ένα συναρμολογημένο θα δει, ότι δεν είναι τόσο δύσκολο, αλλά παρόμοιο με το πως φτιάχνεται ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής.

### 2.2 RepRaps

Ο RepRap αναπτύχθηκε από τον Dr. Adrian Bowyer στο πανεπιστήμιο Bath και είναι ο 3D εκτυπωτής που ξεκίνησε τα πάντα το 2007. Ο πρώτος RepRap (συντομογραφία του "replicating rapid-prototyper") ονομαζόμενος Darwin, ήταν ένας 3D εκτυπωτής ικανός (στην θεωρία τουλάχιστον) να αναπαράγει τον εαυτό του με το να εκτυπώνει τα απαραίτητα κομμάτια για την δημιουργία ενός νέου. Με τον σχεδιασμό ενός λειτουργικού 3D εκτυπωτή χρησιμοποιώντας κομμάτια που εκτυπώθηκαν από 3D εκτυπωτή (μολονότι αυτά τα κομμάτια εκτυπώθηκαν από ένα ακριβό βιομηχανικό μηχάνημα στην αρχή) μαζί με συγκαταβατικό υλικό, ο RepRap έσπασε το φράγμα της τιμής των βιομηχανικών 3D εκτυπωτών. Με τον Darwin, ο RepRap ξεκίνησε την επανάσταση των 3D εκτυπωτών, η οποία από τότε εξελίσσεται συνεχώς.

#### 2.2.1 RepRap Mendel

Ο Darwin τελικά αντικαταστάθηκε από ένα δεύτερης γενιάς RepRap ονομαζόμενο Mendel, ο οποίος τελειοποιήθηκε περεταίρω το 2010 από τον Josef Prusa με το να απαιτεί ο εκτυπωτής λιγότερα κομμάτια, ενώ παράλληλα διατήρησε το περισσότερο μέρος από την λειτουργικότητα του. Αυτό το νέο "απογυμνωμένο" σχέδιο ονομάστηκε Model T των 3D εκτυπωτών. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτού του σχεδίου είναι η λειτουργικότητα του έναντι της όψης του, με αποτέλεσμα να είναι πολύ προσιτό. Μια από τις πιο υψηλής ποιότητας συσκευασίες του Prusa Mendel που είναι διαθέσιμα στην αγορά σήμερα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2-1, παράγεται από την εταιρεία MakerGear ([www.makergear.com](http://www.makergear.com)) που έχει βάση το Οχάιο.



Εικόνα 2-1 MakerGear Prusa Mendel

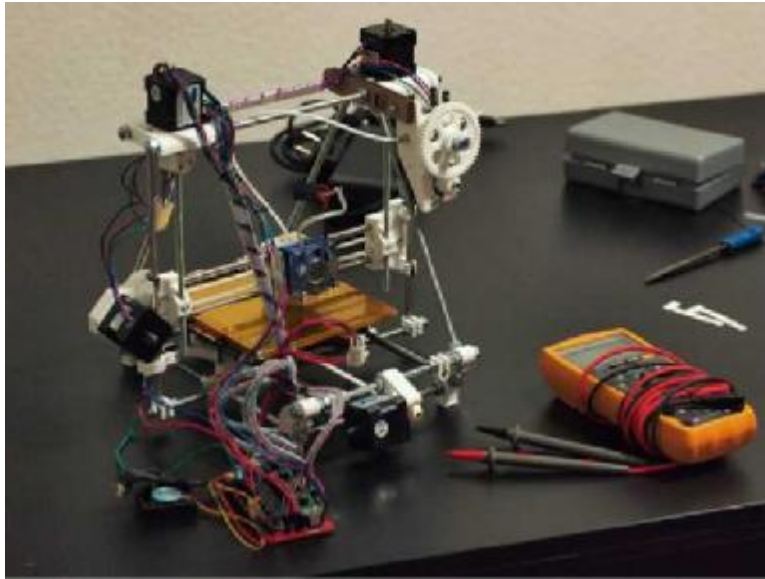
Ο Prusa Mendel είναι ένας χαμηλού κόστους 3D εκτυπωτής που έχει ωφέλιμο όγκο κατασκευής με διαστάσεις 200mm x 200mm x 110mm με σκελετό αποτελούμενο από εκτυπωμένα μέρη, σπυρωτές ράβδους και άλλο υλικό. Ο Prusa Mendel χρησιμοποιεί δυο κινητήρες για τον άξονα Z που είναι τοποθετημένοι παράλληλα για να μειώσει την ποσότητα των κατασκευασμένων μερών όπως τροχαλίες και μάντες χρονισμού. Η MakerGear βελτιώνει το βασικό σχέδιο χρησιμοποιώντας υλικό από ανοξείδωτο ατσάλι, αυτό-ευθυγραμμιζόμενους χάλκινους δακτυλίους για γραμμική κίνηση και μια θερμαινόμενη βάση.

Αν κάποιος ενδιαφέρεται να γλιτώσει κάποια χρήματα από το να έχει όλα τα προηγμένα εξαρτήματα, ο Prusa Mendel μπορεί να είναι ένα από τους λιγότερο ακριβούς εκτυπωτές που μπορεί να αποκτηθεί. Όλα αυτά φυσικά αν κανείς προμηθεύεται από μόνος του το υλικό και μπορεί κάποιος για αυτόν να εκτυπώσει όλα τα πλαστικά εξαρτήματα. Αυτοί οι εκτυπωτές χρειάζονται αρκετά περισσότερο χρόνο από τους υπόλοιπους για να συναρμολογηθούν και να βαθμονομηθούν κατάλληλα, ειδικά αν ο χρήστης προμηθεύεται μόνος του όλα τα εξαρτήματα. Πάντως υπάρχει μια μεγάλη ομάδα από κατόχους Prusa Mendel που είναι πρόθυμοι να μοιραστούν τις γνώσεις τους, τις συμβουλές τους και τις βελτιώσεις τους πάνω στο σχέδιο. Τα ακόλουθα είναι από τα κύρια χαρακτηριστικά ενός εκτυπωτή Prusa Mendel :

- Το μέγεθος της κατασκευής του είναι μεσαίας κατηγορίας
- Με λίγη δουλειά, μπορεί να αποκτήσει γρήγορες ταχύτητες εκτύπωσης
- Πολύ προσιτός αν ο χρήστης του προμηθευτεί δικά του εξαρτήματα
- Απαιτεί πολύ χρόνο για την κατασκευή του και την κατάλληλη προετοιμασία

### 2.2.2 RepRap Huxley

Το σχέδιο Huxley είναι ο μικρότερος και πιο φορητός αδερφός του RepRap Mendel. Αυτή την στιγμή το σχέδιο Huxley, όπως φαίνεται στην εικόνα 2-2, κατασκευάζεται από την εταιρεία RepRapPro (<http://reprappro.com>), και την ομάδα κατασκευής ηγείται ο πρώτος παρασκευαστής του RepRap, Dr. Adrian Bowyer και ο Jean-Marc Jialalone της eMAKER.



Εικόνα 2-2 Huxley της eMAKER (ευγενική χορηγία του Johannes Heberlein, 2011)

Ο Huxley είναι λίγο πιο φθηνός από ότι ο Prusa Mendel, κάτι το οποίο εξαρτάται από το αν κάποιος προμηθεύεται μονός του τα εξαρτήματα ή αν αγοράζει όλο το σετ από κάποιο κατάστημα. Πάντως το μέγεθος και η φορητότητα είναι πιο σημαντικοί παράγοντες από την τιμή για αυτό το συγκεκριμένο σχέδιο. Ο Huxley έχει μεσαίο μέγεθος κατασκευής με διαστάσεις 140mm x 140mm x 110mm. Είναι ένας από τους μικρότερους 3D εκτυπωτές σε συνολικό μέγεθος. Μέσω του συνδυασμού από γραμμικά ρουλεμάν στους άξονες x και y και από μια έξοχη σπυρωτή ράβδο στον άξονα z, ο Huxley είναι ικανός για μερικές εκπληκτικά λεπτομερείς εκτυπώσεις.

Εξαιτίας του μικρού μεγέθους του εκτυπωτή, ο οδηγός νήματος του εξωθητή που συνήθως είναι πάνω στον άξονα x πρέπει να διαχωριστεί από το θερμικό τέλος και να επανατοποθετηθεί στο σκελετό του εκτυπωτή. Για να συνδεθεί ο οδηγός νήματος με το θερμικό τέλος, οι σχεδιαστές χρησιμοποιούν κάτι που ονομάζεται καλώδιο Bowden, ουσιαστικά ένα πλαστικό σωλήνα που ενώνει τον οδηγό νήματος με το μικρότερο θερμικό τέλος στον άξονα x. Αυτός ο σχεδιασμός μπορεί να θεωρηθεί καλός ή κακός, αναλόγως από την οπτική γωνία που θα το δει κάποιος. Το σχέδιο αυτό είτε αποφορτώνει τον περισσότερο όγκο από τον εξωθητή στον άξονα x, επιτρέποντας τον να κινηθεί πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια, ή μπορεί πολύ απλά να προκαλεί προβλήματα στην εξώθηση του πλαστικού εξαιτίας της προστιθέμενης περιπλοκότητας αυτού του σχεδίου και της αυξημένης τριβής στο σωλήνα, με αποτέλεσμα οι εκτυπώσεις να μην είναι μορφολογικά καλές. Τα ακολούθα είναι κάποια από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του RepRap Huxley:

- Ένας από τους μικρότερους διαθέσιμους εκτυπωτές με ένα μεσαίο μέγεθος κατασκευής
- Πιο ακριβές και αξιόπιστο σύστημα γραμμικής κίνησης
- Το καλώδιο Bowden στον εξωθητή είναι είτε πλεονέκτημα είτε μειονέκτημα
- Ο χρόνος που χρειάζεται για να φτιαχτεί και να στηθεί είναι περίπου όσο και ο χρόνος που απαιτείται στο Prusa Mendel

### 2.3 Box Bots

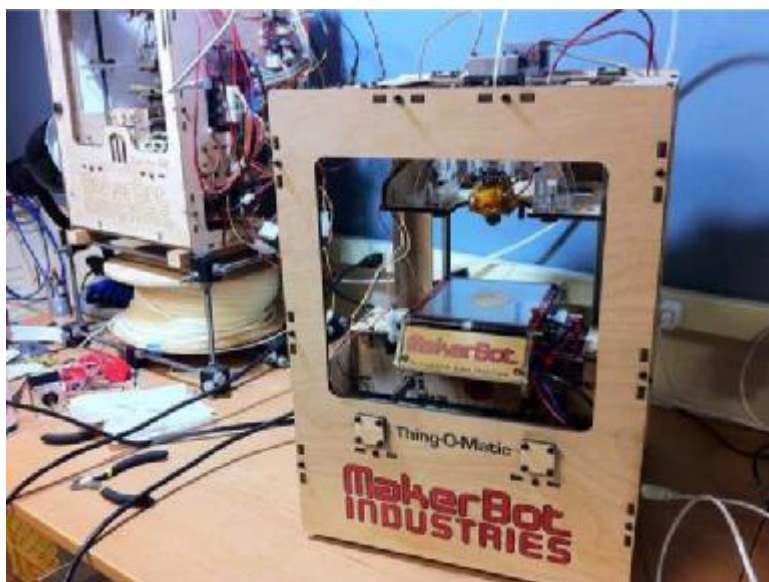
Ενώ η ιστοσελίδα reprap.org κατηγοριοποιεί τους RepRaps εκτυπωτές με βάση το βασικό τους σχέδιο, οι Box Bots εκτυπωτές μπορούν μόνο να ομαδοποιηθούν μαζί εξαιτίας



του κόντρα πλακέ σκελετού φτιαγμένο με βίδες και της μεγάλης τους ακρίβειας εκτύπωσης. Σε αντίθεση με τους RepRaps εκτυπωτές, στους Box Bots τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή του σκελετού δεν είναι δυσεύρετα, με αποτέλεσμα η διανομή τους να είναι ευκολότερη και γρηγορότερη. Επιπλέον η συναρμολόγηση του εκτυπωτή είναι συχνά ευκολότερη από ότι των RepRap, κάνοντας έτσι τον εκτυπωτή ακόμα πιο ακριβή και εύκολο στην βαθμονόμηση. Σε αυτήν την υποενότητα θα αναφερθούν 3 διαφορετικοί τύποι εκτυπωτών φτιαγμένοι από 3 διαφορετικές εταιρείες που φτιάχνουν 3D εκτυπωτές για όλο τον κόσμο.

### 2.3.1 MakerBot

Η βιομηχανία MakerBot (<http://store.makerbot.com>) ήταν η πρώτη, μετά τους RepRap 3D εκτυπωτές, που παρουσίασε μια χαμηλού κόστους και εύκολη στην συναρμολόγηση συσκευασία 3D εκτυπωτή. Το 2009 παρουσίασε τον Cupcake CNC ο οποίος ήταν εμπνευσμένος από τον RepRap Darwin. Ο Cupcake CNC χρησιμοποιούσε σκελετό από κόντρα πλακέ και δομικά υλικά παράλληλα με υλικό που ήταν εύκολο να βρεθεί. Ο δεύτερης γενιάς Thing-O-Matic της βιομηχανίας MakerBot που φαίνεται στην εικόνα 2-3, χαρακτήρισε πολυάριθμες εξελίξεις στον έλεγχο της γραμμικής κίνησης και στην τεχνολογία της εξώθησης.



Εικόνα 2-3 Thing-O-Matic της MakerBot (ευγενική χορηγία του Tony Buser, 2011)

Ο Thing-O-Matic έχει ένα από τα μικρότερα μεγέθη κατασκευής με διαστάσεις 120mm x 120mm x 115mm. Η MakerBot πρόσφατα παρουσίασε ένα τρίτης γενιάς εκτυπωτή, που θα ονομάζεται Replicator και θα έχει μεγαλύτερο μέγεθος κατασκευής με διαστάσεις 225mm x 145mm x 150mm. Καθώς Cupcake CNC και ο Thing-O-Matic προσφέρονταν σε ολοκληρωμένες συσκευασίες και θα μπορούσαν να συναρμολογηθούν σε περίπου μια εβδομάδα, ο Replicator θα είναι ο πρώτος από τους Box Bots που έρχεται πλήρως συναρμολογημένος κατευθείαν από τον παρασκευαστή, μαζί με θερμαινόμενη βάση. Ενώ έχει την δυνατότητα ο Replicator να είναι ο ευκολότερος 3D εκτυπωτής στο στήσιμο και στην εκτύπωση, το κόστος της συναρμολόγησης των τοποθετεί στην κορυφή της κλίμακας με τιμή περίπου 2.000\$.

Όχι μόνο ο Replicator έρχεται συναρμολογημένος από πριν, είναι επίσης ο μοναδικός χαμηλού κόστους 3D εκτυπωτής που έχει ως βασική επιλογή τους διπλούς

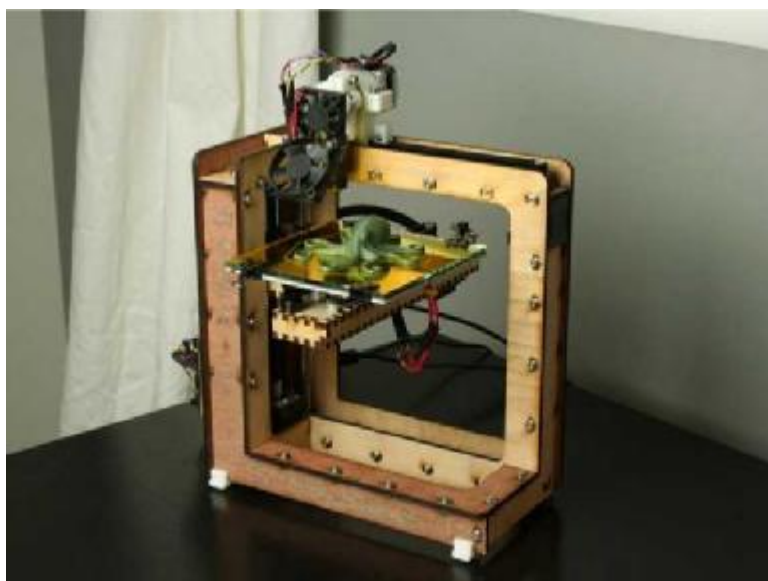
εξωθητές. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν κάποιος να εκτυπώνει χρησιμοποιώντας νήματα δυο διαφορετικών χρωμάτων, ή να τυπώνει πολύπλοκα μέρη ή μη υποστηριζόμενες προεξοχές χρησιμοποιώντας υλικό που υποστηρίζει την διάλυση του νερού. Όλα αυτά έρχονται επιπρόσθετα στο κανονικό πλαστικό νήμα. Ενώ άλλοι εκτυπωτές είχαν για κάποιο καιρό στα σχέδια τους διπλούς εξωθητές, ο Replicator της MakerBot είναι ο πρώτος και ο μοναδικός εκτυπωτής στην αγορά με αυτή την ικανότητα ως βασική επιλογή στη τιμή που προαναφέρθηκε ή και ακόμα πιο χαμηλά.

