

## Αντί προλόγου

**Η** 4η Βιομηχανική Επανάσταση ή αλλιώς «Industry 4.0» βρίσκεται σε εξέλιξη, θέτοντας στο επίκεντρο των αλλαγών, πέρα από τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις οικονομικές και κοινωνικές σχέσεις – μια κοινωνία, μια οικονομία που κινείται σε διαφορετικούς ρυθμούς, αναδιαμορφώνοντας την παραγωγική διαδικασία, τις επιχειρησιακές διαδικασίες, τον τρόπο επικοινωνίας των ατόμων αλλά και των μηχανημάτων. Το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of things), το δίκτυο επικοινωνίας όλων των έξυπνων συσκευών αλλά και των ανθρώπων, η ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων (Big Data Analysis), η ασφάλεια των δεδομένων στον κυβερνοχώρο (Cybersecurity), η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D printing), συνθέτουν μια νέα πραγματικότητα σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο, ενώ την ίδια στιγμή δημιουργούν ένα διαφορετικό πλαίσιο λειτουργίας των οργανισμών και των επιχειρήσεων.

Υπάρχει όμως και μία ακόμη διάσταση, που ενώ ήταν πάντα γνωστή και αντιληπτή από τους ανθρώπους, σήμερα αποκτά ιδιαίτερη σημασία ενόψει του παραπάνω σχήματος, αυτή του χρόνου. Ο χρόνος ως περίοδος, ο χρόνος ως ταχύτητα, ο χρόνος ως οικονομικό μέγεθος, ο χρόνος ως δείκτης παρακολούθησης των αλλαγών. Η ταχύτητα των αλλαγών –κοινωνικών, οικονομικών, τεχνολογικών– μπορεί και σε άλλες περιόδους να χαρακτηρίστηκε ως «μεγάλη», υπήρξε όμως πάντα μια χρονική περίοδος υστέρησης ανάμεσα στις τεχνολογικές και τις κοινωνικές αλλαγές. Σε αντίθεση, σήμερα, οι τεχνολογίες κατασκευής προϊόντων όπως είναι το 3D printing, αναπτύσσονται, υιοθετούνται και αντικαθίστανται ταχύτατα από νέες, προκαλώντας ταυτόχρονες αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία και στην ίδια τη δομή της κοινωνίας.

Στο βιβλίο αυτό, θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με μία από τις συνιστώσες της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, το 3D printing, και αυτό γιατί πρόκειται για μια τεχνολογία που ωθεί τα πάντα σε γρηγορότερους ρυθμούς και ταυτόχρονα δίνει σε όλους πρόσβαση στην παραγωγική διαδικασία. Είναι η τεχνολογία κατασκευής αντικειμένων, που επηρεάζει τόσο όσους ασχολούνται με τον τομέα παραγωγής όσο και όσους θέλουν να κατασκευάσουν ένα προϊόν αλλά μέχρι σήμερα δεν είχαν τη δυνατότητα τεχνικά. Ουσιαστικά αφορά την τεχνολογία που δίνει βήμα στη φαντασία μας και την κάνει πραγματικότητα. Το τελευταίο, όσο περίεργο και ακραίο κι αν ακούγεται, άλλο τόσο αληθεύει. Το 3D printing μας επιτρέπει να σκεφτούμε και να φανταστούμε χωρίς όρια. Και αυτό γιατί προσφέρει σε όλους πρόσβαση τόσο στις εφαρμογές σχεδίασης προϊόντων όσο και σε μια «μηχανή» κατασκευής προϊόντων (έναν 3D printer). Χωρίς όρια αντιλαμβανόμαστε επίσης και τη μορφή των αντικειμένων και την ποικιλία τους. Η γεωμετρία ενός σχήματος δεν αποτελεί πλέον εμπόδιο στην κατασκευή του, όπως επίσης εμπόδιο δεν αποτελεί και η κατασκευή ενός προϊόντος που ενδέχεται να διαφέρει κάπως από το αρχικό προκειμένου να εξυπηρετεί ειδικές ανάγκες του χρήστη του.

Εδώ εισέρχονται και πάλι η έννοια του χρόνου και της ταχύτητας. Τι παραπάνω μας εξασφαλίζει αυτή η τεχνολογία; Μας επιτρέπει να κρατήσουμε πολύ σύντομα στα χέρια μας το αντικείμενο που μέχρι πρόσφατα το είχαμε μόνο ως σχέδιο, ή το είχαμε φανταστεί. Ο χρόνος μεταξύ της σύλληψης μιας ιδέας και της πραγματοποίησής της, της κατασκευής δηλαδή, είναι πλέον αξιοσημείωτα μικρός.

Οι κοινωνικές σχέσεις δεν μένουν στο απυρόβλητο της παραπάνω ελευθερίας, της παραπάνω προσβασιμότητας. Επίδικο πάντα των οικονομικών και κοινωνικών επιστημών αποτελεί η εξέταση της επίδρασης της κατοχής των μέσων παραγωγής στη διαμόρφωση των κοινωνικών σχέσεων. Η πρόσβαση ή η δυνατότητα πρόσβασης όλων στα μέσα παραγωγής συνεισφέρει στον εκδημοκρατισμό της παραγωγής και στην αλλαγή της δομής των κοινωνικών σχέσεων. Στη βιβλιογραφία το 3D printing αναγνωρίζεται ως βασικό μέσο εκδημοκρατισμού της παραγωγής. Και αυτό γιατί γίνεται πραγματικότητα η αύξηση του πληθυσμού που έχει πρόσβαση στα μέσα παραγωγής. Ο Karl Marx μίλησε για σχέσεις κυριαρχίας όσων κατέχουν τα μέσα παραγωγής. Το 3D printing κάνει κατόχους των μέσων παραγωγής όσους διαθέτουν έναν οικιακό τρισδιάστατο εκτυπωτή. Αν αναλογιστούμε τι σημαίνει αυτό, αντιλαμβανόμαστε την επανάσταση για την οποία συζητάμε.

Η συνέχεια, βέβαια, της παραπάνω δημόσιας συζήτησης αφορά τον χαρακτήρα της τεχνολογίας που αναπτύσσεται ραγδαία. Η αναπτυσσόμενη τεχνολογία είναι απόμακρη («τεχνολογία για την τεχνολογία»;) ή είναι απλή, φθηνή και έχει εφαρμογές στην καθημερινότητά μας; Το 3D printing διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά μιας τεχνολογίας τα αποτελέσματα της οποίας είναι απτά και εύκολα αντιληπτά. Πρόκειται για την τεχνολογία που συνεισφέρει στην ιατρική με την εκτύπωση προσθετικών μελών, στην αρχιτεκτονική και τη μηχανική με τη δημιουργία πρωτοτύπων, στην εκπαίδευση, στην προστασία του περιβάλλοντος με τη μειωμένη παραγωγή ανθράκων, στην ένδυση και υπόδηση, στην εστίαση.

Προφανώς, όπως ισχύει και σε όλες τις τεχνολογίες, ο τρόπος χρήσης της από τους ανθρώπους μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα. Ένα σημαντικό ζήτημα που εγείρεται είναι αυτό των πνευματικών δικαιωμάτων σχεδίασης. Η αδυναμία μας να το αντιμετωπίσουμε σχετίζεται κυρίως με την έλλειψη εμπειρίας μας σε αντίστοιχα ζητήματα.

Κλείνοντας αυτό το σύντομο εισαγωγικό σημείωμα, είναι σημαντικό να δώσουμε μια εκτίμηση του ποσοστού γνώσης της τεχνολογίας 3D printing στο ευρύ κοινό, ποσοστό που δεν ξεπερνά το 40%, ενώ η αποδοχή και η χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε πρόσφατα (2018) στη Βρετανία και στο Βέλγιο είναι περίπου 25%. Τα ποσοστά είναι μικρά και υποδηλώνουν την ανάγκη επικοινωνίας αυτής της νέας τεχνολογίας αλλά και αποδοχής της. Σε κάθε περίπτωση το βιβλίο αυτό αφορά την καινοτομία της 3D printing τεχνολογίας και τη νέα πραγματικότητα που αυτή δημιουργεί. Οι τεχνολογίες πάντα έχουν τους υποστηρικτές τους και τους αρνητές τους. Όσοι υποστηρίζουν την τρισδιάστατη εκτύπωση είναι οι αυριανοί πρωτοπόροι και ηγέτες του νέου κόσμου που διαμορφώνεται, είναι αυτοί που πιστεύουν ότι η τρισδιάστατη τεχνολογία τους προσφέρει τη δυνατότητα να κάνουν τη φαντασία τους πραγματικότητα. (Αλήθεια, υπάρχει άλλος δρόμος προς την πρωτοπορία, εκτός από τη φαντασία;) Ετούτο το βιβλίο αναφέρεται σε αυτούς.

