



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
University of West Attica

Πτυχιακή Εργασία:

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΟΥ
ΕΚΤΥΠΩΤΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ
ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ



ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΠΑΣΑ ΗΛΙΑΣ Α.Μ. 41459

ΕΜΙΝ ΧΟΥΣΕΙΝ ΣΟΥΝΑΙ Α.Μ. 41735

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

Κα ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΒΛΑΧΟΥ

Κα ΦΩΤΕΙΝΗ ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΥ

ΑΘΗΝΑ 2018

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ΕΜΙΝ-ΧΟΥΣΕΙΝ ΣΟΥΝΑΙ του ΣΑΕΩΤΙΛ, φοιτητής του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ Τ.Ε. του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της.».

Ο Δηλών

ΕΜΙΝ ΧΟΥΣΕΙΝ ΣΟΥΝΑΙ



Ημερομηνία

23/10/18.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

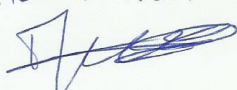
Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Παρά Χαΐας....., του Αχιλλίου....., φοιτητής του Τμήματος Πολιτικών Κοινωνικών Έξ...... του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της.».

Ο Δηλών

Παρά Χαΐας


Ημερομηνία

23/01/2018

Ευχαριστίες

Μέσα από τις επόμενες γραμμές θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες τις καθηγήτριες μου κ.Αλεξάνδρα Βλάχου και κ.Φωτεινή Γεωργακοπούλου που συνέβαλαν με τη βοήθεια τους στην επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω το εκπαιδευτικό και διοικητικό προσωπικό του ΤΕΙ, τους υπόλοιπους καθηγητές του τμήματος καθώς τους φίλους και τους συμφοιτητές μου για τις γνώσεις και τις πλούσιες εμπειρίες που αποκόμισα στα χρόνια της φοιτητικής μου δραστηριότητας. Πάνω από όλους θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου για την ενθάρρυνση, ηθική συμπαράσταση και οικονομική υποστήριξη που μου προσέφεραν όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία σκοπεύει να δείξει την κατασκευή κατοικίας με 3D εκτυπωτή και την οικονομετρική σύγκριση με συμβατή κατοικία. Περιγράφει, την ακολουθία της τρισδιάστατης εκτύπωσης από τη σύλληψη της ιδέας και την δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου μέχρι την παραγωγή του πρωτότυπου μοντέλου. Γίνεται περιγραφή στα λογισμικά που εμπλέκονται στην διαδικασία καθώς και στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των μοντέλων. Τέλος εξετάζει εν συντομία την εξέλιξη στις τεχνολογίες της τρισδιάστατης εκτύπωσης και το πεδίο εφαρμογών στην κατασκευή κατοικιών. Πιο συγκεκριμένα:

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μία εισαγωγική αναφορά στη τρισδιάστατη εκτύπωση, παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη της και δίνεται ένας γενικός ορισμός. Επίσης αναφέρεται η συνεισφορά των τρισδιάστατων εκτυπωτών στην αρχιτεκτονική.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε σύγκριση της κλασσικής γραμμής παραγωγής σε σχέση με αυτή των κατανεμημένων συστημάτων και θα μετρηθεί ενδεικτικά η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή στην αρχιτεκτονική από 3d εκτυπωτές. Επίσης θα γίνει καταγραφή των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός σπιτιού και τέλος η ανάλυση της 3d εκτύπωσης και τα είδη των εκτυπωτών για την κατασκευή ενός σπιτιού.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης η οποία χαρακτηρίζεται από αυτοματισμό και ρομποτική, εργασία και οργάνωση στο εργοτάξιο. Επίσης περιγράφονται οι μέθοδοι κατασκευής μέσα από παραδείγματα εταιριών που έχουν κατασκευάσει κατοικίες με 3D εκτυπωτές

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η εφαρμογή και το κόστος της 3D εκτύπωσης σε κατοικίες, τα κατασκευαστικά στοιχεία, το κόστος ανά είδος εκτυπωτή, ενώ αναφέρεται η σύγκριση διαδικασίας κατασκευής κατοικίας με συμβατή μέθοδο και με τη μέθοδο τρισδιάστατης εκτύπωσης. Τέλος η εργασία κλείνει με τα συμπεράσματα και τις βιβλιογραφικές αναφορές

Λέξεις κλειδιά: Τρισδιάστατη εκτύπωση κατοικίας, οικονομετρική σύγκριση, αρχιτεκτονική.

Summary

This study aims to present the construction of a house using 3D printing and the econometric comparison with a conventional house. It describes the process of 3D printing from the conception of the idea and the creation of a digital model up to the creation of a prototype model. The software that is used in this process is described, as well as the materials used in the created model. Moreover, it briefly examines the evolution in of 3D printing technology and the field of applications in housing construction. Specifically:

In the first chapter, an introductory statement is made, the historical evolution of 3D printing is presented, and a general definition is given. Also, the contribution of 3D printers in architecture is mentioned.

In the second chapter, a comparison between the classic production line and the distributed systems and the indicated required energy for the production in architecture by 3D printers will be measured. Also the materials used for the production of a house will be documented as well as the types of 3D printers to be used for constructing a house.

In the third chapter, the technology of 3D printing is analyzed, which is characterized by automation and robotics, work and organization on the construction site. The methods of construction are described through examples of companies that have constructed houses via 3D printing.

In the fourth chapter the application and the cost of 3D printing is described for houses, construction elements, the cost per type of printer, while a comparison in the construction process between the conventional method and the 3D printing method is mentioned. In the end, this study presents the conclusions and the bibliography.

Keywords: House 3D printing, econometric comparison, architecture.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη.....	5
Summary	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^Ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	10
1.2.ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΟΡΙΣΜΟΣ.....	15
1.3 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^Ο . ΝΕΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	23
2.1 DISTRIBUTED SYSTEMS - ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	23
2.1.1 Πλεονεκτήματα για τη βιομηχανία.....	23
2.1.2 Πλεονεκτήματα για τον καταναλωτή.....	24
2.1.3 Η επανάκαμψη του τοπικού στην παραγωγή.....	24
2.1.4 Κατανεμημένη παραγωγή και δίκτυα ψηφιακού σχεδιασμού.....	25
2.2 3D PRINTING – ΤΑΧΕΙΑ ΠΡΟΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ	26
2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	30
2.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	31
2.4.1 PLA Θερμοπλαστικό (Fused Deposition Modeling)	32
2.4.2 ABS Θερμοπλαστικό (Fused Deposition Modeling).....	32
2.4.3 Πολυμερή υλικά.....	32
2.4.4 Διάφορα υλικά	36
2.4.5 μεταλλικά υλικά.....	37
2.4.6 ρητίνες.....	38
2.4.7 Στερεολιθογραφία.....	39
2.5 ΑΝΑΛΥΣΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	40
2.5.1 Fused Deposition Modeling	40
2.5.2 Stereolithography	41
2.6 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	41
2.7 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	42
2.8 ΕΙΔΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ	43
2.9 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ....	46
2.10 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	46
2.11 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ.....	47

2.12 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΑ	49
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	49
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	49
3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ CONTOUR CRAFTING.....	50
3.4 WINSUN – ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	54
3.5 ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ D - SHAPE	62
3.6 APIS COR.....	63
3.7 CANAL HOUSE ΣΤΟ AMSTERDAM	73
3.8 ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗ ΓΑΛΛΙΑ	75
3.9 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΚΛΑΔΟ	77
3.10 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ	81
4.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	81
4.2 ΕΙΔΗ ΕΚΤΥΠΩΤΗ	82
4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ	
ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ ΚΑΙ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ	
ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	90
4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ	
ΕΡΕΥΝΑ	113
Βιβλιογραφία	116
Άρθρα.....	116
Ηλεκτρονικές πηγές.....	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^Ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη δημοσίευση σχετικά με την τρισδιάστατη τεχνολογία μπορεί να θεωρηθεί ότι έγινε το 1981 από τον Hideo Kodama από το Ινστιτούτο Βιομηχανικών Ερευνών της Ναγκόγια, η οποία έκανε λόγο για τις δυνατότητες ενός συστήματος ταχείας πρωτοτυποποίησης που θα χρησιμοποιούσε φωτοπολυμερή για να οικοδομήσει ένα σταθερό εκτυπωμένο αντικείμενο, χτισμένο πάνω σε στρώματα, καθένα από τα οποία θα αντιστοιχούσε σε μία διατομή ενός μοντέλου.



Εικόνα 1. Ο Charles Hull

Πηγή:

<https://alchetron.com/Chuck-Hull>

Ο Charles Hull το 1986, συνιδρυτής της εταιρείας 3D Systems, εφηύρε τη Στερεολιθογραφία (stereolithography) - μια διαδικασία που επιτρέπει στους σχεδιαστές τη δημιουργία 3D μοντέλων χρησιμοποιώντας ψηφιακά δεδομένα τα οποία κατόπιν μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν για να δημιουργήσουν ένα συγκεκριμένο αντικείμενο (Matias & Rao, 2015). Δημοσίευσε ένα αριθμό διπλωμάτων

ευρεσιτεχνίας σχετικά με την έννοια της 3D εκτύπωσης, πολλά από τα οποία χρησιμοποιούνται και σήμερα από την “3d Systems”.