Με την παραγωγή του Thing-O-Matic να έχει διακοπή και η παραγωγή του Replicator μόλις να έχει ξεκινήσει, ακολουθεί μια σύνοψη της MakerBot η οποία είναι θεωρητική:

- Συναρμολόγηση στο εργοστάσιο δίνοντας την δυνατότητα γρήγορης και άμεσης εκτύπωσης
- Λίγη ή καθόλου βαθμονόμηση, αν και η μακροχρόνια αξιοπιστία είναι άγνωστη
- Επιλογή για διπλό εξωθητή για εκτύπωση δυο χρωμάτων
- Ο πιο ακριβός εκτυπωτής στην επισκόπηση μας και όχι τόσο ευχάριστος όσο το να χτίσουμε μόνη μας

### 2.3.2 MakerGear Mosaic M1

Επιπρόσθετα στη συσκευασία Prusa Mendel που απεικονίστηκε προηγουμένως, η MakerGear παράγει επίσης ένα εύκολο BoxBot, τον Mosaic, που είναι εύκολος στην χρήση και στο στήσιμο και διαθέσιμος στην ιστοσελίδα [www.makergear.com/products/m-series-3d-printers](http://www.makergear.com/products/m-series-3d-printers) (βλέπετε εικόνα 2-4).



Εικόνα 2-4 Ο Mosaic της MakerGear

Αν και ο Mosaic δεν είναι σε γενικές γραμμές ένας BoxBot, παρόλα αυτά χρησιμοποιεί κόντρα πλακέ ως δομικό στοιχείο. Αυτός ο 3D εκτυπωτής έχει ένα πολύ ενδιαφέρον χαρακτηριστικό. Μπορεί να μετακινεί την βάση εκτύπωσης και στους δυο άξονες y και z, με τον άξονα z να χαμηλώνει όσο το αντικείμενο εκτυπώνεται. Το μέγεθος της κατασκευής φτάνει κοντά στο μικρότερο μέγεθος που υπάρχει και έχει διαστάσεις 127mm x 127mm x 127mm, αν και περιλαμβάνει μια θερμαινόμενη βάση ως βασική. Αυτό που κάνει το Mosaic μοναδικό, εκτός της ασυνήθιστης μορφής του, είναι η χρήση με

μηχανικής ακρίβειας γραμμικών οδηγών και ραγών στους άξονες x και y, βίδες μολυβδου επικαλυμμένες με τεφλόν και παξιμάδια ιδιικά σχεδιασμένα για μηχανές CNC. Αυτά τα χαρακτηριστικά δημιουργούν ένα μηχάνημα που είναι λογικώς εύκολο στην συναρμολόγηση και βαθμονόμηση και αρκετά ακριβές την ίδια στιγμή.

Η MakerGear για να κάνει την συναρμολόγηση του Mosaic όσο το δυνατόν λιγότερο επίπονη, συναρμολόγησε από πριν κάποια εξαρτήματα της συσκευασίας και έχει καλωδιώσει όλα τα ηλεκτρονικά έτσι ώστε να μπορέσει να συναρμολογηθεί ο εκτυπωτής, να συνδεθούν τα ηλεκτρονικά και να ξεκινήσει η εκτύπωση άμεσα. Σε σύγκριση με κάποιους άλλους 3D εκτυπωτές που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο, η βαθμονόμηση είναι αρκετά πιο εύκολη και διατηρείται αρκετά περισσότερο, απαιτώντας λιγότερη μακροχρόνια συντήρηση. Όλα αυτά σε ένα εκτυπωτή που πωλείται στο εμπόριο στην μίση τιμή του πιο καινούργιου MakerBot και έρχεται δεύτερος, σε μέγεθος ύστερα από τον Huxley. Τα ακόλουθα είναι κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του MakerGear Mosaic:

- Απαιτεί το λιγότερο χρόνο συστήματος έως την εκκίνηση της εκτύπωσης, από όλους τους συσκευασμένους εκτυπωτές
- Μοναδικό υλικό ακρίβειας για μη επίπονη βαθμονόμηση και μακροχρόνια αξιοπιστία
- Ένα από τα πιο ακριβή συστήματα γραμμικής κίνησης
- Πιο προσιτή συσκευασία BoxBot

### 2.3.3 ULTIMAKER

Αν και ο Ultimaker (<https://shop.ultimaker.com>) δεν υπάρχει χρονικά στην αγορά όσο ο MakerBot και ο MakerGear, η εταιρεία φτιάχνει έναν από τους γρηγορότερους 3D εκτυπωτές στην αγορά, όπως φαίνεται στην εικόνα 2-5.



Εικόνα 2-5 Ultimaker (ευγενική χορηγία του Dave Durant, 2011)

Με διαστάσεις 210mm x 210mm x 220mm ο Ultimaker έχει την μεγαλύτερη επιφάνεια κατασκευής από οποιονδήποτε 3D εκτυπωτή που περιλαμβάνεται στην παρούσα εργασία, παρόλο που η θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης δεν συμπεριλαμβάνεται σε αυτό το σχέδιο. Μοναδικό στοιχείο αυτού του Box Bot είναι η αιωρούμενη θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης, που είναι βασισμένη σε ατσάλινο σκελετό, η οποία μπορεί να κινηθεί σε

απίστευτες ταχύτητες και στους δύο άξονες  $x$  και  $y$ . Για να περιορίσει το βάρος της βάσης εκτύπωσης, ο Ultimaker χρησιμοποιεί καλώδιο Bowden για να αποσυνδέσει τον προωθητή νήματος από το θερμικό τέλος, έχοντας ως αποτέλεσμα μερικά από τα ίδια προβλήματα που υποφέρει και ο RepRap Huxley. Ένα παράδειγμα τέτοιου προβλήματος είναι οι ινώδεις εκτυπώσεις όπου το νήμα δεν ανακαλείται αρκετά γρήγορα όταν η βάση εκτύπωσης μετακινείται από την μια τοποθεσία στην άλλη. Μηχανικά, το χαρακτηριστικό του Ultimaker είναι η πραγματική πληθώρα γραμμικών ρουλεμάν σε κάθε άξονα, το οποίο αυτό χαρακτηριστικό δίδει στον εκτυπωτή γρήγορες ταχύτητες και συνολική αξιοπιστία.

Καθώς το επίτευγμα μηχανικής του Ultimaker παρέχει απίστευτη ακρίβεια, αυτό δεν σημαίνει ότι είναι και προσιτό. Η τιμή του είναι πολύ υψηλή (είναι ένας από τους πιο ακριβούς εκτυπωτές στην αγορά και έρχεται δεύτερος μετά τον MakerBot Replicator) και η συσκευασία του είναι πολύ πιο δύσκολη να συναρμολογηθεί από ότι στους άλλους εκτυπωτές. Όμως μόλις συναρμολογηθεί, ο Ultimaker αποτελεί ένα πολύ αξιόπιστο 3D εκτυπωτή με ελάχιστη μακροχρόνια συντήρηση. Οι εκτυπώσεις που έχουν μοιραστεί διαδικτυακά από τους ιδιοκτήτες των Ultimaker, πολύ απλά εμπνέουν δέος. Παρόλα αυτά οι περισσότερες από αυτές τις υψηλής ποιότητας εκτυπώσεις χρησιμοποιούν μια επιλεκτική κλειστή εφαρμογή του εκτυπωτή, η οποία κοστίζει περίπου 200\$. Τα ακόλουθα είναι κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του Ultimaker:

- Καλύτερη ταχύτητα εκτύπωσης και υψηλότερη ακρίβεια σε οποιαδήποτε συσκευασία εκτυπωτή με εξαιρετική ποιότητα εκτύπωσης.
- Μεγαλύτερη διαθέσιμη περιοχή εκτύπωσης σε ένα σχετικά μικρό σκελετό.
- Η έλλειψη της επιλογής για θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης περιορίζει τα υλικά και το είδος των εκτυπώσεων.
- Η τιμή και η πολυπλοκότητα περιορίζει αυτό τον εκτυπωτή στο να τον αγοράσουν – φτιάξουν μόνο οι φανατική θαυμαστές του.

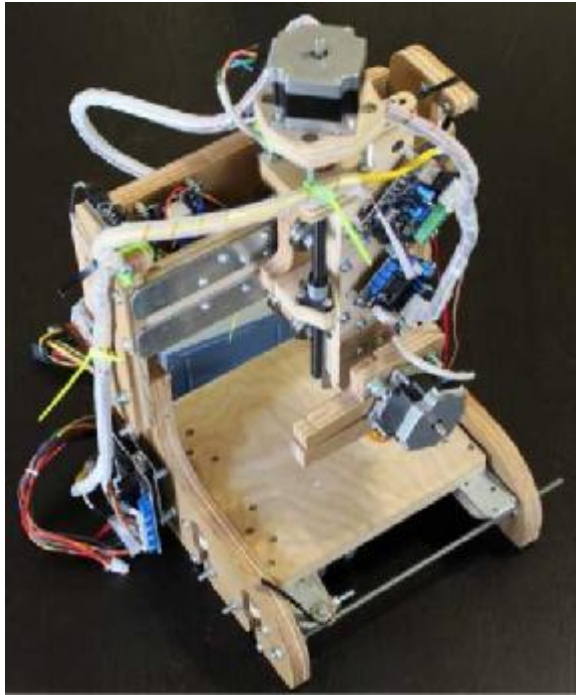
## 2.4 RepStraps

Όταν ο RepRap μόλις είχε ξεκινήσει, τα εκτυπωμένα μέρη του Darwin εκτυπωνόντουσαν με την χρήση ακριβών βιομηχανικών 3D εκτυπωτών, με αποτέλεσμα να μειώνεται η χρήση των προσωπικών 3D εκτυπωτών. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα αναπτύχθηκαν από κοινότητες τα RepStraps (μία ιδιόμορφη ονομασία του RepRap). Αυτά τα μηχανήματα ήταν απλά CNC τα οποία φτιάχτηκαν σε εργαστήρια μέσα σε σπίτι. Ήταν ενσωματωμένα με ένα είδος θερμοπλαστικού εξωθητή, οποίος ήταν ικανός να εκτυπώσει τα μέρη για να φτιαχτεί ένας RepRap εκτυπωτής.

### 2.4.1 whiteAnt CNC

Καθώς πολλοί RepStraps έχουν δημιουργηθεί, ο whiteAnt CNC (βλέπετε εικόνα 2-6), είναι το μοναδικό σχέδιο αυτή την στιγμή υπό ανάπτυξη του οποίου τα σχέδια είναι εύκολα προσβάσιμα και το υλικό του διαθέσιμο. (Βασισμένο στο βιβλίο Practical 3D Printers, The Science and Art of 3D Printing του Brian Evans)





Εικόνα 2-6 whiteAnt CNC (ευγενική χορηγία του James Floyd Kelly και του Patrick Hood-Daniel, 2011)

Οι RepStraps μπορεί να είναι το όνειρο, οποιουδήποτε θέλει να ασχοληθεί με το χτίσιμο ενός 3D εκτυπωτή. Έχοντας ένα μικρό ξυλουργείο στο σπίτι, μερικά βασικά υλικά όπως κόντρα πλακέ και απλό υλικό, μερικά ηλεκτρονικά και μερικούς κινητήρες, όπως και κάποια ελεύθερα σαββατοκύριακα, ο καθένας μπορεί να φτιάξει αυτούς τους 3D εκτυπωτές, από μόνος του με μηδαμινό κόστος. Το σχέδιο του whiteAnt (<http://buildyourcnc.com>) έχει διαστάσεις 160mm x 190mm x 125mm, αν και αυτές οι διαστάσεις μπορούν να τροποποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες του καθενός. Το πραγματικό πλεονέκτημα αυτού του σχεδίου είναι ότι έχει φτιαχτεί για αυτούς, οι οποίοι εκτιμούν περισσότερο την διαδρομή παρά τον προορισμό. Τα ακόλουθα είναι κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του whiteAnt CNC:

- Πολύ φιλικό σχέδιο που επιτρέπει απεριόριστες διαμορφώσεις.
- Παρέχει καλή δικαιολογία για να περάσει κάποιος τις ώρες του, τα σαββατοκύριακα, στο ξυλουργείο του.
- Μεσαίο μέγεθος, αλλά εύκολα επεκτάσιμο.
- Ο περισσότερος χρόνος απαιτείται στην βαθμονόμηση και στην εκκίνηση της λειτουργίας του.

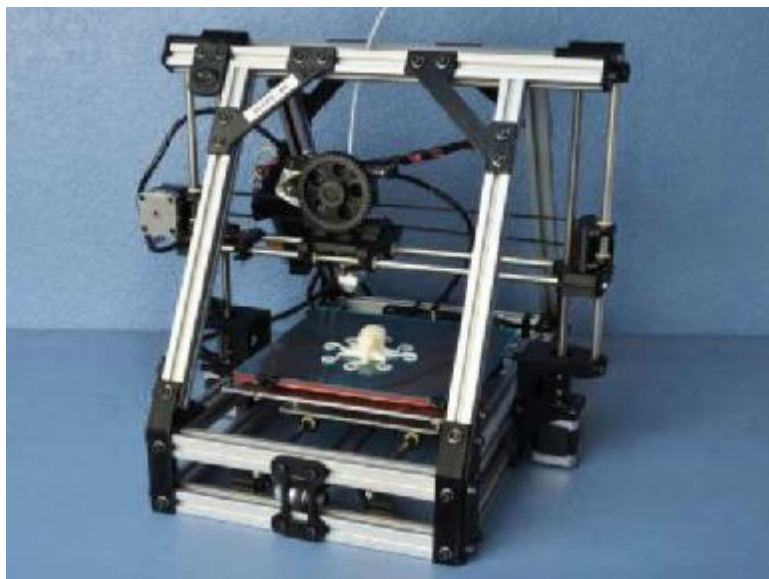
## 2.5 Upstarts

Με όλη την ανάπτυξη που γίνεται στον κόσμο των προσωπικών 3D εκτυπωτών, δεν θα ήταν σωστό να εξαιρεθούν κάποια από τα νέα σχέδια που έχουν προταθεί τον καιρό. Αυτά τα νέα σχέδια, έχουν ονοματιστεί Upstarts ( η μετάφραση σε απλή ελληνική είναι αστέρας) γιατί είναι πολύ υποσχόμενα, αλλά μόνο ο χρόνος θα δείξει κατά πόσο θα αντέξουν τα σχέδια αυτά.

### 2.5.1 MendelMax και AO-100

Εκεί που οι RepRap εκτυπωτές γενικώς χρησιμοποιούν σπυρωτές ράβδους στο σκελετό, κάνοντας τον εκτυπωτή δυσκολότερο να φτιαχτεί και καταλλήλως να βαθμονομηθεί, μια καινούργια γενιά 3D εκτυπωτών χρησιμοποιεί αλουμινένιες εξωθήσεις

για να αντικαταστήσουν τις σπυρωτές ράβδους. Αυτοί οι εκτυπωτές περιλαμβάνουν τον νέο AO-100 από την Aleph Objects (<http://alephobjects.com/ao100.html>), όπως φαίνεται στην εικόνα 2-7, και ο MendelMax σχεδιασμένο από την Maxbots (<http://medelmax.com>).



Εικόνα 2-7 Aleph Objects AO-100 (ευγενική χορηγία της Aleph Objects, 2012)

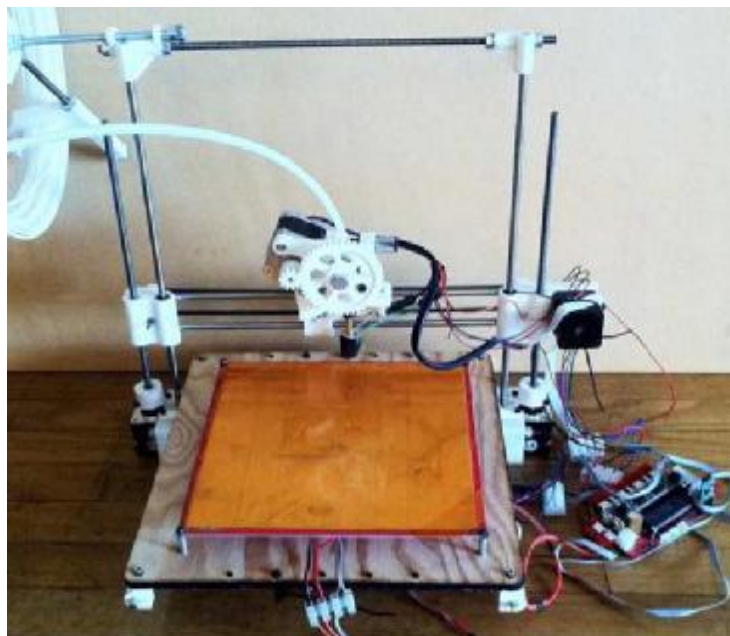
Αυτές οι αλουμινένιες εξωθήσεις έχουν χωρητικότητα  $20\text{mm}^2$  και το μήκος τους είναι κομμένο από τον κατασκευαστή. Έχουν υποδοχές T κατά μήκος της εξώθησης, επιτρέποντας την είσοδο σε ειδικά παξιμάδια, πάνω στα οποία μπορούν να βιδωθούν διάφορα κομμάτια. Αυτές οι εξωθήσεις συχνά χρησιμοποιούνται σε εξαρτήματα δομικών μηχανών, παρέχοντας στον εκτυπωτή πολύ μεγαλύτερη δομική ακαμψία, και γενικώς κάνοντας τον εκτυπωτή ευκολότερο στην συναρμολόγηση. Καθώς αυτό το νέο υλικό προσθέτει στο κόστος ενός βασικού Prusa Mendel, περίπου 100\$ με 200\$, παρόλα αυτά, αυτοί οι εκτυπωτές προσφέρουν αυξημένη ακρίβεια στην εκτύπωση και γρηγορότερες ταχύτητες εκτύπωσης.