# 1

## Μια γρήγορη ματιά στο 3D printing

### 1.1 Τι είναι το 3D printing

- Με τι ακριβώς ασχολείσαι;
- Με το 3D printing.
- Δηλαδή;
- Με την εκτύπωση αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις. Χρησιμοποιείς ένα ψηφιακό αρχείο ενός αντικειμένου που έχεις στον υπολογιστή σου και το εκτυπώνεις. Το αποτέλεσμα είναι ένα κανονικό αντικείμενο που έχει παραχθεί από έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή και είναι έτοιμο προς χρήση.
- Αυτό που περιγράφεις είναι επανάσταση, είναι ανατροπή. Ουσιαστικά μιλάς για έναν διαφορετικό τρόπο κατασκευής προϊόντων, έναν τρόπο που θέτει σε αναθεώρηση την έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας, έναν τρόπο που...

Ο παραπάνω διάλογος είναι και αληθινός και αντιπροσωπευτικός. Αυτή είναι η αντίδραση που έχουμε οι περισσότεροι όταν ακούμε πρώτη φορά για την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Οι εκτυπωτές τριών διαστάσεων (από εδώ και στο εξής θα τους αποκαλούμε «3D printers») είναι ίσως τα πιο σημαντικά μηχανήματα που εφευρέθηκαν, μια και κατασκευάζουν προϊόντα έτοιμα προς χρήση. Η εκτύπωση σε τρεις διαστάσεις αφορά εκείνη την τεχνολογική διαδικασία που μετατρέπει τα ψηφιακά αρχεία (digital files) σε απτά/συμπαγή αντικείμενα. Ο σχεδιασμός αυτών των ψηφιακών αρχείων πραγματοποιείται είτε μέσω ενός λογισμικού σχεδίασης (3D design, make up sketch, κλπ.) είτε μέσω ενός σαρωτή τριών διαστάσεων (3D scanner). Μόλις ξεκινήσει η διαδικασία της εκτύπωσης, το προς εκτύπωση μοντέλο χωρίζεται σε πολλά επίπεδα μικρής διατομής και ξεκινά η έγχυση του υλικού σταδιακά, επίπεδο επίπεδο, και «κατασκευάζεται/παράγεται» το προϊόν.

Υπάρχουν πολλών ειδών τρισδιάστατοι εκτυπωτές, η βασική όμως διαδικασία, έτσι όπως περιγράφεται από τον Barnatt (2013), αφορά τα επίπεδα που σχηματίζονται από την έκχυση ενός ρευστού υλικού από το ακροφύσιο της κεφαλής εκτύπωσης. Η ταχύτητα και η ποσότητα έγχυσης του υλικού ρυθμίζεται από τις προδιαγραφές κάθε εκτυπωτή και καθορίζεται από τον υπολογιστή με τον οποίο είναι συνδεδεμένος ο εκτυπωτής.

Η τεχνολογία 3D printing δεν είναι καινούργια, πρωτοεμφανίστηκε το 1980, όμως αύξηση στο μερίδιο αγοράς των νέων τεχνολογιών που αφορά τους τρισδιάστατους εκτυπωτές καταγράφηκε μετά το 2010. Σύμφωνα με την Έκθεση των Wohlers το 2018,

ο ρυθμός ανάπτυξης της βιομηχανίας του 3D printing ήταν 21% και η τιμή της μετοχής αυτής της βιομηχανίας εκτιμάται στα επτά (7) δισεκατομμύρια δολάρια, ενώ η πρόβλεψη για το τέλος του 2024 είναι 36,7 δισεκατομμύρια δολάρια. Σύμφωνα με την ίδια έκθεση, πάλι το 2017, πωλήθηκαν παγκοσμίως 528.952 οικιακοί τρισδιάστατοι εκτυπωτές. Η ετήσια έκθεση της Price Water Coopers (PwC) τον ίδιο χρόνο εκτιμούσε ότι μέχρι το τέλος του 2020 θα επενδύονται περισσότερα από 27 δισεκατομμύρια δολάρια στην αγορά οικιακών και εργοστασιακών τρισδιάστατων εκτυπωτών. Τέλος, σύμφωνα με την Google Trends, το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς της βιομηχανίας του 3D printing υπολογίζεται ότι θα αυξηθεί από το 2013 μέχρι το 2021 κατά 80%, δηλαδή από 4,4 δις δολάρια το 2013 σε 8 δις δολάρια το 2021.

Το 3D printing είναι η τεχνολογία που επιτρέπει σε όσους ασχολούνται ερασιτεχνικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση, να μετατρέψουν σε απτά αντικείμενα τις κατασκευές της φαντασίας τους (Lipson & Kurman, 2012). Με άλλα λόγια, το 3D printing προσφέρει στους χρήστες του την υπόσχεση αναπαραγωγής και μετασχηματισμού του φυσικού κόσμου, μια και προσφέρει νέες σχεδιαστικές μεθόδους και εργαλεία κατασκευής προϊόντων.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια «γρήγορη» τεχνολογία», μπορεί να τη χρησιμοποιήσει κανείς για τη γρήγορη παρασκευή ενός προϊόντος ή για την κατασκευή ενός προϊόντος το ψηφιακό αρχείο του οποίου έχει «ελαφρά τροποποιηθεί» (Casey, 2009). Είναι κοινή εκτίμηση ότι η κατασκευή προϊόντων με την τεχνολογία 3D printing δεν είναι «ακριβή» διαδικασία. Κοστίζει περίπου το ίδιο να εκτυπώσεις ένα αντικείμενο δύο φορές ή να εκτυπώσεις δύο αντικείμενα με κάποιες τροποποιήσεις στο αρχικό σχέδιο (Thilmany, 2009). Ο Alpern (2010) κάνει λόγο για ένα εύχρηστο εργοστάσιο, το οποίο είναι ολόκληρο εγκατεστημένο σε ένα κουτί (flexible factory in a box). Ο Olivarez (2009) κάνει λόγο για μια τελείως νέα διαφορετική εμπειρία του καταναλωτή. Αντί να αγοράζει αντικείμενα, αγοράζει ψηφιακά αρχεία, τα οποία εν συνεχεία εκτυπώνει είτε σε οικιακό τρισδιάστατο εκτυπωτή είτε σε εταιρείες εκτύπωσης τρισδιάστατων προϊόντων. Το παραπάνω αλλάζει τον τρόπο επιλογής και αγοράς προϊόντων, διαμορφώνει μια ψηφιακή αγορά την οποία επισκέπτεται κάποιος από οπουδήποτε και αποκτά το προϊόν οποιαδήποτε στιγμή, αποφασίζει να το εκτυπώσει.

Το 3D printing είναι η τεχνολογία που θα συμβάλει στον εκδημοκρατισμό της παραγωγικής διαδικασίας σε επίπεδο σχεδιασμού, προτυποποίησης και κατασκευής (Rayna & Striukova, 2016). Σε επίπεδο σχεδιασμού και ψηφιακών αρχείων, η δημοκρατία γίνεται αντιληπτή με τη συμμετοχή πολλών σχεδιαστών στην παραγωγή ψηφιακών αρχείων, είτε αυτοί είναι επαγγελματίες σχεδιαστές, είτε ερασιτέχνες που χρησιμοποιούν κάποιο λογισμικό για να σχεδιάσουν αρχεία, είτε αναζητούν έτοιμα αρχεία σε ψηφιακές βιβλιοθήκες, όπως είναι η thingiverse ([www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com)), ή η thangs (<https://thangs.com>) και στη συνέχεια τροποποιούν τα αρχεία αυτά, προκειμένου το τελικό αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται στις δικές τους ανάγκες.