Εικόνα 2. Ο Carl Deckard

Πηγή:

<http://www.naszeoko.pl/historia-drukarki-3d/>

Ο Carl Deckard το 1987, ο οποίος εργαζόταν στο Πανεπιστήμιο του Τέξας, δημοσίευσε μία πατέντα ευρεσιτεχνίας μεθόδου 3D εκτύπωσης, την επιλεκτική σύντηξη με την χρήση ακτίνων λέιζερ (Selective Laser Sintering, SLS), η οποία εκδόθηκε το 1989.



Εικόνα 3. Η εταιρεία του Scott

Crump

Πηγή:

<https://3druck.com/drucker-und-produkte/stratasyS/das-neue-stratasyS-ist-da-1638713/>

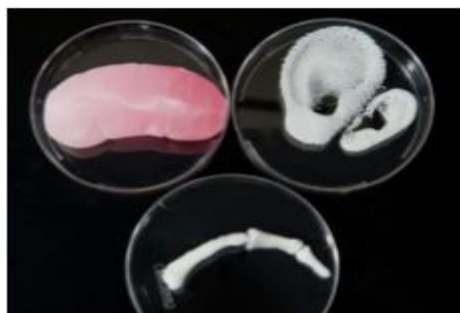
Ο Scott Crump το 1988, εφηύρε μία άλλη 3D μέθοδο εκτύπωσης, την Μοντελοποίηση εναπόθεσης τηγμένου υλικού (Fused Deposition Modeling), η οποία αποτέλεσε το θεμέλιο για την εταιρία που ίδρυσαν από κοινού με τη σύζυγό του, τη Λίζα Crump, ένα χρόνο αργότερα, τη StratasyS. Η πατέντα εκδόθηκε το 1992.

Το 1989 η εταιρεία EOS χρησιμοποιώντας ως μέθοδο εκτύπωσης, τη σύντηξη με λέιζερ (LS) πούλησε το πρώτο σύστημα (stereos) το 1990.

Επίσης το 1992 παράγεται η πρώτη στερεολιθογραφική μηχανή από την 3d Systems (Wohlers & Gornet, 2012). Πρόκειται για μια μηχανή που αποτελείται από ένα υπεριώδης λέιζερ (UV laser) που στερεοποιεί το φωτοπολυμερές υλικό και κατασκευάζει πολύπλοκη δομή με διαστρωμάτωση (layer-by-layer.).

Κατά τη δεκαετία 1990 εμφανίζονται και άλλες τεχνολογίες 3D εκτύπωσης και διαδικασίες όπως η βαλλιστική κατασκευή σωματιδίων (BPM) με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον William Masters, η συγκόλληση λεπτών φύλλων (LOM) με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Michael Feygin, η ωρίμανση στερεού εδάφους (SGC) με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Itzhak Pomerantz et al και «τρισεδιάστατης εκτύπωσης» (3DP) με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Emanuel Sachs et al.

Το 1999 δημιουργείται το πρώτο όργανο που είναι καλλιεργημένο σε εργαστήριο. Ασθενείς νέοι σε ηλικία, υποβάλλονται σε αύξηση της ουροδόχου κύστης με χρήση ενός ικριώματος που έχει εκτυπωθεί τρισεδιάστατα και έχει



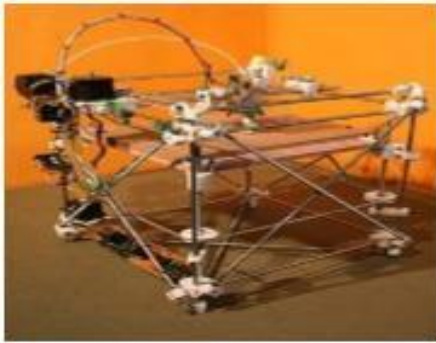
Εικόνα 4. Εκτύπωση οργάνων και ιστών στο Wake Forest Institute

Πηγή:

<https://gr.pinterest.com/pin/476114991834631366/>

επικαλυφθεί από δικά τους κύτταρα. Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε από επιστήμονες στο Ινστιτούτο Wake Forest για την αναγεννητική ιατρική και άνοιξε δρόμους για την ανάπτυξη άλλων στρατηγικών για την τρισδιάστατη εκτύπωση οργάνων. Δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται τα κύτταρα του ασθενή, ο κίνδυνος της απόρριψης από τον οργανισμό, είναι ελάχιστος έως μηδενικός (The Authority on 3d printing).

Έπειτα, το 2002 κατασκευάστηκε ένα λειτουργικό νεφρό. Το νεφρό αυτό είχε την ικανότητα να φιλτράρει το αίμα και να παράγει αραιωμένα ούρα σε ζώο. Αυτή η εφεύρεση συνετέλεσε στην διεξαγωγή ερευνών στο Wake Forest Institute για την εκτύπωση οργάνων και ιστών.



Εικόνα 5. Ο εκτυπωτής RepRap, έκδοση 1.0 (Darwin)

Πηγή:

<https://www.amazon.com/Homebrew-Industrial-Revolution-Low-Overhead-Manifesto/dp/1439266999>

Το 2005 ο Δρ. Adrian Bowyer στο Πανεπιστήμιο του Bath ιδρύει την RepRap, μία πρωτοβουλία ανοιχτού κώδικα για την κατασκευή ενός 3D εκτυπωτή ο οποίος μπορεί να εκτυπώνει τα περισσότερα από τα εξαρτήματα του ίδιου του εκτυπωτή. Το όραμα του έργου αυτού ήταν η χαμηλού κόστους διανομή των RepRap μονάδων σε ιδιώτες παντού, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να δημιουργήσουν προϊόντα καθημερινής χρήσης από μόνοι τους. Το 2008 απελευθερώνεται ο πρώτος εκτυπωτής αυτού του είδους.

Το 2007 πωλείται ο πρώτος 3D εκτυπωτής με τιμή μικρότερη από 10.000 δολάρια.

Το 2008 εκτυπώθηκε ένα ανθρώπινο προσθετικό μέλος και συγκεκριμένα ένα πόδι, το οποίο είχε όλα τα μέρη εκτυπωμένα χωρίς να απαιτείται η συναρμολόγησή τους. Έτσι έχουμε τον πρώτο άνθρωπο που περπατάει με τρισδιάστατο εκτυπωμένο πόδι. Την ίδια χρονιά η εταιρεία Shapeways δημιουργεί μια υπηρεσία συνεργασίας και μία κοινότητα επιτρέποντας καλλιτέχνες, αρχιτέκτονες και σχεδιαστές να μετατρέψουν οικονομικά τα 3D σχέδιά τους φυσικά αντικείμενα.

Το 2009 βγαίνουν για πρώτη φορά προς πώληση οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές DIY kits από την εταιρία Maker Bot Industries. Επίσης την ίδια χρονιά χρησιμοποιείται 3D εκτυπωτής για την εκτύπωση των πρώτων αιμοφόρων αγγείων.

Έπειτα, το 2011 στο Πανεπιστήμιο Southampton κατασκευάστηκε το πρώτο τρισδιάστατο εκτυπωμένο μη επανδρωμένο αεροπλανάκι σε επτά ημέρες και προϋπολογισμό £5,000. Κατασκευάστηκε με πτέρυγες ελλειπτικού σχήματος, ένα συνήθως ακριβό χαρακτηριστικό, που βοηθά στη βελτίωση της αεροδυναμικής απόδοσης.

Επίσης την ίδια χρονιά δημιουργήθηκε το πρώτο παγκοσμίως τρισδιάστατο τυπωμένο αυτοκίνητο, το Urbee (Kor, 2013). Είναι φιλικό προς το περιβάλλον, ηλεκτρικό με εναλλακτικό καύσιμο την αιθανόλη. Επιπρόσθετα έχουμε εκτύπωση σε χρυσό και ασήμι. Η εταιρεία i.materialise γίνεται η πρώτη υπηρεσία εκτύπωσης 3D σε όλο τον κόσμο που προσφέρει χρυσό 14 καρατιών και ασήμι ως υλικά, ανοίγοντας έτσι μια νέα και λιγότερο δαπανηρή επιλογή κατασκευής για τους σχεδιαστές κοσμημάτων.

Το 2012 έχουμε την πρώτη εμφύτευση τρισδιάστατης τυπωμένης κάτω σιαγόνας σε μία ηλικιωμένη κυρία που πάσχει από χρόνια λοίμωξη των οστών. Αυτή η τεχνολογία ερευνάται για να προωθηθεί η ανάπτυξη νέου ιστού οστού.

Το 2014 ο Richard Arm (MSc Smart Design, ερευνητής στο πανεπιστήμιο του Νοττινγκχαμ της Μεγάλης Βρετανίας) δημιουργεί την πρώτη τρισδιάστατα εκτυπωμένη καρδιά, προκειμένου να ενισχύσει τη δυνατότητα έρευνας και την πειραματική χειρουργική.

Το 2015 η Google επενδύει 100 εκατομμύρια δολάρια στην εταιρεία Carbon3D.

Το 2016 η HP παραδίδει τον πρώτο 3D εκτυπωτή τεχνολογίας Multi Jet Fusion (MJF) και η XJet Ltd παρουσίασε την τεχνολογία Νανοσωματιδίων με πίεση ακροφυσίου (NanoParticle Jetting - NPJ).