Τα μεγέθη των εκτυπωτών διαφέρουν. Ο AO-100 έρχεται συναρμολογημένος από πριν με διαστάσεις της βάσης εκτύπωσης του να είναι  $200\text{mm} \times 190\text{mm} \times 100\text{mm}$ . Ο MendelMax είναι διαθέσιμος ως συσκευασία με μέγιστη βάση εκτύπωσης να είναι  $250\text{mm} \times 250\text{mm} \times 200\text{mm}$ . Ο AO-100 είναι ένας από τους ευκολότερους εκτυπωτές στο στήσιμο και στην εκκίνηση εκτύπωσης γιατί έρχεται συναρμολογημένος από πριν. Ο MendelMax απευθύνεται κυρίως στους λάτρεις της πρόκλησης, αφού ο MendelMax έρχεται με πολύ μεγαλύτερη βάση εκτύπωσης, κάτι το οποίο έχει τις δικές του ιδιομορφίες. Τα ακόλουθα είναι κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά των εκτυπωτών με αλουμινένιες εξωθήσεις στο σκελετό:

- Είναι διαθέσιμα μεγαλύτερα μεγέθη βάσης εκτύπωσης από ότι στον βασικό Prusa Mendel.
- Θεωρητικά περισσότερη ακρίβεια στις εκτυπώσεις από ένα πιο άκαμπτο και συμμετρικό σκελετό.
- Οι σκελετοί με αλουμινένιες εξωθήσεις είναι πιο ακριβοί από ότι ενός Prusa Mendel.
- Γρηγορότερη συναρμολόγηση από το Prusa Mendel, με εκδώσεις που είναι κατασκευασμένες από πιο πριν, να είναι διαθέσιμες.

## 2.5.2 RepRap Wallace και Printrbot

Ένα από τα καθοριστικά στοιχεία των RepRap και Box Bot εκτυπωτών είναι ο μεγάλος γωνιώδης σκελετός που στηρίζει τους 3 ξεχωριστούς άξονες. Ο RepRap Wallace (<http://reprap.org/wiki/Wallace>), όπως φαίνεται στην εικόνα 2-8, και ο Printrbot (<http://printrbot.com/shop/printrbot>) είναι δυο καινούργιοι εκτυπωτές που ριζικά επαναπροσδιορίζουν την εικόνα ενός 3D εκτυπωτή.



Εικόνα 2-8 RepRap Wallace (ευγενική χορηγία Whosawhatsis, 2012)

Αυτό που κάνει αυτούς τους 3D εκτυπωτές τόσο μοναδικούς είναι το σχέδιο του ψευδό-σκελετού και ο χαμηλός αριθμός εξαρτημάτων που είναι απαραίτητα για την κατασκευή τους. Χρησιμοποιώντας δυο κινητήρες στον άξονα z, κατέστη δυνατό να μην χρειάζεται ποια ο τραπεζοειδής σκελετός που χρησιμοποιείται στους άλλους εκτυπωτές (αλλάζοντας την τοποθεσία των κινητήρων, τοποθετώντας τους στο κάτω μέρος του εκτυπωτή και συνδέοντας τις ράβδους του άξονα y στην βάση εκτύπωσης). Το μειονέκτημα αυτού του σχεδίου είναι ότι χωρίς την προστιθέμενη υποστήριξη, αυτοί οι εκτυπωτές πρέπει να τρέχουν πολύ πιο αργά από τους υπόλοιπους, έτσι ώστε να διατηρήσουν μια λογική ποιότητα εκτύπωσης. Ο Printrbot έρχεται με θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης της οποίας οι διαστάσεις είναι 150mm x 150mm x 150mm, ενώ το βασικό σχέδιο του RepRap Wallace αντιστοιχεί με την θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης του Prusa Medel που έχει διαστάσεις 200mm x 200mm x 200mm. Το τελευταίο σχέδιο του RepRap Wallace είναι παραμετρικό και μπορεί να αλλάξει για να δημιουργήσει διαφορετικά μεγέθη εκτυπωτών, είτε μεγαλύτερα είτε μικρότερα. Αν και ο Printrbot πωλείται σε συσκευασία, εξαρτήματα για τον Wallace πρέπει να αγοραστούν από διάφορους προμηθευτές, ενώ τα εκτυπωμένα μέρη πρέπει να εκτυπωθούν από κάποιο φίλο που έχει δικό του 3D εκτυπωτή. Αν αυτά τα σχέδια αντέξουν στο χρόνο, μπορούμε να πούμε ότι βλέπουμε την νέα σοδειά χαμηλού κόστους 3D εκτυπωτών για το πλήθος. Τα ακόλουθα είναι κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά των εκτυπωτών χωρίς σκελετό:

- Εξαιρετικά αποδοτικό σχέδιο το οποίο κάνει μια χαμηλού κόστους συσκευασία 3D εκτυπωτή.

- Εύκολα διαμορφούμενο σχέδιο το οποίο επιτρέπει μια ποικιλία μορφών και μεγεθών.
- Αυτοί οι εκτυπωτές μπορούν πολύ γρήγορα να φτιαχτούν.
- Σε αυτό το σημείο μερικώς αδοκίμαστο και μη αποδειχθέν σχέδιο.



### 3 Διαλέγοντας τον κατάλληλο 3D εκτυπωτή

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο της εργασίας μας, αναφέρθηκαν πολλά είδη και τεχνολογίες 3D εκτυπωτών που χρησιμοποιούνται σε καθημερινές εφαρμογές, οι οποίοι μπορούν να αγοραστούν με λιγότερα χρήματα από ότι ένας καινούργιος φορητός υπολογιστής. Πως μπορεί κάποιος όμως να διαλέξει τον σωστό εκτυπωτή; Πρώτα από όλα, το να διαλέξει κανείς τον κατάλληλο 3D εκτυπωτή είναι μια προσωπική επιλογή ενώ ο καθένας θα πρέπει να λάβει υπόψη του ποιος εκτυπωτής του ταιριάζει καλύτερα, τι είδους κατασκευές θέλει να φτιάξει με τον 3D εκτυπωτή, όπως και πόσο χρόνο επιθυμεί να επενδύσει στην αγορά ή στην κατασκευή του εκτυπωτή. Για να επιλέξει λοιπόν κάποιος, θα πρέπει να συγκρίνει τους εκτυπωτές όσον αφορά τις ταχύτητες, αναλύσεις εκτύπωσης, τα προτιμότερα υλικά και τέλος το κόστος τους. Κατόπιν συγκρίνεται το μέγεθος των βάσεων εκτύπωσης ενώ σημαντικό ρόλο θα παίζει η επιλογή του χρήστη σχετικά με την αγορά συσκευασίας 3D εκτυπωτή ή την κατασκευή ενός 3D εκτυπωτή.

#### 3.1 Σύνοψη 3D εκτυπωτών

Με τόσες πολλές επιλογές και τόσα φιλοσοφικά σχέδια ανάμεσα σε έναν αρκετά μεγάλο αριθμό προσωπικών 3D εκτυπωτών, η επιλογή ενός 3D εκτυπωτή μπορεί να είναι αρκετά δύσκολη. Για την απλοποίηση αυτού, θα πρέπει να γίνει σύγκριση των διαφορετικών τεχνικών χαρακτηριστικών του κάθε εκτυπωτή για να δούμε πως διαφοροποιούνται μεταξύ τους. Ο παρακάτω πίνακας δημιουργήθηκε από τον Luke Chilson και τον Alex English στην Proto Paradigm. (Βασισμένο στο βιβλίο Practical 3D Printers, The Science and Art of 3D Printing του Brian Evans). Ο πίνακας αυτός μας παρέχει μια σειρά από τεχνικά χαρακτηριστικά κάποιων από τους εκτυπωτές που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, περιλαμβάνοντας λεπτομέρειες για το μέγεθος της εκτύπωσης ή την μέγιστη βάση εκτύπωσης τους, την ανάλυση ή το ελάχιστο ύψος του κάθε επιπέδου, την ταχύτητα εκτύπωσης, το προτιμότερο υλικό και την κατά προσέγγιση τιμή του κάθε εκτυπωτή σαν συσκευασία.

Printer	Print Volume (mm)	Resolution	Print Speed	Pref. Material	Price
RepRap Mendel	200 x 200 x 110	0.1mm	150mm/s	3mm PLA	\$830
RepRap Huxley	140 x 140 x 110	0.1mm	150mm/s	1.75mm PLA	\$600
MakerBot Replicator	225 x 145 x 150	0.2mm	45mm/s	1.75mm ABS	\$1,750
MakerGear Mosaic	127 x 127 x 127	0.15mm	75mm/s	1.75mm PLA	\$900
Ultimaker	210 x 210 x 220	0.04mm	300mm/s	3mm PLA	\$1,570
whiteAnt CNC	160 x 190 x 125	0.25mm	35mm/s	3mm ABS	NA
Aleph Objects AO-100	200 x 190 x 100	0.1mm	200mm/s	3mm PLA	\$1,500
Printrbot	150 x 150 x 150	0.3mm	25mm/s	3mm ABS	\$550

Πίνακας 3-1 Σύνοψη όλων των τρισδιάστατων εκτυπωτών

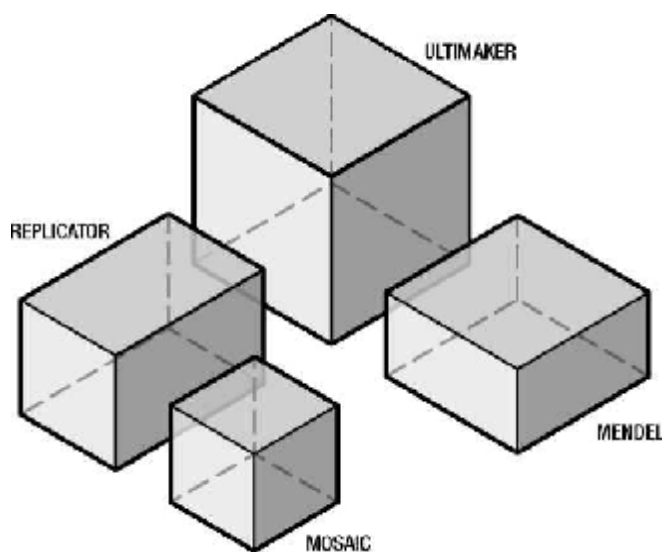
Οι αναλύσεις των επιπέδων και οι ταχύτητες της εκτύπωσης στον παραπάνω πίνακα είναι βασισμένες σε προαναφερόμενα αποτελέσματα τα οποία μπορούν να επιτευχθούν συνεχόμενα με ένα καλοσχεδιασμένο εκτυπωτή, αν και αυτοί οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν μόνο μερικώς την ποιότητα των εκτυπώσεων και τη ποσότητα των εκτυπώσεων οποιουδήποτε μοντέλου εκτυπωτή. Καθώς πολλοί εκτυπωτές δουλεύουν καλά με ABS (ακρυλονιτρίλιο) ή με PLA (πολυγαλακτικό οξύ), το υλικό προτίμησης αντιπροσωπεύει την καλύτερη επιλογή για κάποια συγκεκριμένα μοντέλα. Αυτό οφείλεται είτε στην έλλειψη μιας θερμαινόμενης πλατφόρμας, είτε μια πλατφόρμα αποτυγχάνει να

φτάσει σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία έτσι ώστε να μπορέσει να εκτυπώσει επιτυχώς ABS. Ένας ακόμα λόγος είναι ότι ένας εξωθητής ο οποίος είναι σχεδιασμένος να εκτυπώνει PLA κάνει την διαδικασία πολύ πιο δύσκολη, διότι αν ήταν σχεδιασμένος με άλλο τρόπο θα χωρούσε μόνο ένα μέγεθος νήματος.

Οι παραπάνω ταξινομημένες ταχύτητες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη με κάθε επιφύλαξη, παρ' όλο που αυτοί οι αριθμοί παρέχουν μία αίσθηση του πόσο γρήγορα εκτυπώνει ένας εκτυπωτής. Έτσι, για παράδειγμα, η ταχύτητα εκτύπωσης είναι στην κορυφή των προτεραιοτήτων κάποιου, τότε πρέπει να σκεφτεί να αγοράσει τον Ultimaker ή τον Aleph Objects AO-100. Αν για κάποιον είναι σημαντικότερο το κόστος του εκτυπωτή από ότι η ταχύτητά του, τότε ο RepRap Wallace ή ο Printrbot είναι πιθανόν η καλύτερη επιλογή. Τέλος, θα πρέπει να αναλογιστεί κανείς την ανάλυση σαν μια ένδειξη της ποιότητας των εκτυπώσεων σε οποιονδήποτε από αυτούς τους εκτυπωτές. Ο καλύτερος τρόπος για να μετρηθεί η ποιότητα της εκτύπωσης ενός εκτυπωτή είναι να παρουσιαστεί το εκτυπωμένο αντικείμενο αυτοπροσώπως. Αν δεν είναι δυνατό να παρουσιαστεί ένα αντικείμενο για να κριθεί η ποιότητα, κοιτάζοντας την ανάλυση του μέγιστου ύψους σε ένα επίπεδο φαίνεται ότι ο Prusa Mendel ή ο Ultimaker, με το κατάλληλο λογισμικό, είναι και οι δύο γενικώς οι καλύτερες επιλογές για ποιοτικές εκτυπώσεις, ενώ από την άλλη μεριά το σχέδιο του Printrbot μπορεί να μην παρέχει τις πιο λεπτομερείς εκτυπώσεις.

### 3.2 Σύγκριση μεγέθους εκτύπωσης

Μια από τις πιο σημαντικές διαφοροποιήσεις και το μεγαλύτερο χαρακτηριστικό οποιουδήποτε προσωπικού 3D εκτυπωτή, είναι το σχετικό μέγεθος εκτύπωσης του εκτυπωτή, το οποίο καθορίζεται από τις διαστάσεις της βάσης εκτύπωσης του εκτυπωτή και το ύψος του άξονα Z. Σε ιδανικές περιπτώσεις, το μέγεθος της εκτύπωσης είναι το μεγαλύτερο τμήμα σε ένα εκτυπωτή. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της εκτύπωσης τόσο μεγαλύτερος θα είναι και ο εκτυπωτής, με αποτέλεσμα πολύ χρονοβόρα εκτύπωση για κάτι τόσο μεγάλο. Για να δείξουμε τα σχετικά μεγέθη, η εικόνα 3-1 μας παρέχει ένα γράφημα των τεσσάρων πιο συχνών μεγεθών εκτύπωσης, από την παραπάνω σύνοψη των εκτυπωτών.



Εικόνα 3-1 Σύγκριση μεγεθών εκτύπωσης

Όσο αυξάνεται η περιοχή εκτύπωσης του Mosaic από 127mm<sup>3</sup> σε 210mm, που είναι η περιοχή εκτύπωσης του Ultimaker, το μέγεθος της εκτύπωσης αυξάνεται εκθετικά. Σε αυτή την περίπτωση, η διαφορά είναι το 2λίτρο μέγεθος εκτύπωσης του MakerGear Mosaic σε σύγκριση με τα 9,7 λίτρα του Ultimaker. Αυτή είναι μια μεγάλη διαφορά στους τύπους των πραγμάτων που μπορούν να εκτυπωθούν, αν και ο Ultimaker είναι σχεδόν δύομισή φορές το πραγματικό μέγεθος του Mosaic. Όταν ερχόμαστε αντιμέτωποι με το μέγεθος εκτύπωσης και το συνολικό μέγεθος εκτυπωτή, η επιλογή γίνεται ανάμεσα στο αν προτιμούμε να εκτυπώνουμε μεσαίου μεγέθους αντικείμενα, ένα κάθε φορά, ή αν θα προτιμούσαμε να εκτυπώνουμε μεγάλα αντικείμενα ή πολλαπλά μέρη όλα μαζί.

### 3.3 Αγορά ή Κατασκευή εκτυπωτή;

Εκτός από ένα ή δύο εκτυπωτές που έρχονται συναρμολογημένοι από πριν, η τελευταία λεπτομέρεια πριν από την χρήση ενός προσωπικού 3D εκτυπωτή είναι αν θα πρέπει να αγοραστεί μια συσκευασία ή αν θα πρέπει να φτιαχτεί από τον ιδιοκτήτη. Οι περισσότεροι από αυτούς τους εκτυπωτές μπορούν να χτιστούν με την προμήθεια των διάφορων εξαρτημάτων και συστατικών από πολλούς πολίτες, έτσι ώστε ο εκτυπωτής να μπορέσει να συναρμολογηθεί από το μηδέν. Στην αντίπερα όχθη, πολλοί προμηθευτές υπάρχουν στο διαδίκτυο και παρέχουν ολοκληρωμένες συσκευασίες με όλα τα απαραίτητα συστατικά που χρειάζεται κάποιος για να χτίσει ένα συγκεκριμένο εκτυπωτή. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται οι δύο αυτές επιλογές.

#### 3.3.1 Αγοράζοντας μια συσκευασία

Αν κάποιος είναι εντελώς καινούργιος στην 3D εκτύπωση, μπορεί να αγοράσει μια συσκευασία. Ξεκινώντας την περιπέτεια της 3D εκτύπωσης στο σωστό δρόμο, είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα υπάρξει μια αποδοτική εμπειρία σχεδιάζοντας και εκτυπώνοντας καινούργια πράγματα από πλαστικό. Ξεκινώντας την διαδρομή προσπαθώντας κανείς να χτίσει από μόνος του τον 3D εκτυπωτή, μπορεί να βρεθεί χαμένος σε φυλλάδια - οδηγούς, ρωτώντας για την αντοχή και την ανθρακική σύνθεση των ράβδων. Ακόμα χειρότερα, θα μπορούσε να καταλήξει ξοδεύοντας πολλά χρήματα για να μαζέψει τα απαραίτητα συστατικά, ενώ στο τέλος η απογοήτευση και η αγανάκτηση μπορεί να ξεπεράσει την υπομονή του και να τα παρατήσει όλα εκείνη τη στιγμή.