Τέλος, στην τρισδιάστατη εκτύπωση χρεώνεται και η αναθεώρηση της αλυσίδας παραγωγής προϊόντων. Από την κλασική παραγωγική διαδικασία των τεσσάρων βημάτων (1) σχεδίασης, (2) προγραμματισμού πόρων, (3) κατασκευής προϊόντων και (4) πώλησης, περνάμε σε αλυσίδα παραγωγής όπου το στάδιο της πώλησης γίνεται πριν από τον προ-

γραμματισμό των πόρων και την κατασκευή των προϊόντων. Ο πελάτης/καταναλωτής τη στιγμή της πώλησης αγοράζει το ψηφιακό αρχείο, ενώ το προϊόν παράγεται εκ των υστέρων. Το τελευταίο σημαίνει ότι τα κόστη αποθήκευσης είναι μικρά, ενώ οι χώροι αποθήκευσης δεν είναι πάντα απαραίτητοι (Mavri, 2015)

## 1.2 Γιατί 3D printing?

Μια λογική απορία που προκύπτει όταν ακούει κάποιος για πρώτη φορά τον όρο «3D printing» αφορά στο περιεχόμενο του όρου. Μιλάμε για εκτύπωση ή για τεχνική κατασκευής; Το τεχνικό όνομα για το 3D printing είναι «Additive Manufacturing» (= Προσθετική κατασκευή), το οποίο είναι πιο αντιπροσωπευτικό και παρουσιάζει πιο δόκιμα τι πραγματικά συμβαίνει: κατασκευή με την προσθήκη υλικού.

Για πολλά χρόνια από τη στιγμή που εμφανίστηκε η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης, επικράτησε και χρησιμοποιούνταν, κυρίως στους κύκλους των μηχανικών και των κατασκευαστών, το όνομα «Rapid Prototyping» (= Γρήγορη κατασκευή πρωτοτύπων).

Ο Hornick (2016) σημειώνει ότι η ονομασία «3D Printing» είναι πιο «σέξι» από την ονομασία «Additive Manufacturing». Επίσης επισημαίνει ότι το 3D printing σηματοδοτεί πολύ καλύτερα την έννοια της επαναστατικής τεχνολογίας απ' ό,τι ο όρος «προσθετική κατασκευή».

Αυτό που πραγματικά είναι επαναστατικό στην τρισδιάστατη εκτύπωση, είναι η προβολή της τρίτης διάστασης. Από έναν εκτυπωτή τεχνολογίας inject που εκτυπώνει είτε έγχρωμα είτε ασπρόμαυρα σε ένα χαρτί, ξαφνικά προστίθεται η τρίτη διάσταση και ο εκτυπωτής εκτυπώνει αντικείμενα τα οποία κάποιος μπορεί να πιάσει στα χέρια του. Είναι η τεχνολογία που δίνει στον άνθρωπο την αίσθηση ότι η φαντασία του μπορεί να γίνει πραγματικότητα, του προσφέρει την υπόσχεση του ελέγχου του φυσικού κόσμου, μια και του δίνει εργαλεία σχεδίασης και εργαλεία κατασκευής πέρα από τα συνηθισμένα. Το ψηφιακό αρχείο ενός αντικειμένου μπορεί στην οθόνη του υπολογιστή να μοιάζει διακριτό και καλά δομημένο, όταν αρχίζει όμως να εκτυπώνεται, προσφέρει την αίσθηση της δημιουργικής ελευθερίας χωρίς φραγμούς.

Οι δέκα προϋποθέσεις του 3D printing που ακολουθούν αναδεικνύουν τη δύναμη αυτής της νέας τεχνολογίας στην καθημερινότητά μας.

- Για να καταλάβεις τι συζητάμε, θα προσπαθήσω να σου περιγράψω τις δέκα βασικές προϋποθέσεις του 3D printing. Προσδιορίστηκαν ως αποτέλεσμα της συλλογής της εμπειρίας ανθρώπων που ασχολήθηκαν με το 3D printing. Παρά το γεγονός ότι αφορά παλιά μελέτη (Lipson & Kurman 2013), συνεχίζει να θεωρείται σημαντική αφού δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα για το τι ακριβώς συμβαίνει με την προσθετική κατασκευή.
- Ωραία λοιπόν, σε ακούω.

## 1.3 Βασικές προϋποθέσεις του 3D printing

*Προϋπόθεση 1:* Η πολυπλοκότητα της κατασκευής είναι δωρεάν

Η πολυπλοκότητα στη μορφή ενός αντικειμένου αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στον κλασικό τρόπο κατασκευής. Είναι ανασταλτικός παράγοντας σε επίπεδο κόστους, χρόνου, σχεδίασης, προδιαγραφών των μηχανημάτων. Η προσθετική κατασκευή αφαιρεί από τον διάλογο το θέμα της πολυπλοκότητας. Απαιτούνται οι ίδιες γνώσεις χρήσης ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή, ο ίδιος χρόνος και απαιτείται ακριβώς η ίδια διαδικασία για να εκτυπώσει κάποιος ένα αντικείμενο που η μορφή του είναι απλή ή ένα αντικείμενο με αρκετά πολύπλοκη γεωμετρία.

*Προϋπόθεση 2:* Η ποικιλία είναι απεριόριστη

Στον κλασικό τρόπο παραγωγής οι μηχανές που χρησιμοποιούνται μπορούν να κατασκευάσουν αντικείμενα από ένα συγκεκριμένο φάσμα σχεδίων και η δυνατότητα μικρών αλλαγών σε ένα σχήμα απουσιάζει, αφού παραπέμπει σε άλλες ρυθμίσεις και σε άλλη παραγωγή. Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής μπορεί να εκτυπώσει ένα αντικείμενο σε πολλές παραλλαγές, αφού το μόνο που απαιτείται είναι να γίνουν τροποποιήσεις στο αρχικό ψηφιακό αρχείο προκειμένου να προκύψει αντικείμενο με νέα μορφή.

*Προϋπόθεση 3:* Δεν απαιτείται συναρμολόγηση

Η μαζική παραγωγή σημαίνει κατασκευή πολλών ίδιων αντικειμένων τα οποία εν συνεχεία συναρμολογούνται και δημιουργούνται τα τελικά προϊόντα. Αν κάτι διαφοροποιεί την τρισδιάστατη εκτύπωση ολοκληρωτικά από την κλασική κατασκευή, είναι τα προϊόντα που παράγονται, είτε είναι τελικά προϊόντα είτε είναι προϊόντα ημιτελικού σταδίου, που με ελάχιστη συναρμολόγηση γίνονται τελικά προϊόντα. Αυτό συνεπάγεται λιγότερο χρόνο συναρμολόγησης, ελαχιστοποίηση κόστους σε επίπεδο απασχόλησης προσωπικού και μεταφοράς των προϊόντων, και τέλος εφοδιαστική αλυσίδα μικρότερου μήκους. Όλα τα παραπάνω συνεπάγονται και περιορισμό της μόλυνσης του περιβάλλοντος.

*Προϋπόθεση 4:* Μηδενικός χρόνος παράδοσης

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ότι τα προϊόντα κατασκευάζονται κατόπιν παραγγελίας. Ο πελάτης αγοράζει ένα προϊόν βάσει ενός ψηφιακού αρχείου ή μιας εικόνας που είδε, και αυτό παράγεται εκ των υστέρων. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος αποθήκευσης είναι μικρό, αν όχι μηδενικό, και ο χρόνος παράδοσης επίσης είναι μικρός, αν όχι μηδενικός, αφού το αντικείμενο πρώτα ζητείται και πωλείται, μετά εκτυπώνεται και τέλος παραδίδεται. Στόχος είναι τα προϊόντα να ζητούνται και να παράγονται σε σημεία κοντινά στον τόπο διαμονής κάποιου για να περιορίζονται και τα έξοδα μεταφοράς.