Η όλη ιδέα είναι υπόθεση δεκαετιών. Επινοήθηκε το 1980 και μπήκε σε σειρά προς το τέλος εκείνης της δεκαετίας. Στην αρχή η εφαρμογή ήταν πιο απλή. Στόχος ήταν η πιο οικονομική και εύκολη κατασκευή πρωτοτύπων κατά την ανάπτυξη προϊόντων, πριν δηλαδή από την κανονική παραγωγή τους. Εκείνη η δεκαετία λοιπόν ήταν γεμάτη πατέντες, νέες εταιρείες και διαφορετικές νέες τεχνικές για το νέο είδος παραγωγής και εκτύπωσης. Μέχρι την επόμενη δεκαετία τα πράγματα είχαν πάρει, πάνω-κάτω, το δρόμο τους. Τότε καταλήξαμε στις τρεις εταιρείες του κλάδου που αποτελούν τους “μεγάλους” παίκτες του σήμερα: 3D Systems, EOS και Stratasys. Παρόλα αυτά η έρευνα συνεχιζόταν κανονικά. Τη δεκαετία του 1990, αλλά και του

2000, προέκυψαν κι άλλες νέες τεχνικές. Ωστόσο, όλες οι εξελίξεις είχαν τον ίδιο προσανατολισμό με τις προηγούμενες δεκαετίες. Στόχευαν δηλαδή στη διευκόλυνση της βιομηχανίας, της παραγωγής σε μεγάλη κλίμακα, όχι στην οικιακή κατασκευή ή τη γενικότερη εμπορική διάθεση των εξελίξεων και συστημάτων αυτών.

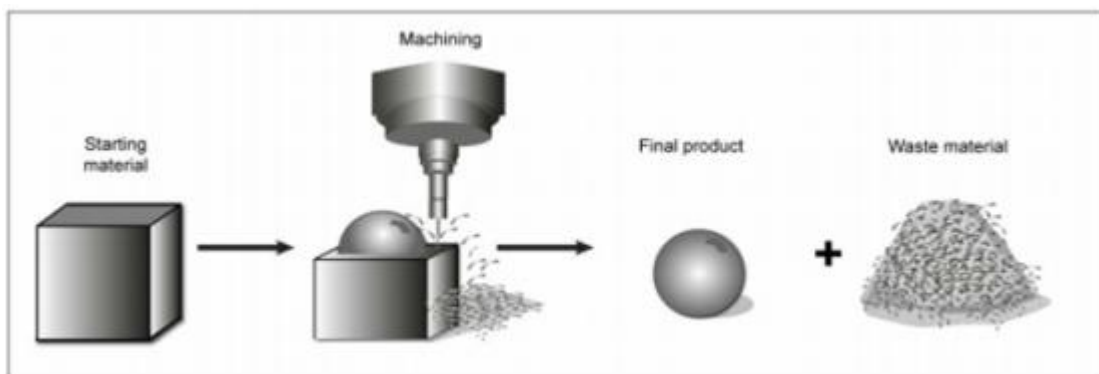
Τη δεκαετία του 2000 όμως τα πράγματα άρχισαν να κατασταλάζουν και να παίρνουν τη μορφή που βλέπουμε, λίγο-πολύ, και σήμερα. Από τη μία λοιπόν είδαμε βιομηχανικά προϊόντα και εκτυπωτές που απλώθηκαν σε επιπλέον κλάδους όπως την αεροναυπηγική, την ιατρική, την αυτοκίνηση αλλά και την κοσμηματοποιία. Από την άλλη, είδαμε για πρώτη φορά την εξάπλωση της ιδέας στη λιανική για χρήση από ιδιώτες. Το 2007 έγινε ένα σημαντικό βήμα με τον πρώτο εκτυπωτή του είδους με κόστος κάτω από \$10.000 από την 3D Systems. Και η εξέλιξη αυτή ήταν ένα ακόμη βήμα βέβαιο, αφού ο επόμενος στόχος ήταν να δούμε μοντέλο κάτω από \$5.000. Υποτίθεται ότι αυτό ακριβώς θα πετύχαινε το Desktop Factory που, τελικά, τα βρήκε “σκούρα” και η εταιρεία δεν κατάφερε να υλοποιήσει τα πλάνα της. Αγοράστηκε όμως από την 3D Systems και τελικά διαλύθηκε. Το επόμενο βήμα έγινε τελικά μόλις το 2009 με τον πρώτο 3D printer που διατέθηκε στην αγορά για τον οποιονδήποτε. Λεγόταν BfB RapMan 3D και δεν ερχόταν ακριβώς έτοιμος για χρήση, αλλά είχε τη μορφή kit που απαιτούσε λίγη εργασία παραπάνω για τη συναρμολόγηση από τον τελικό κάτοχο/χρήστη. Λίγο αργότερα έκανε κίνηση και η εταιρεία Makerbot, με τον ομώνυμο εκτυπωτή.

Η εξέλιξη όμως που έδωσε άλλη πνοή στο όλο εγχείρημα, εκείνη που μας δίνει την αφορμή να μιλάμε ως καταναλωτές για 3D printing, ήρθε το 2012. Τότε είδαμε το λανσάρισμα νέων τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης, αλλά και δύο καταναλωτικών εκτυπωτών, από B9Creator και Form 1. Μάλιστα, τα συστήματα αυτά δεν χρηματοδοτήθηκαν άμεσα από εταιρείες αλλά, σε σημαντικό βαθμό, από απλούς ιδιώτες, μέσω της πλατφόρμας Kickstarter. Ευτυχώς για όλους και τα δύο μοντέλα γνώρισαν επιτυχία, δείχνοντας ότι η αγορά αυτή έχει μέλλον αλλά και πρακτική αξία. Και από τότε όλα πάνε από το καλό στο καλύτερο με πολλούς να ορκίζονται ότι η εξάπλωση του 3D printing, σε εργοστάσια αλλά και σπίτια, έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει τη βιομηχανική επανάσταση του αιώνα μας (<http://blog.kotsovolos.gr/3d-printing-apo-efkolia-eos-epanastasi/>).

1.2.ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΟΡΙΣΜΟΣ

Η μετατροπή μιας ιδέας σε σχέδιο και κατόπιν σε αντικείμενο, είναι μια σύνθετη διαδικασία με λιγότερα ή περισσότερα ενδιάμεσα στάδια που αποτελούσε και αποτελεί αυτό που ονομάζουμε γενικά παραγωγή. Για την μετάβαση από τον ιδεατό κόσμο του σχεδίου στον φυσικό κόσμο των αντικειμένων, απαιτείτο (παλιότερα) η μεσολάβηση ενός αριθμού εργατών και τεχνικών, οι οποίοι χρησιμοποιώντας τη δύναμη, την πείρα, τις δεξιότητες και τα εργαλεία τους, έδιναν μορφή και υλική υπόσταση στο σχέδιο.

Η αφαιρετική μέθοδος παραγωγής (Subtractive manufacturing) ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία ένα ακατέργαστο υλικό κόβεται σε ένα επιθυμητό τελικό σχήμα & μέγεθος μέσα από μια διαδικασία αφαίρεσης υλικού. Περιλαμβάνει κοπή, διάτρηση κάποιου υλικού.



Εικόνα 6. Η αφαιρετική μέθοδος παραγωγής

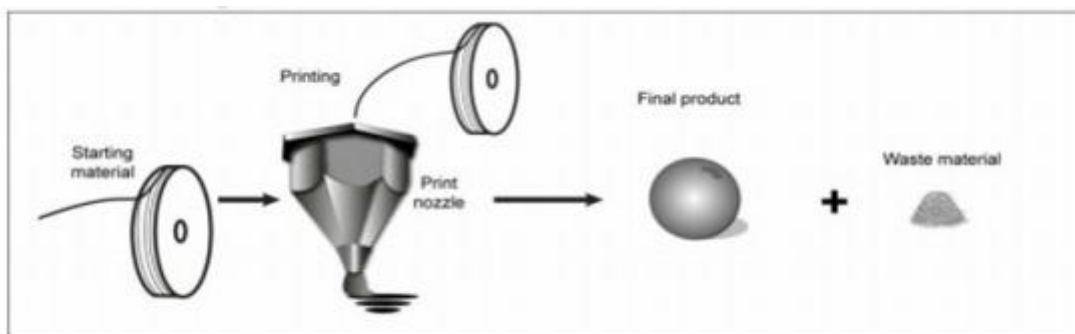
Πηγή:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Figure_1-Conceptual_Comparison_between_Subtractive_and_Additive_Manufacturing_\(22327379300\).](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Figure_1-Conceptual_Comparison_between_Subtractive_and_Additive_Manufacturing_(22327379300).)