Αν υπάρχει μια φιλική σχέση με κάποιο κατάστημα που πουλάει διάφορα υλικά, αν μπορεί να γίνει σιδηροκόλληση με ακρίβεια, και αν υπάρχει εμπειρία με οτιδήποτε μηχανικό, τότε καλύτερη επιλογή είναι μια συσκευασία ενός RepRap 3D εκτυπωτή (μόνο αν υπάρχει αρκετός χρόνος να διατεθεί στην συναρμολόγηση και διαβάθμιση του εκτυπωτή). Αν κάποιος ψάχνει κάτι με λίγη περισσότερη φινέτσα ή κάτι το οποίο θα δείχνει όμορφο στο γραφείο του ή στο σπίτι, τότε η καλύτερη λύση είναι να αποκτήσει ένα Box Bot.

Αν δεν υπάρχει αρκετή εμπειρία στο χτίσιμο και μόνο θέληση στο ξεκίνημα του σχεδιασμού και την εκτύπωση των ψηφιακών δημιουργημάτων, προτείνεται να αγοραστεί ένας MakerBot Replicator. Αν δεν διατίθενται αρκετά χρήματα για έναν τέτοιο εκτυπωτή ή αν ο καταναλωτής ψάχνει για κάτι πιο άνετο, τότε η καλύτερη λύση είναι το MakerGear Mosaic. Αυτοί οι εκτυπωτές είναι όλοι το ίδιο καλά μηχανήματα, με τον Mosaic να απαιτεί λίγο περισσότερη ώρα στην συναρμολόγηση.

#### 3.3.2 Φτιάχνοντας έναν 3D εκτυπωτή

Φτιάχνοντας ο ιδιώτης τον δικό του 3D εκτυπωτή από μια στοίβα εξαρτημάτων που αγόρασε από προμηθευτές, μπορεί να είναι μια αποδοτική εμπειρία. Το ίδιο αποδοτική όσο και το να φτιάξει το δικό του αμάξι, αεροπλάνο ή σπίτι. Πολλοί άνθρωποι, νέοι στο

χώρο της 3D εκτύπωσης θα σκεφτούν να φτιάξουν τον εκτυπωτή τους από την αρχή προμηθευόμενοι από μόνοι τους τα συστατικά που απαιτούνται. Αυτή η μέθοδος θα απαιτήσει την λήψη διάφορων πληροφοριών από διαφορετικές πηγές που έχουν διαμάχη μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να γίνουν κάποιοι αυτοσχεδιασμοί στην πορεία. Αυτή η διαδικασία μπορεί να τους μάθει πως λειτουργεί το σχέδιο ενός 3D εκτυπωτή περισσότερο από το να συναρμολογήσουν μια ήδη έτοιμη συσκευασία. Να αναμένουν λάθη και να μην δουλέψουν τα πράγματα σωστά από την πρώτη φορά. Πρέπει να δώσουν στον εαυτό τους αρκετό χρόνο και λίγα παραπάνω χρήματα για να μπορέσουν να αντικαταστήσουν τυχόν ελαττωματικά μέρη και να μπορέσουν να διορθώσουν προβλήματα, όταν αυτά εμφανιστούν.

Αν οι καταναλωτές έχουν ένα καλό αριθμό εργαλείων στην συλλογή τους, πρέπει να λάβουν υπόψη τους τον Prusa Mendel ή τον Mendel Max. Αυτοί οι εκτυπωτές χρειάζονται συστατικά τα οποία μπορούν να προμηθευτούν από πολλά καταστήματα και χρειάζονται λίγες δοκιμές μέχρι να ξεκινήσουν τις εκτυπώσεις. Θα χρειαστεί να είναι σε θέση να κόψουν σπυρωτές και λείες ράβδους στις διαστάσεις που απαιτούνται από το σχέδιο, έτσι θα πρέπει να έχουν παραγγείλει περισσότερες ράβδους, για κάθε περίπτωση, και να είναι έτοιμοι να αγοράσουν κάποια ειδικά εργαλεία που απαιτούνται στο κόψιμο και στην συναρμολόγηση, αν δεν τα έχουν ήδη ή δεν έχουν πρόσβαση σε αυτά.

Αν έχουν ένα εργαστήρι στο γκαράζ τους και αρκετά σαββατοκύριακα να ξοδέψουν, θα πρέπει να αναλογιστούν την περιπέτεια που ο RepStrap CNC μπορεί να τους παρέχει. Το δώρο σε αυτή την περίπτωση είναι ότι πολύ εύκολα θα μπορούσαν να χτίσουν ένα τεράστιο CNC και να φτιάχνονται μεγάλες δημιουργίες από κόντρα πλακέ ή από άλλα υλικά.

### 3.3.3 Η τελική επιλογή

Στο τέλος η επιλογή ενός εκτυπωτή είναι δική τους. Η 3D εκτύπωση είναι ένα εκκολαπτόμενο χόμπι, που κατά καιρούς μπορεί να είναι απογοητευτικό, έτσι δεν υπάρχει η παραμικρή ανάγκη να κάνουμε την ζωή μας δυσκολότερη πριν καν έχουμε ένα εκτυπωτή που να δουλεύει. 9,5 στις 10 φορές ένα άτομο αγανακτισμένο που έφτιαξε ένα 3D εκτυπωτή, θα έπρεπε να αγοράσει μια συσκευασία από την αρχή. Όταν κάποιος είναι έτοιμος για τον δεύτερο εκτυπωτή του (η τρίτο, συμβαίνει πολλές φορές), τότε θα έπρεπε να επεκταθεί στην αδοκίμαστη και πειραματική περιοχή των τελευταίων σχεδίων για εκτυπωτές, μόνο και μόνο για την επιπρόσθετη πρόκληση. Αν όμως, έχει ξεκινήσει μόλις, τότε θα πρέπει να κρατήσει τα πράγματα όσο πιο απλά γίνεται και να ξεκινήσει με την ευκολότερη συσκευασία που μπορεί να βρει.

## 4 Οι εφαρμογές της 3D εκτύπωσης στον πραγματικό κόσμο

### 4.1 Δημιουργία πρωτότυπων

Επειδή η 3D εκτύπωση είναι πολύ γρηγορότερη από ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι παραγωγής, μπορεί να βοηθήσει στην ταχύτερη έρευνα και ανάπτυξη. Πριν οποιοδήποτε αντικείμενο παραχθεί μαζικά, τουλάχιστον ένα πρωτότυπο από το είδος του θα πρέπει να φτιαχτεί. Χωρίς το πρωτότυπο είναι δύσκολο να ξέρουμε αν ένα νέο προϊόν ή ένα βελτιωμένο σχέδιο θα δουλέψει στο πραγματικό κόσμο. Είτε μιλάμε για ένα νέο είδος φτερού αεροπλάνου ή μια κρεμάστρα με νέο σχήμα, τα πρωτότυπα είναι ζωτικής σημασίας στην διαδικασία της σχεδίασης. Τυπικά η παραγγελία ενός και μόνο συγκεκριμένου πρωτότυπου αντικειμένου είναι αρκετά ακριβή και χρονοβόρα διαδικασία. Φτιάχνοντας μόνο ένα αντικείμενο, είναι πάντα ακριβότερο από το να κατασκευαστούν δεκάδες.

Όμως, με τους 3D εκτυπωτές, όλη η διαδικασία μπορεί να επιταχυνθεί και να γίνει φθηνότερη. Έχοντας ένα 3D εκτυπωτή άμεσα διαθέσιμο, η εταιρείες μπορούν να σκεφτούν νέες ιδέες και σχέδια, να εκτυπώσουν τα πρωτότυπα μέσα σε λίγες ώρες και αν κάτι δεν είναι σωστό, να κάνουν τις απαραίτητες διορθώσεις και να εκτυπώσουν ένα νέο που θα δουλεύει καλύτερα. Αν χρειαστεί ακόμα ένα, και ακόμα ένα, και ακόμα ένα. Στο χρόνο που συνήθως θα χρειαζόταν, ένα πρωτότυπο να φτιαχτεί και να παραδοθεί, ένα ενδεχόμενο σχέδιο προϊόντος μπορεί να περάσει από πολλές επαναλήψεις με την βοήθεια του 3D εκτυπωτή.

Μόνο με παραδείγματα μπορούμε να δούμε πόσο γρήγορη και αποδοτική μπορεί να είναι η 3D εκτύπωση στο να μετατρέπει κάποιες ιδέες σε πραγματικότητα. Μερικά χρόνια πριν, το 1212-studio ζητήθηκε να φτιάξει ειδικά σχέδια φωτισμού για επερχόμενη περιοδεία του συγκροτήματος U2. Το συγκρότημα ήθελε να φτιάξει LED οθόνες στα ταβάνια των γηπέδων που θα έδιναν την παράσταση. Το σχέδιο περιλάμβανε φωτάκια εγκατεστημένα στα ταβάνια με αποτέλεσμα να χρειάζονται χιλιάδες ειδικά κατασκευασμένα κομμάτια. Οι σχεδιαστές είχαν τέσσερις εβδομάδες στην διάθεση τους, στο να βρουν πως θα δουλέψουν τα φωτάκια και να παραδώσουν τα κομμάτια. Το 1212-studio είχε στην κατοχή του 3D εκτυπωτή, το οποίο σήμαινε ότι μπορούσε αμέσως να παράγει πρωτότυπα μέρη. Μέσα σε τρεις μέρες, μετά από αρκετές επαναλήψεις είχαν στη διάθεση τους ένα πρωτότυπο το οποίο δούλευε. Το πρωτότυπο εγκρίθηκε και την επόμενη μέρα βγήκε στην παραγωγή. Χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους, η σχεδιαστική ομάδα πιθανώς θα περίμενε ακόμα να φτάσει το πρώτο μηχανικό πρωτότυπο. Με αυτή την επιτυχία το 1212-studio ζητήθηκε να παράγει ειδικά LED μικρόφωνα που θα μπορούσαν να κρεμαστούν στο ταβάνι. Αυτή ήταν μια περίπλοκη εργασία από ότι η αρχική, αλλά για ακόμα μια φορά με την βοήθεια του 3D εκτυπωτή η εταιρεία μπόρεσε να παραδώσει ένα απίστευτα εμφανίσιμο στάδιο.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η αυτοκινητοβιομηχανία, η οποία έχει αποδεχτεί πλήρως την 3D εκτύπωση. Η ικανότητα του να φτιάχνονται ταχύτατα νέα πρωτότυπα είναι ανεκτίμητη. Κατασκευαστές αυτοκινήτων, περιλαμβανομένων των Lamborghini, Ford, Jaguar Land Rover, Hyundai και BMW έχουν χρησιμοποιήσει τεχνικές 3D εκτύπωσης στην προσπάθεια τους να αναπτύξουν και να δοκιμάσουν νέα εξαρτήματα για τα αυτοκίνητα τους. Αυτή η χρήση δεν είναι κάτι νέο. Καθώς οι 3D εκτυπωτές μόλις πρόσφατα έχουν γίνει αρκετά προσιτοί για οικιακή χρήση, οι βιομηχανικοί εκτυπωτές υπάρχουν ήδη αρκετά χρόνια και οι κατασκευαστές όπως η Ford έχουν γίνει ειδική στην χρήση τους, αφιερώνοντας βδομάδες ή και μήνες στην ανάπτυξη τους.

Μηχανικοί της Ford χρησιμοποιούν τεράστιους βιομηχανικούς εκτυπωτές για να εκτυπώσουν πρωτότυπα κομμάτια, όπως δισκόφρενα και κεφαλές κυλίνδρου, σε πολύ λιγότερο χρόνο από ότι θα χρειαζόταν οποιαδήποτε άλλη μέθοδος. Μπορεί να μην φαίνεται γοητευτικό, αλλά να η δυνατότητα ανάπτυξης και βελτίωσης ουσιαστών συστατικών ενός αυτοκινήτου είναι προφανώς πολύ σημαντικό αν για τους κατασκευαστές αυτοκινήτων.

Με την ταχύτητα που μια νέα ιδέα μπορεί να δοκιμαστεί, σημαίνει ότι οι μηχανικοί καμιά φορά πρέπει να πειραματιστούν ή και ακόμα να παίξουν. Ένας μηχανικός της Ford δημιούργησε ένα νέο είδος λεβιέ ταχυτήτων (ένα που παρείχε στον οδηγό πληροφορίες μέσω της αφής για να καταλάβει πότε είναι κατάλληλη στιγμή να αλλάξει ταχύτητα) χρησιμοποιώντας μια 3D εκτυπωμένη λαβή και τα εσωτερικά ενός χειριστηρίου από XBOX 360. Φαίνεται σαν ένα μέλλον στο οποίο μπορεί να εκτυπώσει κανείς ένα νέο λεβιέ ταχυτήτων ή ένα υαλοκαθαριστήρα ή ένα καθρεφτάκι, αν έχει ένα 3D εκτυπωτή στο γκαράζ του. Αυτό θα σήμαινε ότι θα χρειαζόταν να περιμένουμε κάποιες ώρες έναντι εβδομάδων για να φτιάξουμε οτιδήποτε χαλασμένο στο αμάξι μας.

Εξαιτίας του τρόπου που δουλεύει η 3D εκτύπωση (χτίζοντας στρώση πάνω σε στρώση με υλικό για να σχεδιαστεί το απαραίτητο σχήμα) μπορεί να μας δώσει νέους δρόμους σχετικά με την παραγωγή. Ο σχεδιαστής Nir Siegel κατασκεύασε ένα πρωτότυπο ενός αυτοκινήτου που θα μας είναι λίγο παράξενο τώρα, αλλά εάν στο μέλλον οδηγούσαμε όλοι μας αυτοκίνητα που θα δονίζονταν για να μας πουν να οδηγούμε πιο προσεκτικά, τότε όλη αυτή η ιδέα θα μας φάνταζε ως καθημερινότητα και όλα αυτά χάρις στην 3D εκτύπωση. Η Ford πιστεύει ότι η 3D εκτύπωση, σύντομα θα γίνει πιο διαδεδομένη από τώρα, γιατί προμηνύει ότι στο μέλλον οι καταναλωτές μπορεί να έχουν τη δυνατότητα να 3D εκτυπώνουν τα δικά τους ανταλλακτικά για το αυτοκίνητο. Τώρα μπορεί να μην είναι τόσο εφικτή η εκτύπωση καλωδίων για τα φρένα, αλλά δεν είναι δύσκολο να φανταστούμε την δημιουργία εξατομικευμένων εξαρτημάτων σύμφωνα με τις λεπτομέρειες που θέλει κάθε καταναλωτής.

Ένα νέο είδος αυτοκινήτου το οποίο μπορεί να βγει στους δρόμους στο κοντινό μέλλον, είναι το Urbee. Σχεδιασμένο ως ένα καθαρό και φιλικό προς το περιβάλλον αυτοκίνητο διαφορετικό από ότι τα παραδοσιακά, το Urbee είναι ένα μικρό τρίκυκλο το οποίο είναι φτιαγμένο από περίπου σαράντα 3D εκτυπωμένα μέρη. Χρησιμοποιώντας λιγότερα συστατικά μέρη, η Kog Ecologic, η εταιρεία πίσω από το Urbee, ισχυρίζεται ότι έχει βρει ένα τρόπο να κάνει το αυτοκίνητο δυνατότερο και ελαφρύτερο. Όσο ελαφρύτερο το αυτοκίνητο, τόσο λιγότερα καύσιμα χρειάζεται. Όσο λιγότερα συστατικά στοιχεία, τόσο λιγότερα ενδεχόμενα σημεία αποτυχίας.



Εικόνα 4-1 Urbee

Είναι μια έξυπνη ιδέα με ένα απίστευτο τολμηρό σχέδιο. Το Urbee είναι μικρό, χαμηλό προς το έδαφος, με στρογγυλές άκρες και μοιάζει περισσότερο με UFO παρά με αυτοκίνητο. Αυτό το συγκεκριμένο σχέδιο το κάνει πιο αεροδυναμικό, το οποίο μειώνει ξανά την ποσότητα των καυσίμων που χρειάζεται.

Το Urbee έχει περάσει από αρκετούς γύρους επανάληψης όσο αφορά το πρωτότυπο. Αν και η 3D εκτύπωση είναι πολύ γρηγορότερη από ότι τα άλλα είδη κατασκευής, όλο το αμάξι χρειάζεται περίπου 2500 ώρες να εκτυπωθεί. Για να καταλάβουμε αυτό τον αριθμό μπορούμε να πούμε ότι είναι κάτι λιγότερο από 15 εβδομάδες, αν οι εκτυπωτές δούλευαν συνεχόμενα και ασταμάτητα.

Τέλος ένα πιο οικιακό παράδειγμα. Οι μηχανές καφέ Nespresso έχουν γίνει ένα κοινό θέαμα στις κουζίνες μας χάρη στην ικανότητα τους να φτιάξουν ένα άψογο καφέ γρήγορα και εύκολα. Από την οπτική γωνία ενός καταναλωτή, είναι πολύ απλή. Χρησιμοποιείται μια κάψουλα και δημιουργείται καφές. Αλλά ο τρόπος με τον οποίο δουλεύουν αυτές οι μηχανές είναι αποτέλεσμα πολλών ωρών δοκιμασίας.