*Προϋπόθεση 5:* Σχέδιο σε απεριόριστες διαστάσεις

Ο συμβατικός τρόπος κατασκευής αντικειμένων μπορεί να παράγει αντικείμενα από έναν πεπερασμένο αριθμό μοτίβων. Ό,τι υπάρχει στη φύση δεν μπορεί να αναπαραχθεί

σε επίπεδο μορφής μέσω του συμβατικού τρόπου κατασκευής. Πάντα υπάρχουν περιορισμοί στον σχεδιασμό των αντικειμένων και στην παραγωγή τους από τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, ένας τόννος ξύλου μπορεί να κατασκευάσει στρογγυλά αντικείμενα. Η τεχνολογία 3D printing αναιρεί τα όρια σε επίπεδο σχεδιασμού. Μπορούν να παραχθούν οποιαδήποτε αντικείμενα τα οποία υπάρχουν στη φύση και μέχρι σήμερα ήταν δύσκολο να σχεδιαστούν και να αναπαραχθούν.

*Προϋπόθεση 6: Δεν απαιτούνται γνώσεις κατασκευής προϊόντων*

Στην παραδοσιακή κατασκευή, όσο πιο λεπτομερές είναι το σχέδιο του αντικειμένου που πρόκειται να κατασκευαστεί, τόσο πιο άρτιο θα είναι το αντικείμενο που πρόκειται να παραχθεί. Αυτό σημαίνει ότι ο χειριστής που καλείται να χρησιμοποιήσει ένα μηχάνημα που μπορεί να λειτουργεί με την inject τεχνολογία απαιτείται να έχει εξειδικευμένες γνώσεις, σε επίπεδο κατασκευής, ρυθμίσεων μηχανημάτων κλπ. Στην τρισδιάστατη εκτύπωση, άπαξ και σχεδιαστεί το ψηφιακό αρχείο, δεν απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις για την κατασκευή του προϊόντος. Έναν 3D printer μπορεί να τον χειριστεί ένα άτομο με περιορισμένες δεξιότητες στον σχεδιασμό και μικρή εμπειρία στην κατασκευή/εκτύπωση.

*Προϋπόθεση 7: Συμπαγής, φορητή κατασκευή*

Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής έχει περισσότερες δυνατότητες κατασκευής αντικειμένων συγκρινόμενος με μια παραδοσιακή μηχανή κατασκευής προϊόντων. Ένα μηχάνημα με την τεχνολογία inject μπορεί να κατασκευάσει αντικείμενα μικρότερα από το μέγεθός του. Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής μπορεί να κατασκευάσει αντικείμενα με διαστάσεις όσο η βάση εκτύπωσής του (print bed) και ακόμη μεγαλύτερα αν η κεφαλή εκτύπωσης ρυθμιστεί να εκτυπώνει ελεύθερα και στις τρεις διαστάσεις.

*Προϋπόθεση 8: Λιγότερα απορρίμματα ανά αντικείμενο*

Πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό κυρίως για τα προϊόντα που κατασκευάζονται από μέταλλο. Ένας 3D printer που λιώνει το μέταλλο για να εκτυπώσει το αντίστοιχο αντικείμενο, αφήνει ελάχιστα απορρίμματα, ενώ μια μηχανή που κατασκευάζει μεταλλικά αντικείμενα από το υλικό που έχει διαθέσιμο χρησιμοποιεί το 10%, πάνω από το 90% του υλικού δεν χρησιμοποιείται.

*Προϋπόθεση 9: Απεριόριστη χρήση πολλών πρώτων υλών.*

Στον συμβατικό τρόπο κατασκευής η χρήση πολλών και διαφορετικών πρώτων υλών είναι δύσκολη και κάποιες φορές μη εφικτή διαδικασία. Τα μηχανήματα συνήθως χαράζουν, κόβουν ή λιώνουν τις πρώτες ύλες και εν συνεχεία κατασκευάζουν το προϊόν. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές με περισσότερες από μία κεφαλές εκτύπωσης προσφέρουν τη δυνατότητα χρήσης πολλών και διαφορετικών υλικών ταυτόχρονα.

*Προϋπόθεση 10: Ακριβής φυσική αναπαράσταση αντικειμένων.*

Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης, σε συνεργασία με την τρισδιάστατη σάρωση, επιτρέπουν την αναπαράσταση φυσικών αντικειμένων με εξαιρετικά μεγάλη ακρί-

βεια. Σήμερα μέσω ενός τρισδιάστατου σαρωτή μπορούμε να σαρώσουμε ένα αντικείμενο, με το κατάλληλο λογισμικό να γίνει επεξεργασία και να μετατραπεί σε ψηφιακό αρχείο και εν συνεχεία να εκτυπωθεί.

- Είπες όμως ότι πρόκειται για παλιά τεχνολογία; Τι ακριβώς εννοούσες;
- Αν και δεν είναι ευρέως γνωστό, αυτό που ονομάζουμε 3D Printing είναι τεχνολογία 40 χρόνων πλέον.

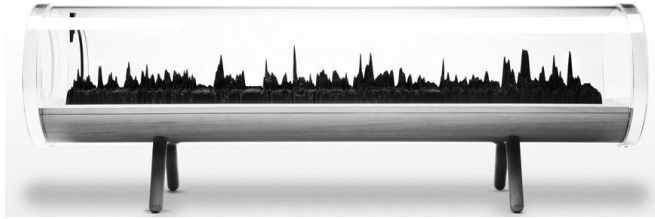
## 1.4 Ιστορικά στοιχεία του 3D Printing

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing) είχε ξεκινήσει ήδη από τη δεκαετία του 1980. Ως ιδέα είχε εμφανιστεί από τη δεκαετία του 1970, αλλά τα πρώτα πειράματα χρονολογούνται το 1980 από τον Ιάπωνα δρα Kodama για την ανάπτυξη μιας τεχνικής γρήγορης παραγωγής πρωτοτύπων. Ο Kodama ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τη μέθοδο Στερεολιθογραφίας (SLA), όπου φωτοευαίσθητη ρητίνη πολυμερίζεται με υπεριώδεις ακτινοβολίες. Να σημειώσουμε ότι στην ανάπτυξη και εξέλιξη της τεχνικής της Στερεολιθίας συνέβαλε και μία ομάδα Γάλλων μηχανικών (Alain Le Méhauté, Olivier de Witte και Jean-Claude André). Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη Στερεολιθογραφία (SLA) το κατοχύρωσε ο Charles Hull το 1986. Το 1988 ίδρυσε την 3D Systems Corporation και κυκλοφόρησε το SLA-1, το πρώτο εμπορικό τους προϊόν. Την ίδια χρονιά, στο Πανεπιστήμιο του Τέξας, ο Carl Deckard κατοχύρωσε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την τεχνολογία SLS, μια άλλη τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης στην οποία οι κόκκοι υλικού σε μορφή σκόνης συγχωνεύονται τοπικά με λέιζερ. Εν τω μεταξύ και ο Scott Crump, συνιδρυτής της Stratasys Inc., υπέβαλε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη μέθοδο Fused Deposition Modeling (FDM), την τεχνική υπερθέρμανσης και τήξης υλικού. Φαίνεται λοιπόν ότι οι τρεις βασικές τεχνολογίες της τρισδιάστατης εκτύπωσης, SLA, SLS, FDM κατοχυρώθηκαν με διπλώματα ευρεσιτεχνίας και κάπως έτσι γεννήθηκε η τρισδιάστατη εκτύπωση.

Τη δεκαετία του 90, αναδύονται οι κύριοι κατασκευαστές τρισδιάστατων εκτυπώσεων και αρχίζουν να αναπτύσσονται τα εργαλεία τρισδιάστατης μοντελοποίησης (3D Schetching/3D Modelling). Συγκεκριμένα, το 1990 ιδρύθηκε στην Ευρώπη η EOS GmbH και δημιούργησε το πρώτο σύστημα EOS "Stereos" για κατασκευή βιομηχανικών πρωτοτύπων και εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το 1992, το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την τεχνική Fused Deposition Modeling εκδόθηκε στη Stratasys, η οποία σχεδίασε, κατασκεύασε και πούλησε πολλούς οικιακούς και επαγγελματικούς 3D εκτυπωτές, ενώ το 1993 ιδρύθηκε το Solidscape. Το 1995, με βάση την τεχνολογία εκτύπωσης inkjet του MIT, δημιουργήθηκε ο 3D εκτυπωτής Z402, ο οποίος παρήγε μοντέλα χρησιμοποιώντας υλικά σε σκόνη με βάση άμυλο και γύψο και υγρό συνδετικό με βάση το νερό.