Αντιθέτως η προσθετική μέθοδος παραγωγής (Additive Manufacturing) ή αλλιώς τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing), όπως συχνά χρησιμοποιείται, είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία κατασκευάζονται τρισδιάστατα αντικείμενα μέσω της διαδοχικής εναπόθεσης και ένωσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Είναι μια διαδικασία κατασκευής τρισδιάστατων στερεών αντικειμένων από ένα ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο. Κοινό στοιχείο των τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η χρήση υπολογιστή, λογισμικού 3D modeling (Computer Aided Design ή CAD), ένας κατάλληλος εκτυπωτής και το υλικό κατασκευής. Μόλις ένα

σκίτσο CAD παραχθεί, ο εκτυπωτής διαβάζει τα δεδομένα από το αρχείο CAD και προσθέτει διαδοχικά στρώματα υγρού, σκόνης, φύλλο υλικού ή άλλο, για την κατασκευή ενός αντικειμένου 3D.

Χρησιμοποιώντας την αρχή του layering (διαστρωμάτωσης), οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές μπορούν να δημιουργήσουν νέα αντικείμενα από διάφορα είδη μετάλλων, πλαστικών και κεραμικών σε γεωμετρικά σχήματα τα οποία είναι αδύνατο να



Εικόνα 11. Η προσθετική μέθοδος παραγωγής

Πηγή:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Figure_1-Conceptual_Comparison_between_Subtractive_and_Additive_Manufacturing_\(2232737930\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Figure_1-Conceptual_Comparison_between_Subtractive_and_Additive_Manufacturing_(2232737930).jpg)

επιτευχθούν με άλλες τεχνικές κατασκευής. Επειδή ο σχεδιασμός είναι ψηφιακός, τα τελικά προϊόντα μπορούν να παραχθούν από οποιονδήποτε διαθέσιμο εκτυπωτή 3D.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτοτύπων, έχουν τη δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μια ενιαία διαδικασία κατασκευής.

Εδώ και τρεις δεκαετίες περίπου σε πολλούς τομείς της παραγωγής, αναλαμβάνουν ολοένα και περισσότερο αυτοματοποιημένα συστήματα που βασίζονται στη ρομποτική. Σήμερα, η ανάπτυξη νέων μηχανών και τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης ανοίγει τον δρόμο στο επόμενο στάδιο εξέλιξης της αυτοματοποίησης, το οποίο περιγράφεται ως άμεση ή ταχεία παραγωγή (Rapid Manufacturing) και συνίσταται στην απευθείας μετάβαση από τον κόσμο του ψηφιακού πλέον σχεδίου ή μοντέλου, στον κόσμο των φυσικών αντικειμένων. Οι μηχανές τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιούν τα δεδομένα ψηφιακών αρχείων τα οποία έχουν δημιουργηθεί/σχεδιαστεί είτε από κάποιον μηχανικό είτε έχουν προκύψει από την

σάρωση ενός φυσικού αντικείμενου, για να κατασκευάσουν, τυπώνοντας σε τρεις διαστάσεις, το φυσικό αντικείμενο.

Καθώς η παραγωγή σε τοπικό επίπεδο γίνεται διεθνής τάση, υποστηριζόμενη από την κατανομημένη παραγωγή, η προσωπική παραγωγή κερδίζει έδαφος. Χαμηλώνει το όριο κλίμακας παραγωγής που επιτρέπει σε μια παραγωγική μονάδα να θεωρηθεί βιομηχανία. Είναι δυνατόν να παραχθεί τοπικά αυτό που έχει σχεδιαστεί αλλού και ταυτόχρονα μπορεί να ανταποκρίνεται στις διακυμάνσεις της τοπικής ζήτησης, χωρίς έξοδα μεταφοράς. Η τρισδιάστατη εκτύπωση διεκδικεί δυναμικά την θέση της ως νέο τεχνολογικό επίτευγμα, που συνδέει κατευθείαν και χωρίς διαμεσολάβηση την ιδέα του σχεδιαστή με την παραγωγή εξαφανίζοντας όλους τους ενδιάμεσους παράγοντες μεταξύ σχεδιασμού και παραγωγής.

Χωρίς κανέναν περιορισμό στη μορφή και στη γεωμετρία τους, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής, τα αντικείμενα μπορούν να «εκτυπωθούν» και να είναι έτοιμα για χρήση, με σημαντική μείωση του χρόνου απόκτησης της πρώτης έκδοσης ενός προϊόντος. Καθίσταται έτσι δυνατό να τυπωθούν σύνθετες γεωμετρικές μορφές ή μπορεί απευθείας να εκτυπωθεί λειτουργική συναρμολογημένη διάταξη, γλιτώνοντας έτσι χρόνο και κόπο από την μετέπειτα συναρμολόγηση (Forrest & Cao, 2013).

Η κατασκευή ενός μοντέλου με σύγχρονες μεθόδους μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες έως και αρκετές ημέρες, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές μπορούν να παράγουν μοντέλα συνήθως μέσα σε λίγες ώρες αν και ο χρόνος μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος που χρησιμοποιείται, την ταχύτητα και την ακρίβεια εκτύπωσης το μέγεθος και τον αριθμό των μοντέλων που παράγονται ταυτόχρονα.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση βρίσκεται στο επίκεντρο των μέσων τα τελευταία χρόνια. Έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά επαγγελματικά περιβάλλοντα για σχεδόν 35 έτη αλλά μέχρι τώρα δεν ήταν προσβάσιμη στο ευρύ κοινό. Για πολύ καιρό η τεχνολογία αυτή ήταν περιορισμένη μόνο στους επαγγελματίες και στη βιομηχανία, αλλά τώρα το άνοιγμα αυτής της τεχνολογίας και η πτώση των τιμών των εκτυπωτών επιτρέπει την εκτύπωση μερών ή τελικών προϊόντων και έχει γίνει προσιτή στο ευρύ κοινό.

Όλα ξεκινούν με ένα τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο μπορεί να δημιουργηθεί με πληθώρα προγραμμάτων. Μπορεί η βιομηχανία να χρησιμοποιεί το 3D CAD, αλλά υπάρχουν και πολύ απλούστερες λύσεις για όλους τους άλλους. Αν δεν θέλουμε ή δεν έχει νόημα να φτιάξουμε μόνοι μας κάποιο τρισδιάστατο μοντέλο, μπορούμε να κάνουμε κάτι τελείως διαφορετικό. Αν αυτό που θέλουμε να “τυπώσουμε” υπάρχει ήδη, μπορούμε να το σκανάρουμε με “3D scanner”, από την οποία διαδικασία θα προκύψει το τρισδιάστατο μοντέλο που χρειαζόμαστε για την εκτύπωση. Όταν γίνει και αυτό, το μοντέλο που προκύπτει “κόβεται” σε “φέτες” προκειμένου να πάρει μορφή που μπορεί να κατανοήσει και να αξιοποιήσει ο εκτυπωτής. Ο εκτυπωτής, ουσιαστικά διαβάξει κάθε “φέτα”/στρώση και εναποθέτει αναλόγως τα υλικά κατά την εκτύπωση. Και στρώση-στρώση σχηματίζεται τελικά η τελική εκτύπωση, το αντικείμενο που θέλουμε δηλαδή.

Όπως θα έχεις ήδη υποθέσει, η τεχνική εκτύπωσης δεν είναι μόνο μία και καθεμιά έχει την ιδιαιτερότητά της. Συν τοις άλλοις, υπάρχει και ποικιλία στα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτύπωση. Πλαστικά, μέταλλα, κεραμικά, ακόμη και άμμος είναι «μέσα στο παιχνίδι». Στο στάδιο της δοκιμής είναι ακόμη πιο περίεργα υλικά, όπως βιολογικά υλικά διαφόρων ειδών, ακόμη και τροφές. Αυτά τα υλικά βέβαια δεν είναι ακόμη διαθέσιμα σε μεγάλη κλίμακα. Για αυτό και οι εκτυπωτές που μπορούμε να βρούμε ως καταναλωτές περιορίζονται κυρίως στη χρήση πλαστικών και άλλων συνθετικών υλικών όπως το nylon. Πάντως, ορισμένοι πιο δαιμόνιοι χρήστες κατάφεραν να πάρουν τα πιο προσιτά μοντέλα εκτυπωτών και να τα προσαρμόσουν ώστε να τυπώνουν τροφή χρησιμοποιώντας ζάχαρη ή σοκολάτα.

Ναι, αλλά τελικά πώς λειτουργούν όλα αυτά; Κάτι που πρέπει να ξεκαθαρίσουμε είναι πως, σε αντίθεση με την εκτύπωση φωτογραφιών, όπου όποια τεχνική και να χρησιμοποιήσουμε είναι σίγουρο ότι μπορούμε να τυπώσουμε ό,τι φωτογραφία θέλουμε, εδώ υπάρχει λόγος για τις διαφορετικές τεχνικές, αφού προσφέρονται για εξίσου διαφορετικά υλικά. Υπάρχουν λοιπόν εκτυπωτές που χρησιμοποιούν πλαστικά και άλλα υλικά σε σκόνη και χρειάζονται θέρμανση για να “δέσουν” οι στρώσεις. Αντίστοιχα αλλού χρησιμοποιείται κάποιου είδους συνθετική ρητίνη που προφανώς χρειάζεται διαφορετικό χειρισμό ώστε να στερεοποιηθεί όπως πρέπει. Αλλού τα υλικά εναποτίθενται με τη μορφή σταγονιδίων ενώ σε άλλες περιπτώσεις έχουμε εκτυπωτές που λιώνουν τα υλικά και τα χρησιμοποιούν αναλόγως.