Εικόνα 4-2 Nespresso

Μέχρι το 2003, η Nestle έπρεπε να περιμένει για εβδομάδες για να παραχθούν τα πρωτότυπα κομμάτια και να δοκιμαστούν νέα σχέδια. Μέχρι την ώρα που τα τελειωμένα πρωτότυπα εμφανιζόντουσαν, οι μηχανικοί συχνά είχαν ήδη νέες ιδέες ή τρόπους για να βελτιώσουν το σχέδιο και να έχουν καλύτερα αποτελέσματα. Για να δοκιμάσουν όμως αυτές τις ιδέες θα έπρεπε να περιμένουν ακόμα περισσότερο. Όλη αυτή η διαδικασία ήταν πολύ εκνευριστική και όλες αυτές οι καθυστερήσεις σήμαιναν ότι θα αργούσε πάρα πολύ οποιαδήποτε καινοτομία στα χέρια ενός καταναλωτή.

Αφότου είδε ένα 3D εκτυπωτή σε μια επίδειξη, ο επικεφαλής της ομάδας έρευνας και ανάπτυξης της Nestle, αποφάσισε ότι ήταν ώρα η εταιρεία να επενδύσει σε μια μηχανή που θα επέτρεπε στους μηχανικούς της να παράγουν τα δικά τους πρωτότυπα άμεσα. Ξαφνικά, οι εβδομάδες που περίμεναν για να δουν πως μια νέα ιδέα θα δούλευε στην πρακτική, εξαφανίστηκαν. Αν κάποιος είχε μια ιδέα ή ένα τρόπο να διαμορφώσει ένα εξάρτημα από την μηχανή Nespresso, θα μπορούσε να το σχεδιάσει, να το στείλει στον εκτυπωτή και να το δει εν δράση σε διάστημα μερικών ωρών. Επειδή ο εκτυπωτής χρησιμοποιεί ABS πλαστικό, μια φρέσκια εκτυπωμένη, ξανασχεδιασμένη λαβή ή ζεστό πιάτο θα μπορούσε να δοκιμαστεί και σε μια αληθινή μηχανή.

## 4.2 Σπίτια και σπιτικά

### 4.2.1 3D Τούβλα

Το μέλλον της αρχιτεκτονικής μπορεί να βασιστεί στους τρισδιάστατους εκτυπωτές. Αν υπάρχει μια ειδικότητα η οποία μπορεί να επωφεληθεί από την δυνατότητα να φτιάχνει τρισδιάστατα μοντέλα σε διάστημα μερικών ωρών, αυτή είναι η αρχιτεκτονική. Οι αρχιτέκτονες πρέπει να σκέφτονται τον τρόπο με τον οποίον μπορούν τα σχέδια τους να κατασκευαστούν, έτσι το λογισμικό CAD είναι ήδη μέρος του οπλοστασίου τους. Όταν οι αρχιτέκτονες προσεγγίζουν πιθανούς νέους πελάτες, συχνά χρησιμοποιούν μακέτες που αναπαριστούν τις ιδέες τους, έτσι ώστε ο καθένας να μπορεί να δει πως θα είναι το τελειωτικό έργο. Δεν είναι λοιπόν έκπληξη ότι πολλές αρχιτεκτονικές εταιρείες έχουν ήδη προμηθευτεί 3D εκτυπωτές για να μπορούν να επιδεικνύουν τα οράματά τους.



Ωστόσο, η χρήση της 3D εκτύπωσης στην αρχιτεκτονική πάει πολύ παραπέρα από την δημιουργία μόνο σχεδίων. Ακόμα και τα πιο εντυπωσιακά και λεπτομερή σχέδια δείχνουν λιγάκι άχαρα όταν συγκρίνονται με διάφορους τρόπους της 3D εκτύπωσης, που αρχιτέκτονες και χρήστες, χρησιμοποιούν κατά την διαδικασία της κατασκευής πραγματικών κτιρίων.

Ένα παράδειγμα είναι το σχέδιο Building Bytes (Βασισμένο στο επιστημονικό περιοδικό THE ULTIMATE GUIDE TO 3D PRINTING της MAGBOOK) του αρχιτέκτονα Brian Peters που μας δίνει μια γεύση από το μέλλον όπου σπίτια θα χτίζονται από 3D εκτυπωμένα τούβλα. Ο Peters προμηθεύτηκε ένα σταθερό 3D εκτυπωτή, προσθέτοντας μια καινούργια κεφαλή στον εξωθητή και χρησιμοποίησε τον εκτυπωτή για να δημιουργήσει κεραμικά τούβλα. Το υλικό που χρησιμοποίησε ήταν ένα είδος υγρού πηλού, το οποίο συχνά χρησιμοποιείται στην κατασκευή καλουπιών, με αποτέλεσμα ο 3D εκτυπωτής που χρησιμοποίησε να φτιάξει ένα τούβλο σε περίπου δεκαπέντε λεπτά.

Ο Peters πειραματίστηκε με διάφορα σχέδια, συμπεριλαμβανομένων τούβλων με σχήμα Χ και σχήμα σύμπλεξης, αλλά το πιο αξιοθαύμαστο σχέδιο ήταν αυτό που είχε το σχήμα της κηρήθρας. Ο 3D εκτυπωτής έκανε αυτά τα περίτεχνα σκαλιστά τούβλα έτσι ώστε να είναι σπονδυλωτά και στοιβαγμένα. Μόλις ενσωματωθούν σε ένα κτήριο, είναι δυνατά και ανθεκτικά και το σχήμα τους, τα επιτρέπει να δομηθούν σε μια πληθώρα σχεδίων, αναλόγως τις ανάγκες της κατασκευής.

Βασισμένο καθαρά στην ταχύτητα και στο κόστος, το Building Bytes δεν είναι μια προφανής βελτίωση έναντι των παραδοσιακών στενόμακρων τούβλων. Αλλά αυτό που κάνει αυτά τα τούβλα χρήσιμα, είναι ότι μπορούν να φτιαχτούν επιτόπου. Αντί να χρειάζεται να μεταφερθούν τόνοι από τούβλα στο χώρο εργασίας, οι εργάτες θα μπορούν να έχουν σακούλες από μείγμα κεραμικών και μια σειρά από 3D εκτυπωτές, από τα οποία θα φτιάχνονται τούβλα που θα χρησιμοποιούνται όπως χρειάζονται και όποτε χρειάζονται.

Το άλλο πλεονέκτημα είναι αισθητικής άποψης. Τα τούβλα μπορούν να σχεδιαστούν και να εκτυπωθούν σε οποιοδήποτε σχήμα θέλει ο αρχιτέκτονας. Δεν χρειάζεται καν να είναι ίδια το ένα με το άλλο. Ένα κτήριο θα μπορούσε να χτιστεί από χιλιάδες διαφορετικών μορφών τούβλα, τα οποία θα έδιναν μια μοναδική μορφή ψηφιδωτού σε ένα απλό κτήριο.

Το επόμενο στάδιο του Building Bytes θα φέρει τον Peters να πειραματίζεται με διαφορετικά είδη υλικού, για να μπορέσει να βρει το καταλληλότερο υλικό και για την κατασκευή αλλά και για την 3D εκτύπωση. Το τσιμέντο είναι μια πιθανότητα τέτοιου υλικού. Είναι επίσης πιθανών να βρεθεί ένα είδος το οποίο θα αρμόζει σε συγκεκριμένα κλίματα ή σε διαφορετικές συνθήκες κατασκευής.



Εικόνα 4-3 Τούβλα σε σχήμα κερήθρας

#### 4.2.2 Το πρώτο 3D σπίτι

Άλλο ένα σχέδιο, αυτό της εταιρείας Dus, είναι καθοδόν στην κατασκευή του πρώτου 3D εκτυπωμένου σπιτιού στο κόσμο. Όχι εκτυπώνοντας ξεχωριστά τούβλα ή άλλα συστατικά στοιχεία, αλλά η Dus δημιούργησε ένα γιγάντιο 3D εκτυπωτή που είναι τοποθετημένος κοντά στη διώρυγα του Άμστερνταμ, ο οποίος εκτυπώνει τεράστια κομμάτια που στο τέλος θα δημιουργήσουν ένα σπίτι.

Ονομαζόμενος KamerMaker, ο 3D εκτυπωτής είναι στεγασμένος μέσα σε ένα κιβώτιο ύψους έξι μέτρων. Μέσα υπάρχει ένας 3D εκτυπωτής ο οποίος είναι παρόμοιος με τον εκτυπωτή γραφείου Ultimaker, μόνο που είναι πολύ, πολύ μεγαλύτερος. Χρησιμοποιώντας ένα μείγμα από πλαστικές και ξύλινες ίνες, ο εκτυπωτής χτίζει τεράστια κομμάτια που αρχικά θα σχηματίσουν τους εξωτερικούς τοίχους του σπιτιού, μετά τα ταβάνια, εσωτερικούς τοίχους, πόρτες και πατώματα. Στο τέλος ακόμα και τα έπιπλα και τα διακοσμητικά στοιχεία του σπιτιού θα είναι εκτυπωμένα. Τα κομμάτια θα ενωθούν μεταξύ τους και θα κρατηθούν από ατσάλινα καλώδια έτσι ώστε να δοθεί στο κτήριο δομική ακεραιότητα.



Εικόνα 4-4 Η μορφή του πρώτου 3D σπιτιού

Η Dus ξεκίνησε αυτή την εργασία στην αρχή του 2012 και ανεβάζει οποιαδήποτε εξέλιξη στην ιστοσελίδα της. Το σχέδιο είναι ότι μόλις θα τελειοποιηθεί το πρώτο δωμάτιο, θα χρησιμοποιηθεί σαν ένα είδος επίδειξης για την 3D εκτύπωση, έτσι ώστε ο κόσμος να μπορέσει να έρθει και να δει περί τίνος πρόκειται. Άλλα σχέδια για το KamerMaker περιλαμβάνουν την επέκταση των υλικών που μπορεί να χρησιμοποιήσει, ώστε στο τέλος να έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει ανακυκλωμένο πλαστικό και να μετατρέψει αχρείαστα σκουπίδια σε νέα κτήρια.

Αυτή την στιγμή προχωράει αργά το σχέδιο και είναι αρκετά ακριβό. Αν όμως επιτύχει το πρώτο σπίτι του KamerMaker, όλα αυτά που θα έχει μάθει η Dus από αυτό το σχέδιο θα μπορούν να εφαρμοστούν σε μελλοντικές εργασίες. Επίσης θα ήταν δυνατό να σκεφτούμε την κατασκευή σπιτιών με λίγο διαφορετικό τρόπο, σαν κάτι που χρειάζεται λιγότερους πόρους, σαν κάτι που χρησιμοποιεί ανακυκλωμένο υλικό και σαν κάτι το οποίο που μπορεί να προσαρμοστεί εντελώς.

### 4.3 Ιατρική

Καθώς η ιδέα της 3D εκτύπωσης επαναστατεί στο χώρο της κατασκευαστικής βιομηχανίας, μπορεί κανείς να αναλογιστεί την πρόοδο που μπορεί να επιτευχθεί και στην ιατρική. Ήδη 3D εκτυπωτές χρησιμοποιούνται για να φτιάχνουν ακριβή μοντέλα από διάφορα μέλη του σώματος ενός ασθενούς, έτσι ώστε να δημιουργήσουν προσθετικά μέλη που θα ταιριάζουν απόλυτα με το σώμα. Υπάρχουν όμως πιο απίθανα πράγματα, που θα έχουν την δυνατότητα να φτιάξουν οι 3D εκτυπωτές σε μερικά χρόνια.

Η Organono, μια εταιρεία βιοεκτύπωσης με βάση το Σαν Ντιέγκο, έχει κατασκευάσει διάφορες μεθόδους για να εκτυπώνει δείγματα ιστών, ζωντανών ανθρώπων, οι οποίοι λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο που θα λειτουργούσαν και μέσα στο σώμα. Αρκετά διαφορετικά είδη ζωντανών ιστών έχουν αναπαράχθει με την βοήθεια της εκτύπωσης ατομικών κυττάρων για να δημιουργήσουν μικροσκοπικά πλέγματα. Τα κύτταρα

αναπαράγονται και ξεκινούν να δουλεύουν μεταξύ τους, έτσι όπως θα δούλευαν αν θα γεννιόντουσαν φυσιολογικά.

Μερικά είδη ιστών που έχουν δημιουργηθεί επιτυχώς είναι ιστοί του συκωτιού, λείοι μυϊκοί ιστοί και οι ενδοθηλιακή ιστοί (αυτοί που βρίσκονται στο εσωτερικό των αιμοφόρων αγγείων). Στην τελική αυτά τα είδη των εκτυπωμένων ιστών θα μπορούν να είναι διαθέσιμα για να εμφυτευτούν μέσα σε ασθενείς που έχουν ανάγκη. Στο μεταξύ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ιατρικές μελέτες, όπως δοκιμές φαρμάκων. (Βασισμένο στο επιστημονικό περιοδικό THE ULTIMATE GUIDE TO 3D PRINTING της MAGBOOK)

#### 4.3.1 Εκτυπώνοντας φάρμακα

Άλλοι ιατρικοί ερευνητές βλέπουν άλλες χρήσεις των 3D εκτυπωτών. Ο καθηγητής Lee Cronin του πανεπιστημίου της Γλασκόβης δουλεύει πάνω σε μια μέθοδο, όπου χρησιμοποιεί τους εκτυπωτές για να δημιουργήσουν διάφορα είδη φαρμάκων που είναι σε ζήτηση. Χρησιμοποιώντας κάτι το οποίο ο ίδιος ονόμασε "χημικοϋπολογιστή", ο Cronin βλέπει ένα μέλλον στο οποίο οι 3D εκτυπωτές θα μπορούν να δουλεύουν σε μοριακό επίπεδο, βάζοντας μαζί διάφορα είδη χημικών για να φτιάξουν οποιοδήποτε είδος φαρμάκου είναι απαραίτητο ανά πάσα στιγμή. Αυτό θα έκανε τα πράγματα πολύ απλά για τα φαρμακεία, τα οποία δεν θα χρειαζόταν να έχουν τόσα πολλά φάρμακα σε απόθεμα και επίσης, θα είχε ανεκτίμητη αξία για τα νοσοκομεία που βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές, όπου αυτά τα νοσοκομεία έχουν δυσκολία στην απαραίτητη προμήθεια για να εξασφαλίσουν την υγεία της τοπικής κοινωνίας.

Ο Cronin πιστεύει ότι θα είναι δυνατό στο μέλλον να προγραμματιστεί ένας χημικοϋπολογιστής εκτυπωτής με πληροφορίες σχετικά με τα γονίδια ενός ασθενή και ο εκτυπωτής να εκτυπώσει το ακριβές φάρμακο που χρειάζεται. Αυτό το είδος πρόβλεψης φαίνεται να ανήκει στο κόσμο της επιστημονικής φαντασίας, όπου μπορείς να παραγγείλεις από ένα υπολογιστή, που είναι ενσωματωμένος μέσα στο τοίχο σου, το ακριβές είδος τσαγιού που θες.

#### 4.3.2 Αντικατάσταση άκρων

Η 3D εκτύπωση χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη προσθετικών άκρων για ακρωτηριασμένους. 3D εκτυπωμένα προσθετικά μπορούν να εκτυπωθούν ακριβώς με τις αναλογίες του κάθε ασθενούς και μπορούν να φτιαχτούν γρηγορότερα και φθηνότερα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται μπορούν επίσης να είναι ελαφρύτερα ή δυνατώτερα από αυτά που φτιάχνονται με συμβατικές μεθόδους, οι οποίες κάνουν όλη την διαφορά στο πόσο χρήσιμες είναι στους ασθενείς. Επιπρόσθετα μπορούν να είναι καλύτερης αισθητικής όψης.

Η Bespoke Innovations είναι μια εταιρεία του Σαν Φρανσίσκο, που ιδρύθηκε από έναν ορθοπεδικό χειρουργό και έναν βιομηχανικό σχεδιαστή, η οποία στοχεύει να φτιάξει τεχνητά άκρα που είναι πιο ελκυστικά. Τα προϊόντα που φτιάχνει είναι καλύμματα να μπαίνουν πάνω σε προσθετικά πόδια. Επειδή τα προσθετικά, γενικώς, είναι φτιαγμένα για να είναι λειτουργικά παρά όμορφα, τα καλύμματα αυτά τείνουν να είναι απλά και βασικά. Η Bespoke Innovations ήθελε να κάνει τα θύματα με απώλεια άκρου να νιώθουν πιο θετικά απέναντι στα προσθετικά τους.



Εικόνα 4-5 Προσθετικό μέλος

Η εταιρεία μπορεί να φτιάχνει καλύμματα βασισμένα στο σχήμα του υπόλοιπου ποδιού του ασθενούς και να κάνει τα άκρα να μοιάζουν περισσότερο ότι έχουν ρούχα πάνω τους. Το κυριότερο όμως που κάνει είναι να δημιουργεί απίστευτα ελκυστικά σχέδια για τα άκρα. Οι χρήστες μπορούν να διαμορφώσουν τα καλύμματα τους, διαλέγοντας διαφορετικά υλικά και σχέδια, προσθέτοντας την δικιά τους προσωπική πινελιά (ένα σχέδιο τατουάζ) ή διαλέγοντας ένα μεταλλικό ή ανάγλυφο τελείωμα. Αναλόγως το τι θέλει ο κάθε χρήστης να κάνει με το κάλυμμα, μπορεί να διαλέξει κάποιο υλικό το οποίο ταιριάζει περισσότερο στο σκοπό του, αλλά με την προϋπόθεση ότι όλα τα καλύμματα είναι σχεδιασμένα να είναι ελαφριά και ανθεκτικά.