Από το 1999 η τρισδιάστατη εκτύπωση συμβάλλει στις νέες εξελίξεις στην ιατρική και η δεκαετία του 2000 αναδείχτηκε σε μία σημαντική δεκαετία για τις εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το 2000 δημιουργήθηκε το πρώτο τρισδιάστατο τυπωμένο νεφρό, ενώ το 2008 το πρώτο τρισδιάστατο τυπωμένο προσθετικό μέλος. Το 2004 ήταν το έτος





**Εικόνα 1:** Τρισδιάστατο γλυπτό της φωνής του π. Προέδρου των ΗΠΑ Μπαράκ Ομπάμα

Πηγή: [www.gillesazzaro.com](http://www.gillesazzaro.com)

έναρξης του έργου RepRap, το οποίο αφορά στη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή για την εκτύπωση νέου τρισδιάστατου εκτυπωτή. Το 2005, η ZCorp παρουσίασε το Spectrum Z510, τον πρώτο έγχρωμο εκτυπωτή υψηλής ευκρίνειας 3D. Το 2009 ήταν η χρονιά κατά την οποία τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας FDM περνούν πλέον στον δημόσιο τομέα, ανοίγοντας τον δρόμο για μια μαζική παραγωγή τρισδιάστατων εκτυπωτών που χρησιμοποιούν την τεχνική FDM. Η τιμή των εκτυπωτών αυτών μειώθηκε σημαντικά, κάτι που είχε ως αποτέλεσμα η τεχνολογία 3D Printing να γίνει πιο προσίτη. Το 2009 ήταν επίσης η χρονιά που δημιουργήθηκε η διαδικτυακή υπηρεσία εκτύπωσης 3D της Sculpteo, ενός από τους πρωτοπόρους των πλέον ανερχόμενων διαδικτυακών υπηρεσιών εκτύπωσης 3D.

Με τη λήξη του διπλώματος ευρεσιτεχνίας FDM, κατά τη δεκαετία του 2010 η προσθετική κατασκευή γίνεται πλέον προσίτη σε όλους και θεωρείται κατάλληλη για τη γρήγορη εκτύπωση πρωτοτύπων αλλά και για βιομηχανικές κατασκευές. Όλο και περισσότερες μικρές και μεγάλες εταιρείες εκμεταλλεύονται τη χαμηλή τιμή πρωτοτύπων που προσφέρει η 3D εκτύπωση και την ενσωματώνουν πλήρως στις διαδικασίες παραγωγής. Νέοι εκτυπωτές 3D κατασκευάζονται συνεχώς, οι οποίοι είναι περισσότερο αποτελεσματικοί, εκτυπώνουν γρηγορότερα και παρέχουν πρόσβαση σε νέα υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το 2015 το Carbon 3D εκδίδει την επαναστατική, εξαιρετικά γρήγορη, μηχανή εκτύπωσης CLIP 3D.

Κάποια από τα πρόσφατα επιτεύγματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η Urbee, το πρώτο τρισδιάστατο τυπωμένο αυτοκίνητο (2010), ο εκτυπωτής τρισδιάστατων τροφίμων από το Πανεπιστήμιο Cornell (2011), η πρώτη προσθετική σιαγόνα η οποία εκτυπώνεται και εμφυτεύεται (2012) και το πρώτο τρισδιάστατο τυπωμένο σπίτι (2018).

Επίσης, η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι παρούσα στις αποφάσεις χάραξης πολιτικής: το 2013, ο τότε Πρόεδρος των Η.Π.Α. Μπαράκ Ομπάμα αναφέρθηκε σε ομιλία του στην «Τρισδιάστατη εκτύπωση». Η εικόνα επάνω είναι ένα γλυπτό φωνής (voice sculpture) από τον γλύπτη Gilles Azzaro. Η βασική του εργασία αφορά στην τρισδιάστατη απεικόνιση της ανθρώπινης φωνής και την ακουστική αναπαραγωγή της. Η εικόνα αφορά την τρισδιάστατη απεικόνιση του πρώην Προέδρου των Η.Π.Α. Μπαράκ Ομπάμα. Το συγκεκριμένο τρισδιάστατο γλυπτό παρουσιάστηκε στην έκθεση για το 3D printing στο Λονδίνο το 2013 και σε μια αντίστοιχη έκθεση στη Νέα Υόρκη το 2014.

Το 2020 χαρακτηρίζεται από την άφιξη πιο προηγμένων πρόσθετων υλικών κατασκευής, ενώ στο μέλλον αναμένονται ακόμα μεγαλύτερα έργα της τρισδιάστατης εκτύπωσης που θα συνεισφέρουν ακόμα περισσότερο σε όλους τους τομείς.

Συμπληρωματικά στα παραπάνω και με βάση την παρουσίαση του Kyle Maxey, (2013), κατά τη διαρκή εξέλιξη της προσθετικής παραγωγής συνέβησαν τα παρακάτω γεγονότα:

- 1997: Η EOS πούλησε την επιχείρησή της κατασκευής εκτυπωτών που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της Στερεολιθιογραφίας, συνεχίζει όμως να αποτελεί έναν μεγάλο ευρωπαϊκό παραγωγό.
- 2005: Η ZCorp. εισήγαγε το μοντέλο Spectrum Z510. Ήταν ο πρώτος υψηλής ευκρίνειας έγχρωμος 3D εκτυπωτής στην αγορά.
- 2005: Έτος σημαντικό. Σχεδιάζεται και ξεκινά η υλοποίηση του project που ονομάζεται RepRap. Βασικός του στόχος είναι να συμβάλει στην ανάπτυξη ενός αυτοαναπαραγόμενου 3D εκτυπωτή με τη χρήση κώδικα ανοικτού λογισμικού.
- 2007: Το Πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον κατασκευάζει τον εκτυπωτή fab@Home κατά το πρώτο τρίμηνο του 2007. Με τον όρο Fab@Home αναφερόμαστε στον πρώτο 3D εκτυπωτή με πολλαπλά υλικά ο οποίος βρίσκεται στη διάθεση του κοινού. Το Fab@Home αποτελεί έναν από τους δύο εκτυπωτές που χρησιμοποιούν ανοικτό κώδικα και ανήκουν στην κατηγορία «Συναρμολόγησε τον εκτυπωτή μόνος σου» (ο αγγλικός όρος είναι DOY (Do It Yourself)).
- 2008: Η εταιρεία Objet Geometries Ltd. ανακοίνωσε ένα επαναστατικό σύστημα ταχείας κατασκευής πρωτοτύπων, το Connex500. Είναι η πρώτη φορά που ένα σύστημα επιτρέπει την κατασκευή ξεχωριστών τρισδιάστατων τμημάτων, χρησιμοποιώντας πολλά διαφορετικά υλικά ταυτόχρονα.
- 2008: Η πρώτη εκδοχή του RepRap κυκλοφόρησε και είναι σε θέση να κατασκευάσει περίπου το 50% των ίδιων των μερών του.
- 2011: Τα πρώτα παγκόσμια τρισδιάστατα τυπωμένα αεροσκάφη δημιουργούνται από τους μηχανικούς στο πανεπιστήμιο Southampton. Την ίδια στιγμή, το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Βιέννης, ανατρέποντας τα μέχρι τότε δεδομένα, κατασκευάζει μια μικρότερη, ελαφρύτερη και φθηνότερη συσκευή εκτύπωσης από όσες είχαν κατασκευαστεί μέχρι τότε. Αυτός ο τρισδιάστατος εκτυπωτής ζυγίζει 1500 γραμμάρια και κοστίζει περίπου 1200 ευρώ.
- 2011: Οι εταιρείες Shapeways και ContinuumFashion ανακοινώνουν την κατασκευή του πρώτου 3D τυπωμένου μπικίνι, εισάγοντας την κουλτούρα των τρισδιάστατων τυπωμένων ρούχων.
- 2011: Με επικεφαλής τα Πανεπιστήμια Exeter και Brunel, ερευνητές στη Μεγάλη Βρετανία παρουσιάζουν για πρώτη φορά τον εκτυπωτή 3D σοκολάτας στον κόσμο.