Μια ακόμη σημαντική σημείωση είναι πως οι εκτυπωτές που μπορεί να αγοράσει κανείς σήμερα δεν τυπώνουν με το που βγουν από το κουτί και απαιτούν λίγη προετοιμασία. Επιπλέον, κάποια απλά αντικείμενα μπορούν να τυπωθούν και να είναι έτοιμα για χρήση. Πιο πολύπλοκα όμως, ειδικά αν είναι μέρη ενός όλου, μπορεί να θέλουν συναρμολόγηση, φινιρίσμα και λοιπές χειρωνακτικές εργασίες πριν πάρουν την τελική τους μορφή. Πολλά εξαρτώνται, προφανώς, από τη φιλοδοξία του καθενός δημιουργού.

Η έννοια της τρισδιάστατης εκτύπωσης με απλά λόγια μπορεί να οριστεί ως η μετατροπή ενός δυσδιάστατου σχεδίου σε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο το οποίο μεταφέρεται στον υλικό κόσμο. Η τρισδιάστατη εκτύπωση βρίσκεται σε εξελισσόμενο στάδιο, καθώς η τελική της μορφή δεν έχει ακόμα διαμορφωθεί. Η επιστήμη της 3d εκτύπωσης περιστρέφεται γύρω από τρεις βασικούς άξονες:

α) Τον σχεδιαστικό τομέα, κατά τον οποίο απαιτείται η εγκατάσταση και χρήση λογισμικού που εξειδικεύεται σε 3d σχεδιασμό. Τέτοια λογισμικά είναι γνωστά στην βιομηχανία ως CAD (Computer Aided Design) και επιτρέπουν στο χρήστη την πλήρη διαμόρφωση ενός αντικειμένου και στις τρεις διαστάσεις.

β) Τη διαδικασία της εκτύπωσης, κατά την οποία ο εκτυπωτής λαμβάνει τις εντολές του χρήστη και μετατρέπει τις πρώτες ύλες σε ένα αντικείμενο που ικανοποιεί όλες τις προδιαγραφές του αρχικού σχεδιασμού. Αυτή η διαδικασία απαιτεί έναν ειδικό εξοπλισμό και μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες μέχρι και αρκετές μέρες ανάλογα με το μέγεθος του προϊόντος.

γ) Την τελική φάση της εκτύπωσης, όπου ο παραγωγός μπορεί να τελειοποιήσει το προϊόν ή να εντοπίσει και να επιδιορθώσει πιθανές ατέλειες. Οι τεχνολογίες προτυποποίησης περιλαμβάνουν έξι βασικές μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης:

Όνομασία στα ελληνικά	Όνομασία στα αγγλικά
1. Στερεολιθογραφία	Stereo lithography (STL)
2. Επιλεκτική σύντηξη με laser	Selective laser sintering (SLS)
3. Συγκόλληση λεπτών φύλλων	Laminated object manufacturing (LOM)
4. Εναπόθεση διαδοχικών στρώσεων	Fused deposition modeling (FDM)
5. Τρισδιάστατη εκτύπωση inkjet	3d inkjet printing
6. Παραλλαγή στερεολιθογραφίας	Solid ground curing (SGC)

Πίνακας 1. έξι βασικές μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης
Πηγή: http://1lyk-peir-thess.thess.sch.gr/portal/files/Apo_tin_klassiki_stin_3d_ektiposi_2013.pdf

Τα πέντε κοινά στάδια που ακολουθούν όλες οι τεχνικές 3d εκτύπωσης είναι: α) Δημιουργία αρχικού ψηφιακού μοντέλου CAD

β) Μετατροπή του μοντέλου CAD σε format STL

γ) Τεμαχισμός του αρχείου STL σε διατομές ελάχιστου πάχους

δ) Κατασκευή του αντικειμένου με αλληλαπόθεση των διατομών και

ε) Καθαρισμός και τελικό φινίρισμα του μοντέλου.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση σηματοδοτεί ένα επίτευγμα-σταθμό του σύγχρονου τεχνολογικού κόσμου. Είναι ένας από τους πιο γρήγορα αναπτυσσόμενους τομείς της επιστήμης και έχει δώσει ερεθίσματα σε πολλούς ερευνητές άλλων τομέων, ώστε όλοι μαζί να συνεισφέρουν στην γενικότερη ανάπτυξη. Δίνει τη δυνατότητα κατασκευής προϊόντων σε εκατοντάδες ανθρώπους, καθώς, παρά το ακριβό κόστος της συσκευής, το κόστος παρασκευής προϊόντων είναι σημαντικά ελαττωμένο σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Ακόμα, η τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης δίνει σαφή προτερήματα και στον τομέα της περιβαλλοντικής ανάπτυξης, με το σχεδόν μηδαμινό ποσό αποβλήτων που δημιουργεί. Αυτή η τεχνολογική καινοτομία έχει και κοινωνικές συνέπειες, καθότι ανοίγει το δρόμο της δημιουργικότητας στον καθένα που ενδιαφέρεται. Με τον τρόπο αυτό υπόσχεται ενδιαφέρουσες προοπτικές για το μέλλον. Είναι πια βέβαιο ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα αποτελέσει τη βιομηχανία του μέλλοντος και θα παίξει καθοριστικό ρόλο στα επόμενα χρόνια.

1.3 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ



Εικόνα 12. 3D εκτυπωμένα γραφεία στο Ντουμπάι
Πηγή: www.google.gr

Η μακέτα στην αρχιτεκτονική είναι το σημαντικότερο εργαλείο απεικόνισης. Με την χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης ο αρχιτέκτονας έχει την δυνατότητα να πειραματιστεί με ακρίβεια και

λεπτομέρεια. Είναι ένα πραγματικό εργαλείο για την προώθηση του τελικού σχεδίου στον πελάτη. Η

τρειςδιάστατη εκτύπωση επαναπροσδιορίζει την έννοια της μακέτας καθιστώντας την ένα αυτόνομο έργο και ένα διαχρονικό αντικείμενο.

Τα επόμενο βήμα είναι η δημιουργία τεράστιων 3D εκτυπωτών για την κατασκευή ολόκληρων κτιρίων χρησιμοποιώντας το τσιμέντο ως υλικό κατασκευής. Η κατασκευή των κτιρίων αναμένεται να είναι φθηνή αφού μειώνονται τα λειτουργικά κόστη, λόγω του μειωμένου απαιτούμενου ανθρώπινου δυναμικού. Επειδή και ο χρόνος κατασκευής είναι μικρότερος, 3D σπίτια ή καταλύματα μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν



Εικόνα 13. 3D εκτυπωμένος χάρτης
Πηγή:
https://en.wikibooks.org/wiki/Blender_3D:_No_ob_to_Pro/Landscape_Modeling_I:_Basic_Terrain

μετά από φυσικές καταστροφές. Επιπρόσθετα μπορούν να υλοποιηθούν κατασκευαστικά σχέδια, τα οποία δεν μπορούν να επιτευχθούν με συμβατικές μεθόδους. Μέχρι σήμερα έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή κάποιων κτιρίων ενώ αναμένεται να υπάρξει αύξηση τα επόμενα χρόνια.

Τέλος η χαρτογράφηση και τα τοπογραφικά σχέδια παίρνουν τρισδιάστατη μορφή. Μέσω του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) τα τοπογραφικά gis

δεδομένα, μετατρέπονται σε πραγματικότητα. Κατοικίες, σχολεία, ακόμη και πόλεις μπορούν να εκτυπωθούν από 3D δεδομένα.



Εικόνα 14. Σχεδιασμός προτεινόμενης 3D εκτυπωμένης βάσης στο φεγγάρι
Πηγή: www.google.gr

Η κατασκευή κτιρίων δεν περιορίζεται μόνο στη γη. Η Εθνική Υπηρεσία Αεροναυπηγικής και Διαστήματος (NASA) και άλλες διαστημικές Υπηρεσίες σχεδιάζουν να εγκαταστήσουν 3D εκτυπωμένα

κτίρια στο διάστημα. Η NASA προσανατολίζεται στην δημιουργία αποικιών στον Άρη, ενώ η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA)

σχεδιάζει μία ερευνητική βάση στο φεγγάρι, η οποία θα εκτυπωθεί τρισδιάστατα χρησιμοποιώντας ως υλικό κατασκευής το σεληνιακό έδαφος.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές στο διάστημα δίνουν τη δυνατότητα στους αστροναύτες να κατασκευάζουν εργαλεία και εξαρτήματα σε συνθήκες μηδενικής βαρύτητας. Μείωση του εξοπλισμού, που ενδεχομένως θα απαιτηθεί, συνεπάγεται σημαντική μείωση του κόστους των αποστολών. Οι συσκευές πρέπει να αντέχουν τις δονήσεις της εκτόξευσης και να λειτουργούν με ασφάλεια.