Αν και τα καλύμματα μπορεί να θεωρηθούν αισθητικά παρά ιατρικά, κάποιες αισθητικές διαδικασίες μπορούν να προκαλέσουν τεράστια αλλαγή στην ποιότητα ζωής του ασθενούς. Το 2013 ένας ηλικιωμένος ασθενής που έπασχε από καρκίνο, ο οποίος έχασε ένα μεγάλο κομμάτι του προσώπου του εξαιτίας ενός όγκου, δέχτηκε ένα 3D εκτυπωμένο προσθετικό, αφότου είχαν αποτύχει πολλαπλές χειρουργικές ανακατασκευές προσώπου.

Χρειάστηκαν έξι εβδομάδες για την διαδικασία της σχεδίασης και της εκτύπωσης, άλλα το τελειωμένο προσθετικό (σε συνδυασμό με μια εκτυπωμένη μασέλα) αποκατέστησε αρκετή από την ποιότητα ζωής του ασθενή, επιτρέποντας του να τρώει και να πίνει κανονικά και του έδωσε την αυτοπεποίθηση να κάνει έναν γάμο που είχε αναβάλει χρόνια πριν. Αυτό που είναι αξιοθαύμαστο σε αυτή την ιστορία είναι ότι τα προσθετικά προσώπου είναι εκείνο το είδος προσθετικών που χρειάζεται να φτιαχτεί μόνο μια φορά, για να ένα μόνο άτομο και θα πρέπει να έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Αυτές είναι οι στιγμές που οι τεχνικές της 3D εκτύπωσης λάμπουν.

#### 4.3.3 Φτιάχνοντας μοντέλα

Μιλώντας για προσωπικότητες και πρόσωπα, άλλο παρακλάδι της ιατρικής που χρησιμοποιεί την τεχνολογία της 3D εκτύπωσης είναι η ορθοδοντική. Τα σιδεράκια χρειάζεται να ταιριάζουν απόλυτα με το στόμα του ασθενή, με αποτέλεσμα οι οδοντίατροι συχνά να χρησιμοποιούν τεχνικές 3D σάρωσης και εκτύπωσης για να δημιουργήσουν αντίγραφα του στόματος και των δοντιών του ασθενούς. Να μπορούν να δουλέψουν και να πειραματιστούν πάνω σε ένα μοντέλο, έχει ανεκτίμητη αξία, καθώς στο μέλλον θα μπορεί να είναι δυνατόν να 3D εκτυπώσουν σιδεράκια, τα οποία θα μπορούν να αντικατασταθούν όπως και όταν χρειάζεται.

Στο μέλλον οι ιατροί δεν θα χρειάζονται να έχουν επιπλέον ειδικές γνώσεις πάνω στην χρήση της 3D εκτύπωσης στον τομέα τους. Η 3D Systems μόλις ξεκίνησε μια υπηρεσία που λέγεται *Bespoke Modelling*, η οποία επιτρέπει στους χρήστες της να διαμορφώνουν και να 3D εκτυπώνουν ολοκληρωμένα ανατομικά μοντέλα όταν τα χρειάζονται. Αυτό το λογισμικό δουλεύει με κινητές συσκευές και με διάφορους περιηγητές διαδικτύου και είναι αρκετά ευέλικτο στην δημιουργία μοντέλων που αναπαριστούν αληθινούς ασθενείς. Επίσης μπορεί να είναι χρήσιμο για φοιτητές ιατρικής ή για οποιονδήποτε άλλο, που για οποιονδήποτε λόγο χρειάζεται ένα πραγματικού μεγέθους ανατομικό μοντέλο. Το μέλλον της ιατρικής θα εξατομικευτεί και θα εκτυπώνεται κατά παραγγελία.

#### 4.3.4 Ρομποτικό χέρι



Εικόνα 4-6 Ρομποτικά χέρια

Σκεφτείτε όλα τα πράγματα που κάνετε με τα χέρια σας σε καθημερινή βάση. Τώρα φανταστείτε ότι χάσατε την χρήση ενός από τα χέρια σας και πόσο τεράστιο αντίκτυπο θα είχε αυτό στην ζωή σας. Για τους περισσότερους από εμάς, αυτό θα ήταν καταστροφικό ακόμα και αν δουλεύαμε σε ένα γραφείο. Για τον Richard Van As, έναν ξυλουργό από την νότια Αφρική, το να χάσει τέσσερα από τα δάχτυλα του στο πρωτεύον του χέρι σε ένα εργατικό ατύχημα θα μπορούσε να είναι καταστροφικό. Ο Van As, όμως, δεν παραιτήθηκε. Όταν ανακάλυψε ότι τα προσθετικά δάχτυλα ήταν ακριβά και όχι ιδιαίτερα προσεγμένα, αποφάσισε ότι αυτό δεν ήταν αρκετό. Αντί να συμβιβαστεί, αποφάσισε να δημιουργήσει τα δικά του προσθετικά.

Αν και δεν είχε εμπειρία με την 3D εκτύπωση, σύντομα κατάλαβε ότι η νέα τεχνολογία θα ήταν ένας καλός τρόπος στην δημιουργία νέων δαχτύλων, τα οποία θα ήταν και φθηνότερα και δυνατότερα από ότι οι άλλες επιλογές. Ψάχνοντας στο ίντερνετ, βρήκε τον Ivan Owen, ο οποίος είχε δημιουργήσει από μόνος του ένα 3D εκτυπωμένο ρομποτικό χέρι. Τότε οι δύο άντρες αποφάσισαν να συνεργαστούν.

“Ο Ivan μπορούσε να προγραμματίζει κάτι το οποίο δεν ήταν στο δικό μου χώρο ειδίκευσης εκείνον τον καιρό” εξηγεί ο Van As. “Επικοινωνήσαμε με την MakerBot και είδαν την δυνατότητα στην ιδέα και μας δώρισαν δύο 3D εκτυπωτές. Ξεκινήσαμε να

δημιουργούμε πρωτότυπα και τότε μια άλλη οικογένεια από την Νότια Αφρική επικοινωνήσε μαζί μας, λέγοντας ότι ο γιος τους είχε ABS και αν θα σκεφτόμουν να τους βοηθήσω”.

Το ABS είναι ένα γενετικό ελάττωμα το οποίο μπορεί να προκαλέσει ποικίλες μορφές παραμορφώσεων. Στην περίπτωση της οικογένειας που ήρθε σε επαφή με τον Van As, ο γιος τους δεν είχε ένα χέρι. Ο Owen και ο Van As δούλεψαν ξανά μαζί, συνεργαζόμενοι μέσω email και skype, για να δημιουργήσουν ένα πλήρως λειτουργικό ρομποτικό χέρι το οποίο θα μπορούσε να εκτυπωθεί στο δικό τους MakerBot εκτυπωτή. Επιτυχώς κατάφεραν να δημιουργήσουν ένα μικρότερο χέρι για το παιδί και όταν δημοσίευσαν το δημιούργημα τους στο ίντερνετ, πλημμυρίστηκαν με παρόμοια αιτήματα από οικογένειες από όλο τον κόσμο.

Ωστόσο, ο Van As δεν ήθελε το δημιούργημα του να το μετατρέψει σε κάτι κερδοφόρο. Έχοντας ήδη ανακαλύψει ότι τα προσθετικά δάχτυλα είναι αρκετά ακριβά, θέλησε να δημιουργήσει μια προσβάσιμη και προσιτή έκδοση την οποία ο κόσμος θα μπορούσε να φτιάξει για τον εαυτό του. Δημοσίευσε τα αρχεία του σχεδίου του ρομποτικού χεριού στην ιστοσελίδα της MakerBot, όπου τα αρχεία θα μπορούσαν να κατεβαστούν δωρεάν, να διαμορφωθούν και να αναπαραχθούν από οποιονδήποτε θα τα χρειαζόταν. Ακόμα και τότε ο Van As λάμβανε πολυάριθμα αιτήματα για βοήθεια, καθώς ο κόσμος σάρωνε τα χέρια του και ζητούσε από το Van As βοήθεια σχετικά με την δημιουργία προσθετικού που να ταιριάζει στις προδιαγραφές του καθενός.

Ο αυξανόμενος αριθμός των ατόμων που ενδιαφερόντουσαν για την ιδέα ήταν καθηλωτικός. “Η αρχική ιδέα δεν ήταν ότι ένα άτομο σαν εμένα θα παρήγαγε χέρια μαζικά” λέει ο Van As. “Αυτοί οι εκτυπωτές δεν είναι φτιαγμένοι για αυτό το πράγμα. Έφτιαξα 189 χέρια από μόνος μου και μόνο τότε σταμάτησα να χρησιμοποιώ των εκτυπωτή, αλλά προφανώς υπάρχουν ακόμα 35.000 άλλα χέρια που έχουν φτιαχτεί.”

Όπως σε κάθε περίπτωση με τις εργασίες της 3D εκτύπωσης, ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά που προσέλκυσε τον κόσμο είναι η ιδέα της χαμηλής τιμής. Ένα βιοηλεκτρικό χέρι μπορεί να κοστίζει χιλιάδες ευρώ. Σε αντίθεση, ο Van As ισχυρίζεται ότι το ρομποτικό χέρι μπορεί να δημιουργηθεί για 470\$. Ακόμα και αν κάποιος σκεφτεί να αγοράσει ένα εκτυπωτή της MakerBot, τότε όλη η διαδικασία θα κοστίζει λίγο περισσότερο από 1000 ευρώ. Ακόμα και όταν αυτή η τιμή ήταν πολύ υψηλή για μερικές οικογένειες που είχαν έρθει σε επαφή με τον Van As, αυτός δημιούργησε ένα κουμπί δωρεών στην ιστοσελίδα του ρομποτικού χεριού, έτσι ώστε η γενναιόδωροι να μπορέσουν να βοηθήσουν αυτούς που έχουν ανάγκη. Αρκετοί από τους ανθρώπους που βοήθησε το ρομποτικό χέρι είναι παιδιά (μερικές περιπτώσεις ακόμα και δύο ετών) και είναι διασκορπισμένοι σε όλη την υφήλιο, από την Αυστραλία έως και τις ΗΠΑ.

Καθώς το ρομποτικό χέρι δεν έχει όλη την λειτουργικότητα ενός βιοηλεκτρικού μοντέλου, έχει όμως εκπληκτική δύναμη λαβής (ο Van As κάποτε έσπασε ένα ποτήρι φωνώντας το δικό του). Επίσης έχει το επιπρόσθετο χαρακτηριστικό του ότι είναι αδιάβροχο, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να κολυμπήσουν ή να κάνουν μπάνιο χωρίς να έχουν κανένα πρόβλημα. Το ρομποτικό χέρι είναι αρκετά απλή συσκευή αλλά αυτή είναι και η ουσία. “Η πολυπλοκότητα του σχεδίου είναι η απλότητα. Με την 3D εκτύπωση και με τον τρόπο με τον οποίο εκτυπώνει μπορούμε να δούμε βασικά ότι είναι ο μοναδικός τρόπος που μπορεί να επιτευχθεί η εκτύπωση ενός τέτοιου χεριού” εξηγεί ο Van As.





Εικόνα 4-7 Τρίχρονο παιδάκι φορώντας το ρομποτικό χέρι

Το ρομποτικό χέρι είναι ένα από αυτά τα πράγματα που πραγματικά επιδεικνύει πόσο χρήσιμη και σημαντική μπορεί να είναι η μοντέρνα τεχνολογία. Χωρίς την πρόσβαση σε ένα 3D εκτυπωτή καταναλωτικού επιπέδου, χωρίς την πρόσβαση στο ίντερνετ, χωρίς την πρόσβαση στο λογισμικό CAD, ποτέ δεν θα μπορούσε να γίνει πραγματικότητα αυτό το σχέδιο. Όλοι αυτοί οι άνθρωποι είτε θα αποταμίευαν χρήματα για ένα προσθετικό χέρι είτε θα προσπαθούσαν να βρουν έναν τρόπο να λειτουργήσουν χωρίς αυτό.

Όταν ο Van As είχε το ατύχημα του το 2011, δεν θα μπορούσε ποτέ να φανταστεί ότι αυτό θα οδηγούσε σε κάτι με τέτοια κλίμακα. "Κάτι το οποίο ξεκίνησε σαν μια βοήθεια για τον εαυτό μου ξαφνικά έγινε παγκόσμιο. Οι άνθρωποι σαρώνουν τα χέρια τους, μου στέλνουν τα καλούπια τους και τα εκτυπώνουμε για να φτιάξουμε ρομποτικά χέρια. Είναι κάτι το αξιοθαύμαστο" λέει ο Van As.

#### 4.4 Μόδα

Η ιδέα της μαζικής παραγωγής ρούχων είναι σχετικά καινούργια στην ιστορία της ανθρωπότητας. Είναι φαινόμενο του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Πιο πριν, τα ρούχα σχεδιάζονταν αποκλειστικά να ταιριάζουν στο άτομο που θα τα φορούσε, είτε από ράφτη, είτε από κάποια υπηρέτρια, είτε από τον ίδιο τον χρήστη.

Αν και τα είδη των υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους οικιακούς 3D εκτυπωτές δεν είναι κατάλληλα για την δημιουργία των ρούχων, η ιδέα ότι τα ρούχα και τα αξεσουάρ θα αρχίσουν να φτιάχνονται ξανά συγκεκριμένα για κάθε άτομο, δεν φαντάζει να είναι τόσο γελοία. Αρκετοί σχεδιαστές έχουν αρχίσει να πειραματίζονται με τα 3D εκτυπωμένα ρούχα. Αν και στην παρούσα χρονική περίοδο φαίνεται ότι αυτά τα πειράματα χρησιμοποιούνται μόνο κατ' οίκων, μπορεί όμως όλη αυτή η πρωτοπορία να εγκατασταθεί άμεσα στα σχέδια των σχεδιαστών στο κοντινό μέλλον.





Εικόνα 4-8 3D printing fashion

#### 4.4.1 3D σχέδια στην πασαρέλα

Κατά την διάρκεια της Εβδομάδας της Μόδας στο Παρίσι το 2013, η σχεδιάστρια Iris van Herpen, δημιούργησε μια 3D εκτυπωμένη φούστα και μια μπέρτα με την βοήθεια του εκτυπωτή Stratasys Object Connex. Το σύνολο έδειξε τη δυνατότητα του εκτυπωτή να τυπώνει με πολλαπλά υλικά, χρησιμοποιώντας και σκληρά και απαλά υλικά για να δημιουργήσει περίτεχνες υφές και παράξενα σχήματα. Από απόσταση φαίνονται εξωγήινα αλλά από κοντά είναι εκπληκτικά. Δεν είναι το είδος ενδυμασίας που θα μπορούσαμε να βρούμε σε ένα μικρό μαγαζάκι, αλλά είναι το είδος που θα φορούσε η Lady Gaga σε μια παράσταση της.

Άλλο ένα κομμάτι της Iris van Herpen που επιδείχθηκε σε αυτήν την κολεξιόν, ήταν ένα μαύρο φόρεμα σχεδιασμένο σε συνεργασία με την αρχιτέκτονα Julia Koerner. Το φόρεμα δημιουργήθηκε από ένα νέο υλικό το TEU-92A, το οποίο είναι γνωστό για την ελαστικότητα του και για την αντοχή του. Παρά την δαντελένια υφή του, το φόρεμα ήταν δυνατό και ανθεκτικό και λίγο διαφανές. Δεν ήταν ένα καθημερινό κομμάτι αλλά δεν έπαυε να είναι αυθεντικό και καταπληκτικό.



Εικόνα 4-9 Δαντελένιο φόρεμα της Iris van Herpen

#### 4.4.2 3D παπούτσια

Εκτός από φορέματα και φούστες η van Herpen, πειραματίστηκε και με 3D εκτυπωμένα παπούτσια. Ως μέρος μια κολεξιόν της, επέδειξε δώδεκα διαφορετικά 3D εκτυπωμένα παπούτσια. Δουλεύοντας με μια άλλη αρχιτέκτονα, την Rem D. Koolhaas, η van Herpen δημιούργησε παπούτσια εμπνευσμένα από ρίζες δέντρων. Έφτιαξαν μαζί παπούτσια με περίτεχνα πλέγματα που τυλιγόντουσαν γύρο από τα πέλματα των μοντέλων. Αναπτύσσοντας τα παπούτσια έτσι ώστε τα μοντέλα να μπορούν πραγματικά να περπατήσουν μέσα σε αυτά, χρειάστηκαν πολλές επαναληπτικές δημιουργίες πρωτότυπων. Αυτές οι επαναλήψεις και οι δοκιμές σήμαιναν ότι οι σχεδιαστές θα μπορούσαν να αναπτύξουν τα σχέδια τους μέχρις ότου να ικανοποιηθούν πλήρως.

Μπορεί να φαίνονται βαριά, αλλά τα υλικά από τα οποία εκτυπώθηκαν μπορεί να σημαίνει ότι πιθανώς είναι πολύ ελαφρύτερα από τα μέσα παπούτσια. Χρησιμοποιώντας το πλεονέκτημα ότι το 3D εκτυπωμένο νάιλον είναι αρκετά ανθεκτικό, αυτά τα παπούτσια είναι φτιαγμένα σε στενή γραμμή επιδεικνύοντας την δομή τους. Αν και φαίνονται ντελικάτα, στην πραγματικότητα είναι δυνατά και τα περίπλοκα τακούνια τους είναι ικανά να υποστηρίξουν το βάρος του χρήστη. Δεν είναι άβολα όπως φαίνονται γιατί έχουν δερμάτινο εσωτερικό και μια λαστιχένια σόλα στην βάση έτσι ώστε να μπορούν να φοριούνται καθημερινά.