– *Και βέβαια έχω αφήσει για το τέλος τα καλύτερα!*

– *;;;*

– *Πού εφαρμόζεται το 3D Printing, σε ποιους τομείς και τι ακριβώς αντικείμενα(!) παράγονται.*

## 1.5 Εφαρμογές της τεχνολογίας 3D printing

Οι σημαντικότερες εφαρμογές της τεχνολογίας 3D printing που συναντάμε σήμερα αφορούν τομείς όπως η αεροπορία, τα βιομηχανικά προϊόντα, η ιατρική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η ένδυση και υπόδηση και τα κοσμήματα. Παρακάτω παραθέτουμε μερικά παραδείγματα:

### Η υγειονομική περίθαλψη και η ιατρική βιομηχανία

Επειδή το βιβλίο αυτό γράφτηκε κατά την περίοδο του πρώτου κύματος της παγκόσμιας πανδημίας του Covid-19, θα ξεκινήσουμε την παρουσίαση των εφαρμογών με τις εφαρμογές στην ιατρική, και κυρίως με τις τρισδιάστατες εκτυπώσεις υγειονομικού υλικού που έλαβαν χώρα παγκοσμίως την περίοδο Μάρτιο-Μάιο 2020.

- **Υγειονομικό Υλικό:** Κατά τη διάρκεια της πανδημίας δημιουργήθηκαν εθελοντικά σε όλον το κόσμο δίκτυα ατόμων που διέθεταν 3D printers και εκτύπωσαν υγειονομικό υλικό για το ιατρικό και το νοσηλευτικό προσωπικό.
  - **Ασπίδες Προστασίας:** Συγκεκριμένα, εκτυπώθηκαν προσωπίδες προστασίας. Δημιουργήθηκαν σε κάθε χώρο τουλάχιστον δύο τέτοια δίκτυα, άλλοτε με τη συμμετοχή του Υπουργείου Υγείας και άλλοτε με την εκ των υστέρων έγκριση του εκτυπωμένου υλικού από το Υπουργείο Υγείας. Η εκτύπωση αφορά δύο αντικείμενα, εκ των οποίων το ένα προορίζεται για το μέτωπο και το άλλο για το πηγούνι, τα οποία εφαρμόζονται σε μια διαφανή μεμβράνη και δημιουργούν μια ασπίδα προσώπου. Το ψηφιακό αρχείο που χρησιμοποιήθηκε από αυτές τις ομάδες κυκλοφορούσε στο διαδίκτυο ελεύθερα και, με μικρές αλλαγές που γίνονταν, χρησιμοποιήθηκε στο σύνολο των εκτυπωτών που διέθεταν οι συμμετέχοντες στο δίκτυο.
  - **Βαλβίδες για Αναπνευστήρες:** Επίσης, κατά τη διάρκεια της πανδημίας, καταγράφηκε έλλειψη βαλβίδων για αναπνευστήρες. Αυτό συνέβη σε νοσοκομείο στη Βόρεια Ιταλία, την περίοδο που ο αριθμός των κρουσμάτων ήταν μεγάλος και υπήρχε ανάγκη νοσηλείας και διασωλήνωσης των ασθενών. Ο Massimo Temporelli, ιδρυτής της εταιρείας FabLab, πρότεινε στο νοσοκομείο την εκτύπωση των βαλβίδων προκειμένου να λυθεί άμεσα το πρόβλημα της έλλειψής τους.
- **Οδοντιατρική:** Στον χώρο της ιατρικής, όπως είδαμε και παραπάνω, η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει εισχωρήσει τα τελευταία χρόνια και τείνει να επεκτείνεται ολοένα και περισσότερο. Ένας από τους κλάδους της με αρκετά μεγάλη ανάπτυξη είναι η οδοντιατρική βιομηχανία. Μέχρι πρόσφατα, για τη δημιουργία μιας στεφάνης για ένα δόντι, έπρεπε να δαγκώσουμε ένα κομμάτι ειδικού αργίλου, ώστε να δημιουργηθεί ένα αποτύπωμα της οδοντοστοιχίας μας. Με βάση αυτό, ο οδοντίατρος θα έφτιαχνε με το χέρι τη στεφάνη. Σήμερα, οι στεφάνες μπορούν να δημιουργηθούν αποκλειστικά με τη χρήση ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή. Αρκεί ο γιατρός να σκανάρει το στόμα μας με ένα ειδικό μηχάνημα και ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής την ετοιμάζει αμέσως.

- Προσθετική άκρων: Ο αντίκτυπος που έχει η τρισδιάστατη εκτύπωση στον τομέα της ιατρικής είναι μεγάλος. Προς το παρόν, η νέα τεχνολογία εφαρμόζεται περισσότερο στη δημιουργία τεχνητών μελών. Βασικό πλεονέκτημα της χρήσης τρισδιάστατων εκτυπωτών αποτελεί η ταχύτητα κατασκευής, η οποία είναι αξιοσημείωτη συγκρινόμενη με τον παραδοσιακό τρόπο κατασκευής. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι τα νέα προσθετικά μέλη κατασκευάζονται εύκολα, προσαρμόζονται στις ανάγκες κάθε ατόμου ξεχωριστά και είναι περισσότερο προσιτά οικονομικά. Αυτό είναι σημαντικό, διότι μπορεί να απευθυνθεί σε πολλούς και διαφορετικών τύπων ανθρώπους. Οι αναλογίες του σώματος κάθε ανθρώπου είναι μοναδικές, όπως και ο τρόπος που κάθε άνθρωπος περπατά.
- Παραγωγή βλαστοκυττάρων: Επιστήμονες ανέπτυξαν έναν 3D εκτυπωτή βλαστοκυττάρων. Η συσκευή δημιουργεί ομοιόμορφα σταγονίδια ζωντανών εμβρυϊκών βλαστοκυττάρων, των κυττάρων που είναι παρόντα στην πρώιμη ανάπτυξη και που μπορούν να μετασχηματιστούν σε οποιουδήποτε είδους ιστό. Ο εκτυπωτής είναι τόσο ήπιος που μπορεί να «εκτυπώνει» ακόμα και πέντε κύτταρα τη φορά χωρίς να τα καταστρέφει. Οι ερευνητές μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν για γρήγορους ελέγχους φαρμάκων ή για την κατασκευή μικρών κομματιών ιστών. Ο τελικός τους στόχος είναι η δημιουργία νέων οργάνων.
- Εξωσκελετικό γάντι: Ένας πτυχιούχος αρχιτεκτονικού σχεδιασμού στη Νέα Ζηλανδία χρησιμοποίησε την τεχνολογία της 3D εκτύπωσης με την οποία κατάφερε να κατασκευάσει έναν επίδεσμο που λειτουργεί ως γύψος για αποκατάσταση σπασμένων οστών. Ο Cortex, όπως ονομάζεται ο επίδεσμος, ανήκει στην κατηγορία των λεγόμενων «εξωσκελετών», αποτελείται από πολύ ελαφρά υλικά και τοποθετείται σαν γάντι στο χέρι ή στο πόδι που έχει υποστεί βλάβη. Τον εξωσκελετό δημιούργησε ο Τζέικ Εβιλ, απόφοιτος του Τμήματος Αρχιτεκτονικής και Σχεδίου του Πανεπιστημίου Βικτόρια. Ακτίνες X και τρισδιάστατες σαρώσεις βοηθούν στο να δημιουργηθεί ένα 3D μοντέλο του σημείου στο οποίο έχει υποστεί τραυματισμό το οστό. Στη συνέχεια «τυπώνεται» ο εξωσκελετός, ο οποίος είναι προσαρμοσμένος στα ανατομικά χαρακτηριστικά του κάθε ασθενούς. Ο Cortex είναι πολύ ελαφρύς, έχει ανοίγματα για να αερίζεται η περιοχή στην οποία τοποθετείται και επιπλέον μπορεί να καθαριστεί με νερό.