Η NASA εξετάζει επίσης το ενδεχόμενο εκτύπωσης μικρών δορυφόρων, οι οποίοι θα εκτοξεύονται από τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό και θα μεταφέρουν δεδομένα στη Γη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο . ΝΕΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

2.1 DISTRIBUTED SYSTEMS - ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Έχοντας μιλήσει προηγουμένως για κατανεμημένα και συνεργαζόμενα συστήματα παραγωγής θα αναφερθούμε σε αυτή την παράγραφο αναλυτικά σε αυτά για να κατανοήσουμε καλύτερα τι σημαίνουν και πως λειτουργούν. Επίσης θα παρουσιάσουμε συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών.

Η παραγωγή με τη χρήση κατανεμημένων συστημάτων (Distributed manufacturing γνωστή και ως distributed production and local manufacturing) είναι μια μορφή αποκεντρωμένης παραγωγής που εφαρμόζεται από εταιρείες χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο εγκαταστάσεων απλωμένο γεωγραφικά, οι οποίες διοικούνται απομακρυσμένα κάνοντας χρήση της τεχνολογίας της πληροφορίας μέσω του διαδικτύου. Μπορούμε επίσης να αποκαλέσουμε το συγκεκριμένο είδος παραγωγής και “τοπική παραγωγή” ή αλλιώς παραγωγή που γίνεται στα σπίτια των καταναλωτών.

2.1.1 Πλεονεκτήματα για τη βιομηχανία



Εικόνα 15. Συναρμολόγηση σπιτιού με 3d εκτυπωτή
Πηγή:
<https://www.otherside.gr/2017/03/etaireia-kataskeuase-spiti-me-3d-ektypwsi-mesa-se-24-wres/>

Το κύριο χαρακτηριστικό της κατανεμημένης παραγωγής είναι η ικανότητα να δημιουργεί αξία σε γεωγραφικά διάσπαρτες αγορές μέσω παραγωγής. Για παράδειγμα, τα έξοδα αποστολής ελαχιστοποιούνται όταν τα προϊόντα που κατασκευάζονται γεωγραφικά κοντά στις αγορές για τις οποίες προορίζονται. Επίσης, τα προϊόντα που παράγονται σε ορισμένες μικρές εγκαταστάσεις που διανέμονται σε μια ευρεία περιοχή, μπορούν να προσαρμοστούν στις ατομικές ή περιφερειακές ανάγκες. Η κατασκευή εξαρτημάτων σε διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες και, στη συνέχεια, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας για να τα φέρει σε επαφή για την

τελική συναρμολόγηση του σπιτιού θεωρείται επίσης μια μορφή κατανεμημένης παραγωγής. Τα ψηφιακά δίκτυα σε συνδυασμό με παραγωγής όπως η τριασδιάσταση εκτύπωση, επιτρέπουν στις εταιρείες μια αποκεντρωμένη και γεωγραφικά ανεξάρτητη κατανεμημένη παραγωγή (Georgia Institute of Technology).

2.1.2 Πλεονεκτήματα για τον καταναλωτή

Το κύριο χαρακτηριστικό της κατανεμημένης παραγωγής είναι η ικανότητα να δημιουργεί αξία σε γεωγραφικά διάσπαρτες αγορές μέσω παραγωγής. Για παράδειγμα, τα έξοδα αποστολής ελαχιστοποιούνται όταν τα προϊόντα που κατασκευάζονται γεωγραφικά κοντά στις αγορές για τις οποίες προορίζονται. Επίσης, τα προϊόντα που παράγονται σε ορισμένες μικρές εγκαταστάσεις που διανέμονται σε μια ευρεία περιοχή, μπορούν να προσαρμοστούν στις ατομικές ή περιφερειακές ανάγκες. Η κατασκευή εξαρτημάτων σε διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες και, στη συνέχεια, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας για να τα φέρει σε επαφή για την τελική συναρμολόγηση του προϊόντος θεωρείται επίσης μια μορφή κατανεμημένης παραγωγής. Τα ψηφιακά δίκτυα σε συνδυασμό με παραγωγής όπως η τριασδιάσταση εκτύπωση σπιτιών, επιτρέπουν στις εταιρείες μια αποκεντρωμένη και γεωγραφικά ανεξάρτητη κατανεμημένη παραγωγή.

Οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να παράγουν προϊόντα σε μικρή κλίμακα χρησιμοποιώντας πόρους που ανταλλάσσουν μεταξύ τους μέσω του διαδικτύου. Έχουν τη δυνατότητα να κατεβάσουν ψηφιακά σχέδια τριών διαστάσεων από διάφορα προϊόντα τα οποία μπορούν να βρουν ελεύθερα σε ιστοσελίδες όπως το Youmagine ή το thingiverse και να τα κατασκευάσουν σπίτι τους με πολύ χαμηλό κόστος χρησιμοποιώντας εκτυπωτές τριών διαστάσεων ανοιχτού λογισμικού όπως οι RepRap. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των εκτυπωτών είναι ότι μπορούν να εκτυπώσουν δικά τους λειτουργικά μέρη.

2.1.3 Η επανάκαμψη του τοπικού στην παραγωγή

Διαπιστώνεται μια επανάκαμψη του τοπικού σε επίπεδο παραγωγής υποστηριζόμενη από ψηφιακές τεχνολογίες σχεδιασμού και παραγωγής. Εντάσσει την ιδεολογία του «μικρού» για να αναφερθεί σε κατανεμημένες στον χώρο δραστηριότητες, συνδεδεμένες μέσω ψηφιακών δικτύων στα πλαίσια του γωνιακού καπιταλισμού.

Οι Fred Curtis και David Ehrenfeld στο “The New Geography of Trade: Globalization’s Decline May Stimulate Local Recovery”, αναφέρουν ότι «η προσπάθεια τοπικής παραγωγής ολοένα και περισσότερων προϊόντων αυξάνει σε σημασία. Οι παραγωγοί τείνουν να επανεγκαταστήσουν τις παραγωγικές μονάδες πιο κοντά στις αγορές τους και με αυτό τον τρόπο να ελαχιστοποιήσουν τα έξοδα μεταφοράς. Οι στρατηγικές τοπικής επανεγκατάστασης περιλαμβάνουν ένα μεγάλο φάσμα δραστηριοτήτων, όπως η παραγωγή ενέργειας, η βιομηχανία τροφίμων, η παροχή υπηρεσιών». Το παγκόσμιο εμπόριο δεν πρόκειται φυσικά να εξαφανιστεί, ωστόσο η σημασία της τοπικής παραγωγής θα αυξηθεί.

2.1.4 Κατανεμημένη παραγωγή και δίκτυα ψηφιακού σχεδιασμού

Η κατανεμημένη παραγωγή (με χρήση ψηφιακής παραγωγής, CNC εργαλειομηχανών, τρισδιάστατης εκτύπωσης) υποστηριζόμενη από παγκόσμια δίκτυα ψηφιακού σχεδιασμού είναι ένα σχήμα που αναδύεται ως ηγεμονεύον με την έννοια ότι δεν είναι ο στατιστικά ισχυρότερος παράγοντας, αλλά αυτός που επηρεάζει αποφασιστικά την εξέλιξη όλων των άλλων. Τα αίτια αυτής της ανάδυσης είναι δυνατόν να ανιχνευτούν μεταξύ άλλων:

- Από την μεριά του λογισμικού:
- Στην ταχύτατη οριζόντια εξάπλωση των συστημάτων ψηφιακού σχεδιασμού.
- Στην μείωση του κόστους απόκτησης τους.
- Στην σε μεγάλο αριθμό εκπαίδευσης μηχανικών στην χρήση τους.
- Στην υποστήριξή τους από υπολογιστές χαμηλού πλέον κόστους
- Από την μεριά των μηχανών παραγωγής:
- Στην εξάπλωση της χρήσης CNC εργαλειομηχανών, με δυνατότητα εκτέλεσης πολλαπλών έργων και στην συνακόλουθη,
- Μείωση του μεγέθους και κόστους τους σε σημαντικό αριθμό τομέων της παραγωγής.

Ενεργοποιείται έτσι η δυνατότητα κατανομής των εξοπλισμών παραγωγής σε συνδυασμό με την δυνατότητα ελέγχου τους μέσω δικτύων ψηφιακού σχεδιασμού και παραγωγής. Το σχήμα που προβάλλει ως εφικτό ή και επιθυμητό είναι αυτό των παγκόσμιων δικτύων μικρο – εργοστασίων (micro-factories) συνδεδεμένων με παγκόσμια δίκτυα ψηφιακού σχεδιασμού.

Μια οριζοντιοποίηση της ανθρώπινης συνεργατικότητας κερδίζει έδαφος, η οποία αναδύεται ως ιδεολογία δια μέσου του περιβάλλοντος της τοπικά κατανεμημένης παραγωγής. Προβάλλονται μονομερώς τα πλεονεκτήματα των οριζοντίων διασυνδέσεων γύρω από το πρόθεμα συν- (co-operation, co-organization, co-design, collaboration), χωρίς αναφορά



Εικόνα 16. Ανθρώπινη συνεργατικότητα

Πηγή:

<https://www.otherside.gr/2017/03/etaireia-kataskeuase-spiti-me-3d-ektypwsi-mesa-se-24-wres/>

στους νέους μηχανισμούς κεντρικού ελέγχου της κατανεμημένης οργάνωσης, χωρίς αναφορά δηλαδή σε αυτό που κρατά ενωμένη μια διασπασμένη σε τοπικότητες διαδικασία.