Εικόνα 4-10 Παπούτσια της Iris van Herpen

Η εταιρεία Continuum Fashion δημιούργησε τα παπούτσια Strvct, τα οποία περιλαμβάνουν μερικά διαφορετικά σχέδια και μπορούν να διαμορφωθούν προσωπικά για κάθε πελάτη, επειδή κάθε ζευγάρι εκτυπώνεται κατά παραγγελία. Τα παπούτσια κοστίζουν 900\$ το ζευγάρι, οπότε μπορούμε να δούμε ότι δεν είναι μια παρορμητική αγορά αλλά μια επιλογή διαφορετικότητας.

#### 4.4.3 3D αξεσουάρ

Ένας άλλος προσιτός τρόπος για να φορέσουμε ένα κομμάτι της 3D εκτύπωσης είναι να αγοράσουμε 3D εκτυπωμένα αξεσουάρ. Τα 3D εκτυπωμένα οπτικά γίνονται όλο και περισσότερο διαδεδομένα. 3D εκτυπωμένοι σκελετοί για γυαλιά κάθε είδους, με διαφορετικά μεγέθη και σχήματα και ποικιλία χρωμάτων υπάρχουν πλέον στην αγορά. Οι τιμές ξεκινάνε από περίπου 30\$.

Νέες ιδέες παρέχονται για τους καταναλωτές στην αγορά των οπτικών. Ο καταναλωτής μπορεί να παραγγείλει 3D εκτυπωμένα γυαλιά της επιλογής του, τα οποία θα είναι κατάλληλα διαμορφωμένα για τον ίδιο τον χρήστη. Τα συνηθισμένα γυαλιά απαιτούν μια μικρή προσαρμογή έτσι ώστε να "κάθονται" σωστά στο πρόσωπο επειδή δεν έχουν όλοι την ίδια μύτη και τα ίδια αυτιά. Το να μπορούμε όμως να αγοράσουμε γυαλιά αποκλειστικά για το πρόσωπο μας είναι κάτι το πρωτοποριακό.

Ένα άλλο συχνό 3D εκτυπωμένο αξεσουάρ είναι οι προστατευτικές θήκες για κινητά και τάμπλετ. Οι θήκες έχουν απλή μορφή, είναι μικρά και φτιαγμένα από άκαμπτο η εύκαμπτο πλαστικό. Όλα τα στοιχεία τα οποία κάνουν τις θήκες κατάλληλες να εκτυπωθούν

και στον πιο απλό 3D εκτυπωτή. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι υπάρχει έλλειψη δημιουργικότητας στα διαθέσιμα σχέδια. Με λίγη αναζήτηση στο διαδίκτυο μπορούμε να βρούμε θήκες με περίτεχνα γεωμετρικά σχήματα, πολλά και διάφορα σχέδια από ταινίες, βιβλία, μουσική και οτιδήποτε μπορεί να φανταστεί ο νους μας. Το καλύτερο από όλα όμως είναι ότι οι θήκες κυκλοφορούν σε λογικές τιμές και σε οποιοδήποτε χρώμα της αρεσκείας μας.

#### 4.4.4 Κοσμήματα

Υπάρχουν εκατοντάδες διαφορετικά αξεσουάρ που μπορούν να 3D εκτυπωθούν, είτε είναι σκουλαρίκια, είτε είναι διακοσμητικά για κορδόνια. Ο σημαντικότερος τομέας όμως είναι τα κοσμήματα. Τα κοσμήματα πλέον, 3D εκτυπώνονται γιατί οι σχεδιαστές δεν θέλουν να παρασκευάσουν και να αποθηκεύσουν πολλά κομμάτια άσκοπα. Η αγορά των 3D εκτυπωμένων κοσμημάτων άρχισε να διευρύνεται επειδή τα ημιπολύτιμα μέταλλα όπως ο χαλκός, το ανοξείδωτο ατσάλι και τα επι-ασημωμένα ή επι-χρυσωμένα νικελ είναι ευρέως διαθέσιμα στην αγορά. Αυτού του είδους κοσμήματα είναι ευκολότερο να διαμορφωθούν από ότι τα παραδοσιακά κοσμήματα, αφού οι τροποποιήσεις στο μέγεθος ή η πρόσθεση αφιέρωσης ή άλλων παρόμοιων λεπτομερειών γίνεται χωρίς καμία δυσκολία.

Υπάρχουν πολλά γεωμετρικά σχήματα και μικροσκοπικές λεπτομέρειες που θα μπορούσαν πολύ δύσκολα να επιτευχθούν με οποιοδήποτε άλλο τρόπο, ειδικά στις τιμές που τα αντικείμενα αυτά είναι διαθέσιμα. Για παράδειγμα ένα δαχτυλίδι που είναι βασισμένο στην δομή αλυσίδων DNA, μπορεί να εκτυπωθεί σε διάφορα μεγέθη για λιγότερο από 25\$.

#### 4.4.5 3D εκτυπώσεις στο σπίτι

Οι μέρες, όπου ο καταναλωτής θα αγοράζει φυσικά αντικείμενα από τα καταστήματα, ελαττώνονται. Ο σχεδιαστής Janne Kytanen σε συνεργασία με την εταιρεία 3D Systems δημιούργησε τέσσερα διαφορετικά στυλ 3D εκτυπωμένων παπουτσιών, τα οποία μπορούν να εκτυπωθούν στο σπίτι. Τα σχέδια είναι διαθέσιμα δωρεάν και μπορούν να εκτυπωθούν σε πολλά μεγέθη. Χρειάζονται περίπου έξι με επτά ώρες για να εκτυπωθεί ένα παπούτσι, έτσι υπάρχει πιθανότητα να εκτυπωθεί ένα ζευγάρι παπουτσιών κατά την διάρκεια της νύχτας και να φορεθεί την επόμενη μέρα.

Οι οικιακοί 3D εκτυπωτές δεν είναι ακόμα, αρκετά διαδεδομένοι, έτσι ώστε τα 3D εκτυπωμένα αξεσουάρ και ρούχα να είναι καθημερινής χρήσης. Το μόνο σίγουρο είναι ότι αυτή η νέα τάση έχει κάνει την εμφάνιση της στον ορίζοντα. Πολλοί σχεδιαστές θέλουν ήδη να ακολουθήσουν το παράδειγμα του Kytanen, προσφέροντας τα σχέδια τους δωρεάν. Πολλές ιστοσελίδες 3D εκτύπωσης προσφέρουν τα αρχεία για την εκτύπωση έναντι κάποιου κόστους, αφού ούτως ή άλλως οι σχεδιαστές πρέπει να πληρωθούν για την δουλειά τους.

Φαντάζει πολύ ενθουσιώδες να μπορούμε να τροποποιούμε και να φτιάχνουμε τα δικά μας προϊόντα στο σπίτι, δίχως να χρειάζεται να πάμε στα καταστήματα ή να περιμένουμε την παραγγελία. Το μοναδικό πρόβλημα θα ήταν η ποσότητα του υλικού για την 3D εκτύπωση, έτσι ώστε να υπάρχει πάντα αρκετό για να ολοκληρωθεί οποιοδήποτε αντικείμενο μας. Αυτός είναι και ο μοναδικός λόγος που θα χρειαζόμαστε ακόμα τα καταστήματα.

## 5 Τα αρνητικά της 3D εκτύπωσης

### 5.1 Όπλα

Η αρνητικότερη χρήση του 3D εκτυπωτή έως σήμερα, ήταν η δημιουργία, το 2013, ενός λειτουργικού 3D εκτυπωμένου όπλου. Το όπλο φτιάχτηκε από μια απελευθερωτική οργάνωση την Defense Distributed, με ιδρυτή τον Tom Cody Wilson. Ο στόχος της οργάνωσης σύμφωνα με την ιστοσελίδα είναι "η διασφάλιση της ελευθερίας της προσβασιμότητας στα όπλα, όπως είναι εγγυημένη από το σύνταγμα των Η.Π.Α.

Όταν η Defense Distributed πρωτοξεκίνησε, έβαλε σε λειτουργία μια καμπάνια για να μαζέψει λεφτά να αγοράσει έναν 3D εκτυπωτή. Ο στόχος της καμπάνιας ήταν τα 20.000\$, αρκετά για να αγοραστεί ένας εκτυπωτής και αρκετό νήμα για πολλαπλές επαναλήψεις του όπλου. Μέσα σε τρεις εβδομάδες το σχέδιο είχε μαζέψει ήδη 2.000\$ σε δωρεές. Ο Wilson δεν έλαβε ποτέ αυτά τα χρήματα. Η ιστοσελίδα στην οποία γινόταν η καμπάνια, τερμάτισε όλη την επιχείρηση, διότι οι όροι χρήσης της ιστοσελίδας απαγόρευαν την οποιαδήποτε μέθοδο ανεύρεσης χρημάτων για όπλα, με αποτέλεσμα όλες οι δωρεές να επιστραφούν πίσω. Αυτό όμως δεν σταμάτησε τον Wilson επειδή η ιστοσελίδα της Defense Distributed πλέον δεχόταν τις δωρεές κατευθείαν σε αυτήν.

Ακόμα και τώρα δεν είχε αρκετά χρήματα για να αγοράσει έναν εκτυπωτή, έτσι για αυτό το λόγο η οργάνωση αποφάσισε να νοικιάσει έναν. Και όταν και η ιδιοκτήτρια του εκτυπωτή, η Stratasys, έμαθε για ποιο λόγο θα χρησιμοποιούταν ο εκτυπωτής της, αποσύρθηκε και αυτή. Έστειλε μια ομάδα να πάρει πίσω τον εκτυπωτή από τον Wilson, πριν καν αυτός να έχει την ευκαιρία να εκτυπώσει το πρώτο του πρωτότυπο.

Αυτές οι αναποδιές βοήθησαν μόνο να αναπτύξουν την αποφασιστικότητα της οργάνωσης και να τελειώσουν το σχέδιο τους το Μάιο του 2013, έχοντας στην διάθεση τους ένα λειτουργικό πρωτότυπο. Με την ονομασία "ο Απελευθερωτής", το πιστόλι είχε σχεδόν εκτυπωθεί ολοκληρωτικά. Το μόνο κομμάτι που δεν είχε εκτυπωθεί ήταν ένα καρφί το οποίο χρησιμοποιείται στην εκपुरσοκρότηση. Όλο το υπόλοιπο είχε βγει από ένα 3D εκτυπωτή και ήταν ικανό να πυροβολεί σφαίρες.

Η ιδέα ότι ο καθένας θα μπορούσε να εκτυπώνει ένα όπλο στο σπίτι του χωρίς κάποιου είδους άδειας ή απαγορεύσεις να τους σταματήσει, είναι πολύ τρομακτική. Και το γεγονός ότι αυτά τα όπλα θα ήταν φτιαγμένα από πλαστικό δεν βοηθάει τα πράγματα, γιατί με αυτό τον τρόπο θα ήταν πολύ εύκολο να τα περάσεις μέσα από ανιχνευτές μετάλλων μέσα σε υποτιθέμενες ασφαλείς περιοχές. Ωστόσο μετά από τέσσερις μέρες που τα αρχεία του Απελευθερωτή είχαν βγει στο διαδίκτυο, αφαιρέθηκαν και πάλι. Το Υπουργείο Εξωτερικών των Η.Π.Α ζήτησε από την Defense Distributed να αφαιρέσει όλα τα αρχεία, καθώς αυτό θα ερευνούσε αν η διανομή δωρεάν αρχείων για 3D εκτύπωση όπλων υπαγόταν στην παράβαση της σύμβασης διεθνών μεταφορών όπλων.

Η οικιακή 3D εκτύπωση είναι ακόμα νέα και ο νόμος δεν έχει ακόμα διαμορφωθεί κατάλληλα, το οποίο σημαίνει ότι θα υπάρξουν πολλές τέτοιες περιπτώσεις. Οι νομιμότητες της παρασκευής όπλων, είναι ήδη περίπλοκα στην Αμερική. Ο Wilson λέει ότι συμβουλευτικό δικηγόρο και αφού δεν πουλάει όπλα, είναι πλήρως μέσα στα δικαιώματα του η εκτύπωση προσωπικών όπλων, ειδικά αφού έχει άδεια όπλου.

Το μόνο που απομένει να δούμε αν θα του επιτραπεί η διανομή των αρχείων σε άλλους ανθρώπους. Στις τέσσερις μέρες που τα αρχεία του Απελευθερωτή ήταν στο



διαδίκτυο, κατέβηκαν περισσότερες από 100.000 φορές. Τα αρχεία βρίσκονται ακόμα εκεί έξω και πιθανώς ακόμα μοιράζονται.

## 5.2 ATM απάτες

Άλλη μια ανησυχητική χρήση των 3D εκτυπωτών έρχεται από την άλλη άκρη του κόσμου. Η αστυνομία του Σύδνεϋ έχει αναφέρει ότι συμμορίες εγκληματιών χρησιμοποιούν 3D εκτυπωμένες συσκευές για να κλέψουν στοιχεία πιστωτικών καρτών από τα ATM. Για χρόνια, κλέφτες χρησιμοποιούν συσκευές που μπαίνουν πάνω από τις υποδοχές των καρτών στα ATM, για να κλέψουν χρήματα από ανύποπτους χρήστες. Αυτές οι συσκευές συνήθως συνοδεύονται και από κάμερες. Το αρνητικό τους ήταν ότι είναι πολύ ευδιάκριτες αφού φτιάχνονται από ασυνήθιστα υλικά ή θα ήταν διαφορετικού χρώματος από ότι το υπόλοιπο μηχάνημα.

Εξαιτίας της τεχνολογίας της 3D εκτύπωσης, οι κλέφτες μπορούν τώρα να φτιάχνουν καλύτερες συσκευές, σχεδιασμένες να ταιριάζουν σε συγκεκριμένες μηχανές ATM και να είναι ολοκληρωτικά απαρατήρητες. Και επειδή οι 3D εκτυπωτές μπορούν να φτιάχνουν γρήγορα τα εξαρτήματα, μια συσκευή υποκλοπών η οποία ανακαλύφθηκε και έπειτα καταστράφηκε μπορεί πλέον να αντικατασταθεί γρήγορα.

Δεν είναι ξεκάθαρο πόσες συσκευές έχουν φτιαχτεί, άλλα τον Ιούνιο του 2010, η Βελγική εταιρεία 3D εκτύπωσης i.Materialise, ανέφερε ότι είχε λάβει μια παραγγελία για έναν ειδικά διαμορφωμένο υποκλοπέα ATM. Αρνήθηκε να εκτύπωσε την συσκευή αυτή και γνωστοποίησε ότι τότε δεν θα παρήγαγε συσκευές που θα υποστήριζαν εγκληματική δραστηριότητα. Αν δεν αναγνώριζε όμως αρκετά γρήγορα την παραγγελία αυτή, τα πράγματα θα μπορούσαν να είναι αρκετά διαφορετικά. Η i.Materialise επίσης ανέφερε ότι η συσκευή ήταν πολύ καλά σχεδιασμένη και ήταν σχεδόν απίθανο να μπορέσει κάποιος να τη διαφοροποιήσει από μια κανονική συσκευή ATM.

## 5.3 Κλειδιά

Ο David Lawrence και ο Eric Van Albert, φοιτητές του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης, δημιούργησαν έναν τρόπο για να χρησιμοποιούν τους 3D εκτυπωτές για να αντιγράψουν κλειδιά υψηλής ασφάλειας. Το είδος των κλειδιών που έρχεται με μια προειδοποίηση "ΜΗΝ ΑΝΤΙΓΡΑΦΕΤΕ", έτσι ώστε οι κλειδαράδες να ξέρουν να μην κάνουν αντίγραφο. Το είδος των κλειδιών που έχει συγκεκριμένα σχεδιαστεί για να είναι δύσκολο στην αντιγραφή, επειδή ανοίγουν σημαντικές κλειδαριές.

Η μέθοδος των φοιτητών αποτελούταν από την σάρωση των κλειδιών, την δημιουργία ενός 3D μοντέλου βασισμένο στην σάρωση σε ένα λογισμικό που οι ίδιοι είχαν δημιουργήσει και τελευταία ήταν η αποστολή των αρχείων για εκτύπωση. Επειδή δεν είχαν το δικό τους εκτυπωτή, ανέβαζαν τα αρχεία στις ιστοσελίδες Shapeways και i.Materialise και όπως ήταν αναμενόμενο, τα εκτυπωμένα κλειδιά δούλευαν.

Για να μπορέσουν να φτιάξουν τα αντιγραμμένα κλειδιά, ο Lawrence και ο Van Albert, πρωταρχικά χρειαζόντουσαν πρόσβαση στο αυθεντικό κλειδί έτσι ώστε να το σαρώσουν. Οπότε η μέθοδος τους δεν επιτρέπει σε οποιονδήποτε να εκτυπώσει κλειδιά. Πάντως η μέθοδος αυτή δημιουργεί νέες πιθανές παραβάσεις ασφαλείας, επειδή ο καθένας με πρόσβαση σε ένα τέτοιο κλειδί μπορεί να κάνει ένα αντίγραφο για τον εαυτό του ή και ακόμα να διανέμει τα αρχεία έτσι ώστε να τα αντιγράψει όποιος θέλει.