### Αεροδιαστημική βιομηχανία

- Παραγωγή τμημάτων αεροσκαφών της εταιρείας Boeing: Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης παρέχει μεγάλη ελευθερία στον σχεδιασμό εξαρτημάτων και στην παραγωγή τους. Στην αεροδιαστημική βιομηχανία, η τεχνολογία εκτύπωσης 3D έχει τη δυνατότητα να κατασκευάζει ελαφριά εξαρτήματα, βελτιωμένες και πολύπλοκες γεωμετρίες, οι οποίες μπορούν να μειώσουν αισθητά τις ενεργειακές ανάγκες και να εξοικονομήσουν πόρους, π.χ. καύσιμα, διότι μειώνεται το υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ανταλλακτικών. Σήμερα η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει εφαρμοστεί ευρέως για την παραγωγή κινητήρων. Το τμήμα του κινητήρα κατα-

στρέφεται εύκολα και απαιτεί τακτική αντικατάσταση. Επομένως, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι μια καλή λύση για την προμήθεια τέτοιων ανταλλακτικών.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η General Electric Aviation, η οποία αποτελεί την εταιρεία που δημιούργησε την πρώτη αμερικανική μηχανή αεριωθούμενων αεροσκαφών το 1942. Η General Electric Aviation χρησιμοποίησε την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης και τον σχεδιασμό σε υπολογιστή και εκτύπωσε ολόκληρο τον κινητήρα τζετ εργασίας το 2015, και έλαβε την πρώτη έγκριση της FAA για τον αισθητήρα θερμοκρασίας του κινητήρα τον ίδιο χρόνο.

- Διαστημικά ταξί για τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό (ΔΔΣ). Εκτυπωμένα εξαρτήματα από τρισδιάστατο εκτυπωτή ετοιμάζει η Boeing. Μετά τη συνεργασία της Boeing με την εταιρεία Oxford Performance Materials, η τελευταία ανέλαβε την τρισδιάστατη εκτύπωση 600 εξαρτημάτων για τα διαστημικά ταξί Starliner. Η Boeing έχει αναλάβει να κατασκευάσει επταθέσιες κάψουλες (ταξί) για λογαριασμό της NASA, που θα μεταφέρουν τους αστροναύτες από και προς τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό. Η συγκεκριμένη εξέλιξη αποδεικνύει ότι υπάρχει μια γενικότερη στροφή προς την τρισδιάστατη εκτύπωση, η οποία ξεκινά από τη δημιουργία προτύπων και φτάνει μέχρι τη μαζική παραγωγή εξαρτημάτων υψηλής ποιότητας για αεροσκάφη και διαστημικά σκάφη. Τα εκτυπωμένα εξαρτήματα θα αποτελούνται από ένα καινοτόμο πουπουλένιο αλλά παράλληλα πολύ ανθεκτικό υλικό αντίστοιχο του αλουμινίου. «Αυτό που είναι πραγματικά πολύτιμο τόσο για τη NASA όσο και για την Boeing, είναι ότι το εν λόγω υλικό είναι πολύ ανθεκτικό και ταυτόχρονα πάρα πολύ ελαφρύ», αναφέρει χαρακτηριστικά ο πρόεδρος της Oxford Performance Materials, Λάρι Βαρχόλακ.

## Βιομηχανία υφασμάτων και μόδας

Ο συνδυασμός μόδας και τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να μη φαίνεται πιο φυσικός, αλλά αρχίζει να γίνεται πραγματικότητα σε όλο τον κόσμο – τυπωμένα τρισδιάστατα παπούτσια, κοσμήματα και είδη ένδυσης. Για παράδειγμα, μεγάλες εταιρείες όπως η Nike, η New Balance, η Adidas και η Timberland προσπαθούν να αναπτύξουν τη μαζική παραγωγή τρισδιάστατων τυπωμένων παπουτσιών. Σήμερα, τα 3D τυπωμένα παπούτσια αφορούν αθλητικά παπούτσια, που ικανοποιούν ανάγκες των αγοραστών τους.

- Παραγωγή αθλητικών παπουτσιών από την εταιρεία Timberland: Η εταιρεία Timberland χρησιμοποιεί τα τελευταία χρόνια τη 3D printing τεχνολογία. Η Timberland χρησιμοποιεί πλέον λογισμικό τρισδιάστατης εκτύπωσης και σάρωσης για τη δημιουργία εξειδικευμένων καλουπιών. Η εταιρεία έχει πολλές εκδόσεις καλουπιών που ποικίλλουν από αθλητικά μέχρι και μποτάκια (πάνω από 120). Με τη χρήση ενός τρισδιάστατου σαρωτή λέιζερ σαρώνουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε ανθρώπου και μπορούν φτιάξουν ένα καλούπι ακριβώς στα δικά του μέτρα.
- Παραγωγή παπουτσιών από τη Nike: Πριν από μικρό χρονικό διάστημα, η Inkjet εισήγαγε μια προσαρμοσμένη ακίδα τροχιάς για τον αθλητή Allyson Felix. Η κίνηση αυτή επέτρεψε στη Nike να κατασκευάζει και να τροποποιεί πρωτότυπα σε ώρες αντί

για μήνες. Μέσω αυτής της διαδικασίας η εταιρεία έχει καταφέρει να αυξήσει τους ρυθμούς στην παραγωγή των υποδημάτων της και συνεπώς να επεκτείνει τα καινούρια της μοντέλα ολόένα και πιο γρήγορα. Εκτός από τα παπούτσια, η εταιρεία έχει δημιουργήσει διάφορα προϊόντα όπως τα Nike Vapor Laser Talon και Nike Vapor HyperAgility.

- Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να συνεισφέρει και στον σχεδιασμό μόδας. Στη βιομηχανία της μόδας, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης, μπορεί να σχεδιαστούν και να παραχθούν ρούχα χρησιμοποιώντας συστήματα πλέγματος και επίσης να εκτυπωθούν διακοσμητικά για παραδοσιακά υφάσματα. Επιπλέον, η εφαρμογή της τεχνολογίας 3D εκτύπωσης δεν περιορίζεται στη βιομηχανία της μόδας, αλλά μπορεί επίσης να εκτυπώσει δερμάτινα είδη και αξεσουάρ. Για παράδειγμα, κοσμήματα, ωρολογοποιία, αξεσουάρ και ούτω καθεξής. Οι έμποροι λιανικής και οι σχεδιαστές πιστεύουν ότι ο σκοπός της δημιουργίας προϊόντων μόδας χρησιμοποιώντας τεχνολογία εκτύπωσης 3D δεν είναι να αντιγράψουν τα τρέχοντα προϊόντα, αλλά να βελτιώσουν τον σχεδιασμό προϊόντων προσφέροντας εξατομικευμένα και μοναδικά προϊόντα στους πελάτες. Τα πλεονεκτήματα της ανάπτυξης προϊόντων με τη χρήση τεχνολογίας 3D εκτύπωσης είναι το προϊόν κατά παραγγελία και η προσαρμοσμένη εφαρμογή και το στιλ.

### **Αυτοκινητοβιομηχανία**

Στην αυτοκινητοβιομηχανία, η τεχνική 3D Printing έχει συνεισφέρει σε ελαφρύτερες και πιο περίπλοκες κατασκευές σε μικρό χρονικό διάστημα.

- Η Local Motor είχε εκτυπώσει το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο με τρισδιάστατη εκτύπωση το 2014. Επίσης η ίδια εταιρεία συνεισέφερε στην εκτύπωση ενός τρισδιάστατου λεωφορείου που ονομάζεται OLLI. Το OLLI είναι ένα λεωφορείο χωρίς οδηγό, ηλεκτρικό, ανακυκλώσιμο και εξαιρετικά έξυπνο.
- Η Ford επίσης χρησιμοποιεί την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης για την παραγωγή πρωτοτύπων και ανταλλακτικών κινητήρα. Δοκιμάζει την κατασκευή εξαρτημάτων με τρισδιάστατη εκτύπωση σε μεγάλη κλίμακα με τον εκτυπωτή Infinite Build 3D της Stratasys. Είναι η πρώτη εταιρεία κατασκευής αυτοκινήτων που δοκιμάζει τη συγκεκριμένη τεχνολογία με τη Stratasys και στην παρούσα φάση διερευνά πιθανές εφαρμογές κατασκευής εξαρτημάτων για μελλοντικά αυτοκίνητα παραγωγής, όπως τα μοντέλα Ford Performance.
- Η BMW χρησιμοποιεί τεχνολογία εκτύπωσης 3D για την παραγωγή εργαλείων χειρός για δοκιμές και συναρμολόγηση αυτοκινήτων.
- Η AUDI, το 2017, συνεργάστηκε με την SLM Solution Group AG για την παραγωγή ανταλλακτικών και πρωτοτύπων. Κατά συνέπεια, με τη χρήση τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης στην αυτοκινητοβιομηχανία επιτρέπεται στην εταιρεία να δοκιμάσει διάφορες εναλλακτικές λύσεις και να δώσει έμφαση στα στάδια βελτίωσης, προκαλώντας τον ιδανικό και αποτελεσματικό σχεδιασμό αυτοκινήτων.