Η συζήτηση έχει ανοίξει για την διαφορά μεταξύ κατανεμημένης οργάνωσης που ελέγχεται κεντρικά και οργάνωσης που δημιουργείται ως κατανεμημένη μέσα από διαδικασίες από τα κάτω. Αρκετά χρόνια πριν, ο Βόφγκαγκ Φριτς ΧΑΟΥΓΚ στην Παρέμβαση του στη Διεθνή Συνάντηση που οργάνωσε το Espace Marx το 2000 στο Παρίσι θα διατυπώσει την αντίθεση μεταξύ Παγκοσμιοποίησης και Οικομενοποίησης (Globalisation Vs Mondialisation).

2.2 3D PRINTING – ΤΑΧΕΙΑ ΠΡΟΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

Καθώς η τοπικοποίηση της παραγωγής γίνεται διεθνής τάση, υποστηριζόμενη από την κατανεμημένη παραγωγή, η προσωπική παραγωγή κερδίζει έδαφος. Χαμηλώνει το όριο κλίμακας που επιτρέπει σε μια παραγωγική μονάδα να θωρηθεί βιομηχανία. Είναι δυνατόν να παραχθεί τοπικά αυτό που έχει σχεδιαστεί αλλού και ταυτόχρονα μπορεί να ανταποκρίνεται στις διακυμάνσεις της τοπικής ζήτησης, χωρίς έξοδα μεταφοράς.

Καθώς η τρισδιάστατη εκτύπωση διεκδικεί δυναμικά την θέση της ως νέο τεχνολογικό παράδειγμα, τροφοδοτεί ένα νέο τεχνολογικό φαντασικό που συνδέει κατευθείαν και χωρίς διαμεσολάβηση την ιδέα του σχεδιαστή με την παραγωγή .

Στο τεχνολογικό αυτό φαντασικό όλοι οι ενδιάμεσοι παράγοντες μεταξύ σχεδιασμού και παραγωγής μοιάζει να εξαφανίζονται. Συγχρόνως, ένας φαντασικός αλλά καθαρός στόχος τίθεται για την έρευνα και την ανάπτυξη: Να περάσει από την εκτύπωση μερών στην συνολική εκτύπωση αντικειμένων ή και κτιρίων, όπως για παράδειγμα προτείνεται στον τομέα της κατασκευής.

Ο ρόλος του τεχνολογικού φαντασικού είναι να εκτοξεύει ένα βέλος στον χρόνο, προς το μέλλον και να καλεί να το ακολουθήσουμε. Είναι σχεδόν σίγουρο ότι δεν θα φτάσουμε στον προδιαγεγραμμένο στόχο του βέλους. Ωστόσο, εν τω μεταξύ, θα συμβούν αλλαγές, καθώς το τεχνολογικό φαντασικό θα εμποτίζει όλο και μεγαλύτερα τμήματα της πραγματικότητας. Ταυτόχρονα, ισχυρές διακλαδώσεις του θα κάνουν την εμφάνισή τους, καθώς η τρισδιάστατη εκτύπωση θα διεκδικηθεί από μια «καθημερινή» ομότιμη παραγωγή με κοινωνική στόχευση, σε μια περίοδο



γενικευμένης κρίσης: Ο καθένας θα μπορεί να εκτυπώνει αντικείμενα, εξαρτήματα της καθημερινότητάς του.

Τρισδιάστατη εκτύπωση (μέθοδος ταχείας πρωτοτυποποίησης) είναι η κατασκευή σπιτιών με προσθήκη υλικού. Το σπίτι «κτίζεται» με αλληπάλληλες στρώσεις υλικού, ξεκινώντας από τη βάση του και καταλήγοντας στην κορυφή του. Εάν υπάρχει το αντικείμενο σε τρισδιάστατη ψηφιακή μορφή (είτε μέσω τρισδιάστατης σάρωσης είτε μέσω

λογισμικού τρισδιάστατης σχεδίασης), η 3D εκτύπωση είναι ο πλέον εύκολος, γρήγορος και οικονομικός τρόπος να κατασκευαστεί αυτό.

Εικόνα 17. Αλληπάλληλες στρώσεις υλικού
Πηγή:
<https://www.newsbeast.gr/technology/arthro/672421/to-trisdiastato-tupoma-spition-ginetai-paihnidaki>

λογισμικού τρισδιάστατης σχεδίασης), η 3D εκτύπωση είναι ο πλέον εύκολος, γρήγορος και οικονομικός τρόπος να κατασκευαστεί αυτό.

Χωρίς κανέναν περιορισμό στην μορφή και την γεωμετρία τους, τα αντικείμενα μπορούν να «εκτυπωθούν» και να είναι έτοιμα για χρήση. Ακόμα και εάν θέλετε να

κατασκευάσετε μία συναρμολογημένη διάταξη (π.χ. ένα πλαστικό μοντέλο ψαλιδιού), αυτή μπορεί να εκτυπωθεί απευθείας συναρμολογημένη και λειτουργική, γλιτώνοντας έτσι χρόνο και κόπο από την μετέπειτα συναρμολόγηση.

Προκειμένου να δημιουργηθούν τα αντικείμενα, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές ακολουθούν τα προγράμματα κατασκευής βασισμένα στα τοπογραφικά στοιχεία που συντάσσονται στα τρισδιάστατα αρχεία. Με αυτόν τον τρόπο, οι εκτυπωτές προσθέτουν (ή γίνεται στερεός) το υλικό στις κατάλληλες περιοχές και το συσσωρεύουν μέχρι να δημιουργηθεί ο όγκος του αντικειμένου. Κάθε τρισδιάστατο αρχείο διαιρείται σε φέτες και στρώμα επανοικοδομήσεων από το στρώμα.

Μια πολύ απλή σύγκριση είναι να φανταστεί κανείς ένα τεμαχισμένο ψωμί. Βάλτε μια φέτα και επανοικοδομήστε το ψωμί σας με την προσθήκη μιας φέτας επάνω σε άλλη. Αυτός είναι ακριβώς αυτό που ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής κάνει για να χτίσει ένα αντικείμενο.

Τα περιγραφικά στοιχεία της μορφής αντικειμένου πρέπει να συνοψιστούν σε ένα ψηφιακό αρχείο, αποκαλούμενο τρισδιάστατο αρχείο. Μπορεί να δημιουργηθεί με τη χρησιμοποίηση ενός τρισδιάστατου λογισμικού διαμόρφωσης ή με την μετατροπή σε τρισδιάστατο ενός αντικειμένου που υπάρχει ήδη (για παράδειγμα με μια τρισδιάστατη ανίχνευση). Υπάρχει διαθέσιμη μια μεγάλη ποικιλία λογισμικού, με διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας, ανάλογα με τις απαιτήσεις (άτομα, βιομηχανικός, σχεδιαστής, κ.λπ.).

Η τρισδιάστατη εκτύπωση κάνει μια φυσική μεταγραφή, μια «υλοποίηση» αυτών των ψηφιακών στοιχείων, τα οποία ανοίγουν τις ευρείες δυνατότητες για τη δημιουργικότητα. Αυτή η νέα μέθοδος εκτύπωσης θεωρείται συχνά ως επαναστατική καθώς παίρνει μια απολύτως διαφορετική λογική και από τις παλαιότερες συμβατικές μεθόδους παραγωγής. Με τις παραδοσιακές βιομηχανικές διαδικασίες, οι μηχανές αφαιρούν υλικό, η τρισδιάστατη εκτύπωση προσθέτει το υλικό.

Η εφεύρεση της τρισδιάστατης εκτύπωσης, στοχεύει σε 2 πράγματα:

- στη μείωση του χρόνου απόκτησης της πρώτης έκδοσης ενός προϊόντος και
- στη χειραφέτηση πολλών περιορισμών που δεν είναι δυνατοί με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής.

Παραδείγματος χάριν, με την τρισδιάστατη εκτύπωση, είναι δυνατό να τυπωθούν οι σύνθετες γεωμετρικές μορφές και τα συναρμολογούμενα μέρη δεν απαιτούν καμία περαιτέρω εργασία. Είναι επίσης δυνατό να παραχθούν τα ενιαία αντικείμενα, σε μικρές ποσότητες, με χαμηλό κόστος και γρήγορη παράδοση. Αυτή η τεχνολογία βοηθά επίσης στη μείωση της υλικής απώλειας.



Εικόνα 18. τρισδιάστατη εκτύπωση

Πηγή: www.google.gr

Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να παραγάγει τα διαφορετικά αντικείμενα χωρίς δημιουργία της συγκεκριμένης σχεδίασης ή ακόμα και της χρησιμοποίησης διάφορων εργαλείων. Έτσι η τρισδιάστατη εκτύπωση βοηθά την ευελιξία στη ροή παραγωγής και μειώνει τις βιομηχανικές δαπάνες. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία ανάγκη να

χτιστεί η αφιερωμένη γραμμή παραγωγής, βοηθά σημαντικά στην μείωση του χρόνου παραγωγής: η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει να καινοτομήσει γρηγορότερα και να μηχανοποιήσει γρηγορότερα.