Αυτοί οι δύο φοιτητές δεν είναι οι μόνοι που μπόρεσαν να εκτυπώσουν 3D κλειδιά. Σε ένα συνέδριο για χάκερς το 2012, ένας χάκερ με το όνομα Ray, επέδειξε πως είχε

καταφέρει να εκτυπώσει κλειδί για χειροπέδες. Πάλι και σε αυτή την περίπτωση θα έπρεπε να έχει πρόσβαση στα αρχικά κλειδιά. (Βασισμένο στο επιστημονικό περιοδικό THE ULTIMATE GUIDE TO 3D PRINTING της MAGBOOK)

Ταλαντούχοι 3D σχεδιαστές έχουν ξεπεράσει το πρόβλημα της πρόσβασης στα αυθεντικά κλειδιά, διότι μπορούν να σχεδιάσουν κλειδιά μόνο από φωτογραφίες. Από πού όμως κάποιος μπορεί να βρει μια φωτογραφία ενός υψηλού ασφαλείας κλειδιού; Η απάντηση είναι λίγο ειρωνική, γιατί τουλάχιστον σε δυο περιπτώσεις, οι χάκερς είχαν την δυνατότητα να αντιγράψουν κλειδιά βασισμένα σε φωτογραφίες σε διαδικτυακά άρθρα, όπου το θέμα τους ήταν η αντιγραφή κλειδιών από φωτογραφίες.

Η New York Post έπρεπε να αποσύρει ένα άρθρο στο οποίο απεικονιζόταν η φωτογραφία ενός κλειδιού master για το ασανσέρ, το οποίο μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν πυροσβέστες και αστυνομικοί. Επίσης και η Forbes δημοσίευσε μια φωτογραφία τραβηγμένη από μια δημοσιογράφο στο κινητό, ενός κλειδιού από χειροπέδες.

Και οι δυο φωτογραφίες οδήγησαν στη σχεδίαση των κλειδιών τα οποία και διανεμήθηκαν διαδικτυακά. Αυτά τα περιστατικά μας δείχνουν πόσο προσεκτικοί θα πρέπει να είμαστε στο μέλλον. Αν δείξουμε τα κλειδιά του σπιτιού μας στον λάθος άνθρωπο στην λάθος στιγμή, μπορεί να βρεθούμε στη θέση του να γυρίσουμε μια μέρα σπίτι μας και να το βρούμε άδειο.

#### 5.4 Προσαρμογή του νόμου

Τις τελευταίες δεκαετίες επιδείχτηκε καθαρά ότι ο νόμος έχει πρόβλημα στο να συμβαδίζει με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Πράγματα τα οποία πριν ήταν ανήκουστα τώρα πλέον είναι δυνατά, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν και κατάλληλοι νόμοι. Το πρόβλημα είναι ότι η άνθρωποι στην εξουσία δεν καταλαβαίνουν πάντα από τι πρέπει να προστατευτούν. Η κατάσχεση μερικών ακίνδυνων 3D εκτυπωμένων κομματιών, ως μέρος μια επιδρομής της αστυνομίας του Μάντσεστερ τον Οκτώβριου του 2013, μας δείχνει ότι είναι αναγκαία η καλύτερη κατανόηση των πραγμάτων, αλλιώς πρωτοσέλιδα για 3D εκτυπωμένα όπλα θα οδηγήσει τον κόσμο σε μαζική υστερία.

Μέσα στα επόμενα χρόνια, οι κυβερνήσεις θα πρέπει να βρουν ενημερωμένους συμβούλους για να τους ενημερώνουν σχετικά με τις νέες τεχνολογικές ανακαλύψεις και να τους βοηθούν στην θέσπιση νέων νόμων για την καταπολέμηση της εγκληματικής δραστηριότητας χωρίς τον παραγκωνισμό της καινοτομίας. Θα είναι δύσκολη η επίτευξη της ισορροπίας, αλλά αν το πετύχουν θα είναι πολύ σημαντικό στις ήδη υπάρχουσες εταιρείες 3D εκτύπωσης αλλά και τις ανερχόμενες εταιρείες.



## 6 Το μέλλον της 3D εκτύπωσης

### 6.1 Το υλικό ως ο σημαντικότερος παράγοντας

Ο Andy Middleton, γενικός μάνατζερ της εταιρείας Stratasys για την Ευρώπη, την Μέση Ανατολή και την Αφρική αναφέρει: "Όσο αφορά την εξέλιξη της 3D εκτύπωσης και της κατεύθυνσης που οδεύει, πιστεύω ότι η ανάπτυξη των υλικών θα είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Η δυνατότητα να εκτυπώσουμε μοντέλα από πολλά υλικά σε μια μόνο δομή, είναι μια αυξανόμενα επιθυμητή απαίτηση από τους σχεδιαστές προϊόντων. (Βασισμένο στο επιστημονικό περιοδικό THE ULTIMATE GUIDE TO 3D PRINTING της MAGBOOK)

Αυτή η ικανότητα σημαίνει ότι το σχεδιαστικό στούντιο μπορεί να εκτυπώνει περίπλοκα αντικείμενα και τελειοποιημένες συναρμολογήσεις, με ένα συνδυασμό από λαστιχένια εύκαμπτα και άκαμπτα υλικά. Αυτή η ικανότητα, μαζί με την υψηλή ακρίβεια εκτύπωσης μας, σημαίνει ότι οι χρήστες θα έχουν την δυνατότητα να παράγουν μοντέλα που θα μιμούνται καλύτερα την εμφάνιση, την αίσθηση και την λειτουργικότητα του τελικού προϊόντος. Όσο τα υλικά συνεχίζουν να αναπτύσσονται, η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης θα προχωράει περισσότερο.

Προχωρώντας μπροστά, η Ευρωπαϊκή Ένωση και η κυβέρνηση των ΗΠΑ έχουν βάλει ως προτεραιότητα την 3D εκτύπωση. Προσπαθούν με αυτήν, αλλά και με άλλες τεχνολογίες, να θέσουν τα θεμέλια για μια αναγέννηση της κατασκευαστικής. Μαζί με άλλες καινοτομίες όπως η νανοτεχνολογία και η βιοτεχνολογία, η 3D εκτύπωση μπορεί να βοηθήσει στην ανοικοδόμηση της καινοτομίας και της αποδοτικότητας στις δυτικές οικονομίες, που ακόμα υποφέρουν από την οικονομική κρίση".

### 6.2 Η 3D εκτύπωση σε 10 χρόνια

Ο Marc Auger, συνιδρυτής της εταιρείας Isis 3D ερωτάται:

*Μια εύκολη ερώτηση εδώ είναι που θα είναι η 3D εκτύπωση σε 50 χρόνια: σε εκείνο το σημείο, θα υπάρχουν 3D εκτυπωτές παντού, είτε σε σπίτια είτε σε εργοστάσια, με την δυνατότητα να εκτυπώνονται laptops και άλλα διάφορα πράγματα σε γρήγορες ταχύτητες. Το παράδειγμα της συμβατικής κατασκευής δεν θα υπάρχει πια. Η μεγαλύτερη ερώτηση είναι 'που θα είναι σε 10 χρόνια' δεν μπορώ να πω. Νομίζω ότι θα δούμε στο άμεσο μέλλον, εκτυπωτές αρκετών χιλιάδων δολαρίων να κάνουν τρελά πράγματα, να εκτυπώνουν γρήγορα, να χρησιμοποιούν πολλαπλά υλικά και να μπορούν να τυπώνουν αντικείμενα υψηλής λεπτομέρειας. Πιστεύω ότι αυτό θα συνοδευτεί με ένα νέο λογισμικό cad το οποίο θα είναι προσβάσιμο σε ένα εντελώς νέο επίπεδο. Αυτή την στιγμή, το λογισμικό cad είναι σχεδόν αποκλειστική δικαιοδοσία των επαγγελματιών μηχανικών. Νομίζω ότι θα το δούμε να γίνεται πιο πολύ σαν το λογισμικό word, κάτι το οποίο ο μέσος άνθρωπος θα έχει την βασική δυνατότητα να χρησιμοποιήσει χωρίς να είναι μηχανικός. Θα δούμε επίσης αυξημένες ποσότητες ψηφιακής διανομής από φυσικά πράγματα. Υπάρχει πολύ μεγάλη δημοσιότητα αυτή την στιγμή στην ατομική παρασκευή και δεν νομίζω να είναι ακόμα η εποχή της. Η τεχνολογία είναι πάρα πολύ περιορισμένη. Είναι αργή, είναι περιορισμένη στο τι μπορεί να κάνει, μπορεί να τυπώσει πράγματα μονό από ένα υλικό και δεν μπορούμε ακόμα να συγκρίνουμε τις εκτυπώσεις με τα πράγματα τα οποία φτιάχνονται μέσα στα καλούπια. Μπορούμε να πάρουμε κάτι το οποίο είναι χρήσιμο για τα πρωτότυπα, αλλά δεν μπορεί να ανταγωνιστεί βιομηχανικά. Πιστεύω ότι αυτοί οι περιορισμοί σιγά σιγά θα φύγουν. Μπορεί να μην έχουμε την δυνατότητα να εκτυπώσουμε τα laptop μας στο σπίτι, αλλά τα εργοστάσια θα μπορούν να τυπώνουν την πλειοψηφία των μερών και να τα*

συναρμολογεί με λιγότερα χρήματα και με πολύ λιγότερο κόπο. (Βασισμένο στο επιστημονικό περιοδικό THE ULTIMATE GUIDE TO 3D PRINTING της MAGBOOK)

### 6.3 3D εκτύπωση σε καθημερινή βάση

Ο Sylvain Preumont, γενικός διευθυντής της iMakr αναφέρει:

*«Το κατάστημα της iMakr είναι γεμάτο από μικροσκοπικά πράγματα, τα οποία όταν τα χρειαστήκαμε τα φτιάξαμε. Αυτό δεν είναι κάτι το εντυπωσιακό ούτε εξωπραγματικό, αλλά είναι αληθινό και αύριο θα υπάρχει παντού. Ο κόσμος αντιλέγει σε αυτό, λέγοντας 'Αλήθεια πιστεύεται ότι θα χρησιμοποιούμε την 3D εκτύπωση για να τυπώνουμε τέτοιου είδους πράγματα; Είναι ευκολότερο να το κάνουμε με άλλο τρόπο' η απάντηση είναι ναι, θα χρησιμοποιήσουμε την 3D εκτύπωση για αυτό το λόγο, αν και είναι ευκολότερο να το κάνουμε με άλλους τρόπους. Γιατί έτσι; Σκεφτείτε την μουσική. Πως μπορείτε να ακούσετε την μουσική; Υπάρχουν αρκετές δυνατότητες. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα στερεοφωνικό, ένα γραμμόφωνο, μία κασέτα, το Walkman ή μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το κινητό σας. Στην τελική πιο χρησιμοποιείται; Δεν είναι το καλύτερο για αυτή την χρήση, αλλά κάνετε τόσα πολλά με το κινητό σας, όπως στέλνεται email, το χρησιμοποιείται για το YouTube, το χρησιμοποιείται για να παίξετε παιχνίδια, τώρα το χρησιμοποιείται για να ακούσετε και μουσική. Οι 3D εκτυπωτές είναι το ίδιο. Μόλις θα έχετε αυτό το μηχάνημα και το χρησιμοποιήσετε για κάποιους λόγους, έτσι όταν χρειαστείτε κάτι ακόμα, θα ξανά χρησιμοποιήσετε των εκτυπωτή σας. Θα μπορούσατε να το κάνετε με πολλούς τρόπους, όπως να πάρετε ένα κομμάτι ξύλο και να το σκαλίσετε ή να πάρετε ένα κομμάτι πλαστικό και να το κόψετε ή να πατήσετε απλώς ένα κουμπί και να φτιαχτεί αυτόματα. Θα χρησιμοποιείτε τον εκτυπωτή σας, θα είναι εύκολο, θα είναι καθημερινό και τα παιδιά θα το χρησιμοποιούν συνέχεια. Είναι μια από αυτές τις τεχνολογίες όπου τα παιδιά σας μία μέρα θα ρωτήσουν 'Είναι αλήθεια όταν ήσουν παιδί δεν είχες 3D εκτυπωτή; Πως γίνεται αυτό; Υπήρχε ζωή πριν από τότε;»*

(Βασισμένο στο επιστημονικό περιοδικό THE ULTIMATE GUIDE TO 3D PRINTING της MAGBOOK)

## 7 Συμπεράσματα

Με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, όλο και περισσότεροι επιστημονικοί τομείς έρχονται στο προσκήνιο. Ένας τέτοιος τομέας είναι η 3D εκτύπωση. Η κοινωνία μας έχει πλέον αποδεχτεί αυτή την μορφή δημιουργικότητας και έχει ξεκινήσει να την χρησιμοποιεί σε καθημερινή βάση. Είτε κάποιος είναι αρχιτέκτονας είτε είναι σχεδιαστής μόδας, μπορεί να αξιοποιήσει της δυνατότητες ενός 3D εκτυπωτή.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση γίνεται από ειδικούς εκτυπωτές που αντί για μελάνι χρησιμοποιούν άλλα υλικά και τυπώνουν θεωρητικά τη μία σελίδα πάνω απ' την άλλη (με επαναλαμβανόμενη ελάχιστη υποχώρηση της βάσης του εκτυπωτή) δίνοντας όγκο στην τελική εκτύπωση. Υπάρχουν, φυσικά κι άλλες τεχνολογίες. Αυτό που εκτυπώνουν είναι μία ψηφιακή εικόνα, ένα αρχείο, που με κάποιο τρόπο έχει εισαχθεί ή παραχθεί σε έναν υπολογιστή και έχει μετατραπεί σε κατάλληλο για εκτύπωση μοντέλο. Τόσο απλό κι όμως ικανό να αλλάξει πολλά πράγματα στο μέλλον. Αρκεί να σκεφτούμε τα νέα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν και την αξιοποίησή τους, σαν ένα είδος έγχρωμου εκτυπωτή με πολλαπλά υλικά. Να σκεφτούμε εκτυπωτές ατομικούς και εκτυπωτές τεράστιους, ικανούς να φτιάχνουν σπία, αυτοκίνητα, ακόμα και βιολογικά «ανταλλακτικά». Έχουν ήδη επιτύχει να κατασκευάσουν εκτυπώσεις επίπλων, αξεσουάρ, ιατρικών προπλασμάτων και φυσικά όπλων.

Εκείνο που κάνει τόσο «επαναστατική» σήμερα αυτή την τεχνολογία είναι η δυνατότητα που δίνει για παραγωγή προϊόντων μέσω της ψηφιοποίησης. Συνδυάζοντας λογισμικό, scanners, προσομοιωτές και άλλες συσκευές, όπως αξονικούς τομογράφους ή στερεοσκοπικές φωτογραφίες και τρισδιάστατους εκτυπωτές σε μία συνεχόμενη ροή εργασίας, επιτρέπει έλεγχο και ακρίβεια στις πιο απαιτητικές εφαρμογές. Είναι η καρδιά που βρίσκεται πίσω από πρωτοποριακές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα οι προσωποποιημένες ιατρικές συσκευές και ο ακριβής χειρουργικός σχεδιασμός. Ο συνδυασμός αυτών των δυνατοτήτων με την ύπαρξη κατάλληλων υλικών που ήδη υπάρχουν (και πολύ περισσότερο με τα νέα υλικά που θα εφευρευθούν) και ποικίλουν από βιοσυμβατά μέταλλα μέχρι φαγώσιμα και κεραμικά, καθιστούν τις πιθανές εφαρμογές των τρισδιάστατων εκτυπωτών ουσιαστικά άπειρες.

Γίνεται φανερό ότι η ευρεία εφαρμογή τους θα αυξήσει ακόμα περισσότερο την παραγωγικότητα της εργασίας. Θα απαλλάξει τον άνθρωπο από κάποιες βαριές εργασίες και θα απαιτηθούν νέες δεξιότητες απ' τους εργαζόμενους. Θα παράγουμε με πρωτοποριακές μεθόδους παλιά και νέα προϊόντα σε ποσότητες και ποιότητα που δεν έχουμε σήμερα και το κυριότερο για όλα αυτά θα απαιτείται λιγότερος χρόνος εργασίας. Θα αλλάξει ο τρόπος μεταφοράς πολλών προϊόντων στις αγορές, όπως επίσης θα μεταβληθούν και οι συνήθειες των καταναλωτών.

Όμως επειδή μόνο η ανθρώπινη εργασία παράγει αξίες, η επιστήμη θα έρθει για άλλη μια φορά αντιμέτωπη με το καπιταλιστικό σύστημα. Η αντίθεση εργασίας και κεφαλαίου στις δοσμένες παραγωγικές σχέσεις θα βαθύνει. Έτσι λοιπόν γίνεται φανερό ότι παρόλο που τα νέα αυτά επιστημονικά επιτεύγματα απαλλάσσουν τον άνθρωπο από βαριές χειρωνακτικές εργασίες και αυξάνουν την παραγωγικότητα της εργασίας, κινδυνεύουν από ευλογία να μετατραπούν σε οδύνη. Είναι βέβαιο ότι θα αυξήσουν την ανεργία, την ελαστικότητα της εργασίας, θα επιφέρουν μειώσεις μισθών, συντάξεων και κοινωνικών παροχών. Εκτός και αν η ίδια η εργατική τάξη, σε μια ιστορικών διαστάσεων αφύπνιση, παλέψει για τη χειραφέτησή της.

## 8 Βιβλιογραφία

Evans Brian, 2012, Practical 3D Printers, The Science and Art of 3D Printing, Πρώτη έκδοση, California USA, Apress Berkely.

Micromart, 2014, THE ULTIMATE GUIDE TO 3D PRINTING, USA, SB Ltd.

Winnan D. Christopher, 2012, 3D PRINTING: THE NEXT TECHNOLOGY GOLD RUSH, Kindle Edition, USA.

Hod Lipson & Melba Kurman, 2013, Fabricated, The New World of 3D Printing, Indianapolis Indiana USA, John Wiley & Sons.