## Αρχιτεκτονική και Κατασκευαστική Βιομηχανία

- Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να θεωρηθεί ως φιλική προς το περιβάλλον και παρέχει απεριόριστες δυνατότητες για τη γεωμετρική πολυπλοκότητα. Στον κατασκευαστικό κλάδο, η τεχνολογία εκτύπωσης 3D μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτύπωση ολόκληρου του κτιρίου ή μπορεί να εκτυπώσει τμήματα ενός κτιρίου, τα οποία μετά θα συναρμολογήσει. Με την τεχνολογία εκτύπωσης 3D, οι εταιρείες μπορούν να σχεδιάσουν και να δημιουργήσουν την εικόνα του κτιρίου σε γρήγορο χρόνο και φθηνά, καθώς και να αποφύγουν καθυστερήσεις και να βοηθήσουν στον εντοπισμό προβληματικών περιοχών. Ταυτόχρονα, με την τεχνολογία εκτύπωσης 3D, ο κατασκευαστής και οι πελάτες τους μπορούν να επικοινωνούν πιο αποτελεσματικά και καθαρά. Πολλές από τις προσδοκίες ενός πελάτη προέρχονται από μια ιδέα, και η τρισδιάστατη εκτύπωση καθιστά απλή την εμφάνιση αυτής της ιδέας πέρα από τη παραδοσιακή μέθοδο χρήσης του χαρτιού και του μολυβιού. Τα παραδείγματα τρισδιάστατου τυπωμένου κτιρίου είναι το Apis Cor Printed House στη Ρωσία και το Canal House στο Άμστερνταμ.
- Κατασκευή σπιτιού: Μία από τις τελευταίες και σημαντικότερες ενέργειες με τρισδιάστατη εκτύπωση είναι και η κατασκευή μιας ολόκληρης οικίας. Ένας από τους επιστήμονες του Πανεπιστημίου της Νότιας Καλιφόρνια, ο Behrokh Khoshnevis, ανέπτυξε ένα νέο μοντέλο τρισδιάστατου εκτυπωτή που είναι σε θέση να παίζει με το τσιμέντο, καταλήγοντας στην κατασκευή οικίας 230 τ.μ. σε 24 ώρες.

Μια δεύτερη απόπειρα πραγματοποιήθηκε το 2018 και αφορά μια πλήρως εκτυπωμένη κατοικία, την πρώτη συγκεκριμένα εμβαδού 37 τετραγωνικών μέτρων, δημιουργημένη της νεοσύστατης τεχνολογικής εταιρείας Apis Cor. Το σπίτι κόστισε 10.134 δολάρια ή 275 δολάρια ανά τετραγωνικό μέτρο. Ο εκτυπωτής μεταφέρθηκε στον χώρο κατασκευής, όπου δημιούργησε τους τσιμεντένιους τοίχους και τα εσωτερικά χωρίσματα ως μια ενιαία δομή, αντί το σπίτι να εκτυπωθεί σε επιμέρους τμήματα σε μια άλλη εγκατάσταση και μετά αυτά να μεταφερθούν για συναρμολόγηση στο σημείο ανέγερσης. Μετά την εκτύπωση, ο εκτυπωτής απομακρύνθηκε από το σπίτι, όπως ένας γερανός. Στη συνέχεια, μια ομάδα εργατών ολοκλήρωσε το σπίτι, προσθέτοντας τη στέγη, τα παράθυρα και ό,τι άλλο χρειαζόταν στο εσωτερικό του.

## Βιομηχανία τροφίμων

Η τεχνολογία εκτύπωσης 3D ανοίγει τις πόρτες και στη βιομηχανία τροφίμων. Προς το παρόν, υπάρχει μια αυξανόμενη ζήτηση για την ανάπτυξη εξατομικευμένων τροφίμων για εξειδικευμένες διατροφικές ανάγκες, όπως για αθλητές, παιδιά, εγκυμονούσες, ασθενείς και ούτω καθεξής, που απαιτούν διαφορετική ποσότητα θρεπτικών συστατικών μειώνοντας την ποσότητα των περιττών συστατικών και ενισχύοντας τις τροφές με υγιή συστατικά. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία εκτύπωσης 3D, συγκεκριμένα υλικά μπορούν να αναμιχθούν και να διαμορφωθούν σε διάφορες περίπλοκες δομές και σχήμα. Η ζάχαρη, η σοκολάτα, τα καθαρισμένα τρόφιμα και τα επίπεδα τρόφιμα όπως ζυμαρικά, πίτσα και κράκερ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία νέων ειδών

διατροφής με πολύπλοκα και ενδιαφέροντα σχέδια και σχήμα. Η τεχνολογία εκτύπωσης 3D είναι μια τεχνολογία υψηλής ενεργειακής απόδοσης για παραγωγή τροφίμων. Η εκτύπωση τρισδιάστατου φαγητού μπορεί να είναι υγιής και να ωφελεί τον άνθρωπο επειδή δημιουργεί μια νέα διαδικασία προσαρμογής των τροφίμων και μπορεί να προσαρμοστεί σε μεμονωμένες προτιμήσεις και ανάγκες.

### **Ηλεκτρική και Ηλεκτρονική Βιομηχανία**

Σήμερα, διάφορες τεχνολογίες εκτύπωσης 3D έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί ευρέως για δομικές ηλεκτρονικές συσκευές όπως ενεργά ηλεκτρονικά υλικά, ηλεκτρόδια. Σε σύγκριση με εμπορικά ηλεκτρόδια όπως ηλεκτρόδια αλουμινίου, χαλκού και άνθρακα, ο σχεδιασμός και η επιφάνεια του τρισδιάστατου ηλεκτροδίου μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί ώστε να ταιριάζει σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Επιπλέον, η διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης για το ηλεκτρόδιο είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, με υψηλό βαθμό ακρίβειας και χρόνο εκτύπωσης τα 30 λεπτά.

Επιπλέον, ως ενεργά ηλεκτρονικά εξαρτήματα εννοούμε όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές ή εξαρτήματα που ενισχύουν και ελέγχουν τα φορτία ροής του ηλεκτρικού. Οι ενεργές συσκευές περιλαμβάνουν επίσης εκείνες που μπορούν να παράγουν ισχύ. Παραδείγματα ενεργών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων περιλαμβάνουν ανορθωτές με έλεγχο πυριτίου, τρανζίστορ, διόδους, ενισχυτές λειτουργίας, διόδους εκπομπής φωτός (LED), μπαταρίες και ούτω καθεξής. Αυτά τα συστατικά απαιτούν συνήθως πολύ περίπλοκες διαδικασίες κατασκευής σε σύγκριση με αυτές που χρησιμοποιούνται για παθητικά εξαρτήματα λόγω των πολύπλοκων λειτουργιών τους. Η τεχνολογία 3D printing παρέχει πλεονεκτήματα για την επεξεργασία του προϊόντος μαζί με τα ηλεκτρονικά της. Με την τεχνολογία εκτύπωσης πολλαπλών υλικών, η αποδοτικότητα του ηλεκτρονικού συστήματος μπορεί ενδεχομένως να υιοθετηθεί στην 4η Βιομηχανική Επανάσταση, επιτρέποντας πιο καινοτόμα σχέδια. Η ανάπτυξη μιας πράσινης ηλεκτρονικής συσκευής με χαμηλό κόστος κατασκευής, καλή ασφάλεια, υψηλή αξιοπιστία και ταχεία παραγωγή είναι επειγόντως απαραίτητη για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών ρύπων στη σημερινή κοινωνία.