Δεδομένου ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση δημιουργεί αντίγραφα των τρισδιάστατων αρχείων ένα προς ένα, οι οικονομίες κλίμακας δεν μπορούν να γίνουν όταν παράγεται το ίδιο αρχείο για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα: αυτό είναι σαφώς διαφορετικό από τις μεθόδους κατασκευής σειράς που στοχεύουν στην παραγωγή των εκατομμυρίων των μονάδων των ίδιων αντικειμένων. Αντίθετα, η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι η τέλεια μέθοδος για παραγωγή κατόπιν παραγγελίας, και προσαρμογής σε αλλαγές.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση βρίσκεται στο επίκεντρο των μέσων τα τελευταία χρόνια.. Αυτή η τρισδιάστατη μέθοδος εκτύπωσης έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά επαγγελματικά περιβάλλοντα για σχεδόν 30 έτη αλλά μέχρι τώρα δεν ήταν προσβάσιμη στο ευρύ κοινό.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές καταλαμβάνουν τώρα μια θέση σημαντικότερη στις προτιμήσεις του κοινού και αυτό οφείλεται κυρίως στο άνοιγμα αυτής της τεχνολογίας σε αυτό. Για πολύ καιρό η τεχνολογία αυτή ήταν περιορισμένη μόνο

στους επαγγελματίες και στη βιομηχανία, αλλά τώρα τρισδιάστατη εκτύπωση που επιτρέπει την εκτύπωση μερών ή τελικών προϊόντων έχει γίνει προσιτή στο ευρύ κοινό.

2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM ή αλλιώς Fused Filament Fabrication (FFF) βασίζεται στην τήξη και την επιλεκτική εναπόθεση μιας λεπτής ίνας θερμοπλαστικού για τον σχηματισμό αλληπάλλληλων στρώσεων οι οποίες και θα δημιουργήσουν το τελικό αντικείμενο. Χαρακτηρίζεται από υψηλή σχέση απόδοσης/τιμής συγκριτικά με άλλες μεθόδους ταχείας πρωτοτυποποίησης ή συμβατικής παραγωγής. Τα παραγόμενα αντικείμενα είναι ανθεκτικά και συνήθως έτοιμα προς χρήση χωρίς να απαιτείται κάποια πρόσθετη επεξεργασία. Υστερεί στο σχηματισμό πολύ λεπτών χαρακτηριστικών και στο βαθμό λεπτομέρειας που μπορεί να αποτυπώσει. Λόγω του ότι είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία αναπτύσσονται συνεχώς νέα υλικά που προσδίδουν στα αντικείμενα ειδικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά.

Stereolithography (SLA)

Η στερεολιθογραφία επιτυγχάνεται μέσω του φωτοπολυμερισμού πολύ λεπτών στρώσεων, ειδικών για 3D εκτύπωση, υγρών ρητινών. Οι ρητίνες αυτές έχουν τη ξεχωριστή ιδιότητα να στερεοποιούνται όταν εκθέτονται σε υπεριώδη ακτινοβολία. Με αυτό τον τρόπο παίρνει μορφή και ενσωματώνεται η κάθε μια στρώση πάνω στην άλλη σχηματίζοντας το φυσικό αντίγραφο του ψηφιακού 3D μοντέλου. Η στερεολιθογραφία παράγει αντικείμενα εξαιρετικής ποιότητας, ακρίβειας και λεπτομέρειας σε τέτοιο βαθμό ώστε τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο να διακρίνουμε εάν το αντικείμενο είναι το τελικό προϊόν και όχι ένα εκτυπωμένο πρωτότυπο. Η επιλογή της ρητίνης που θα χρησιμοποιηθεί προσδίδει στο αντικείμενο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως δυνατότητα χύτευσης, αυξημένη αντοχή, ελαστικότητα κ.ο.κ.

2.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Υπάρχουν πολλά υλικά που χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές για διάφορες εφαρμογές σε πολλούς τομείς. Για τους κατασκευαστές και τους σχεδιαστές το κατάλληλο υλικό είναι το σημαντικότερο στοιχείο μιας κατασκευής. Ανάλογα τη χρήση για το οποίο προορίζεται το υπό κατασκευή αντικείμενο, επιλέγεται το υλικό με τις κατάλληλες μηχανικές, χημικές, θερμικές και ηλεκτρικές ιδιότητες, λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντολογικές πληροφορίες και θέματα ανισοτροπίας του κάθε υλικού. Συνήθως οι διάφορες μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης, συνοδεύονται από συλλογή υλικών ενώ οι άλογα με τη τεχνολογία της 3D εκτύπωσης πραγματοποιείται η επεξεργασία διαφορετικών υλικών με διαφορετικούς τρόπους για τη δημιουργία του τελικού σπιτιού. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στους 3D εκτυπωτές μπορεί να είναι σε μορφή σκόνης, με τα συσσωματώματα είτε να συγκολλούνται μεταξύ τους με χρήση ειδικής κόλλας που ψεκάζει ο εκτυπωτής, είτε να λιώνουν και να στερεοποιούνται επιλεκτικά. Αλλά μπορούν να είναι σε μορφή φύλλου πριν την επεξεργασία τους. Σε πολλές περιπτώσεις το αναλώσιμο μπορεί να βρίσκεται ή να θερμαίνεται για να βρεθεί σε ημι-στέρεα ή υγρή μορφή, για να έχουν καλύτερη συνοχή μεταξύ τους οι στρώσεις κατά την εκτύπωση. Τέλος αλλά μπορούν να είναι σε υγρή μορφή φωτοευαίσθητα τα οποία στερεοποιούνται επιλεκτικά μετά από ακτινοβολία.

Δηλαδή ανάλογα με τη τεχνολογία της 3D εκτύπωσης που χρησιμοποιείται, θα επιλεγεί και το υλικό στην κατάλληλη μορφή, η οποία θα είναι σκόνη (Powder), στερεά φύλλα (Solid Sheets), λειωμένο υλικό (Molten), φωτοπολυμερές υγρό (Photopolymer). Η σκόνη (Powder material) μπορεί να είναι από μέταλλο, από γύψο, κεραμικό, πλαστικό ή από συστατικά τροφίμων. Τα στερεά φύλλα (Solid Sheets) μπορεί να είναι από χαρτί, από μέταλλο, κεραμικό ή από πλαστικό και μπορεί να είναι ενιαία ή σκόνη πάνω σε φιλμ-ταινία. Ρευστό ή Λειωμένο υλικό (Gel or Molten material) μπορεί να είναι από πλαστικό, ξύλο, μέταλλο, Βιοσυμβατό ή άλλο υλικό και είναι συνήθως σε μορφή νήματος. Το Φωτοπολυμερές υγρό (Photopolymer liquid) είναι από διάφορες ρητίνες με διαφορετικές ιδιότητες.

2.4.1 PLA Θερμοπλαστικό (Fused Deposition Modeling)

Το PLA (Poly Lactic Acid) είναι ένα βιοδιασπώμενο θερμοπλαστικό προερχόμενο κυρίως από φυτικές ανανεώσιμες πηγές το οποίο το κατατάσσει από τα πρώτα στη λίστα με τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον πλαστικά υλικά. Το PLA είναι σκληρό, ανθεκτικό και παρουσιάζει μεγαλύτερη ακαμψία σε σύγκριση με το ABS. Η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει να μαλακώνει είναι περίπου οι 65 βαθμοί Κελσίου. Σε ένα σπίτι φτιαγμένο από PLA μπορεί να γίνει επεξεργασία με γυαλόχαρτο αλλά και μηχανουργική κατεργασία όπως τρύπημα, τórνευση και φρεζάρισμα. Επίσης μπορεί να βαφεί με ακρυλικά και άλλα χρώματα. Είναι το πιο κοινά 3D εκτυπώσιμο υλικό, ιδανικό για όλες τις εφαρμογές που δεν υφίστανται υψηλές θερμοκρασίες.

Χρώματα PLA

Γκρι, Λευκό, Μαύρο, Κόκκινο, Κίτρινο, Πορτοκαλί, Μπλε, Πράσινο, Διαφανές.

2.4.2 ABS Θερμοπλαστικό (Fused Deposition Modeling)

Το ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) είναι ένα από τα πιο κοινά είδη πλαστικών στη βιομηχανία κατασκευής προϊόντων. Τα γνωστά σε όλους μας τουβλάκια LEGO® είναι ένα τέτοιο παράδειγμα. Το ABS έχει πετρελαϊκή προέλευση κάτι που το κάνει λιγότερο "πράσινο" από το PLA. Είναι πολύ ανθεκτικό, σκληρό και σε μικρό βαθμό εύκαμπτο ώστε υπό περιορισμένη πίεση να λυγίζει αντί σπάει. Διατηρεί τη στιβαρότητα του έως τους 105 βαθμούς Κελσίου, άρα είναι ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.

Όπως και το PLA μπορεί να τρυπηθεί αλλά και να λειανθεί με τρίψιμο χωρίς πρόβλημα.

Χρώματα ABS

Γκρι, Λευκό, Μαύρο, Κόκκινο, Κίτρινο, Πορτοκαλί, Μπλε, Πράσινο, Φυσικό Διαφανές.

2.4.3 Πολυμερή υλικά

Το Ακρυλονιτρίλιο Βουταδιένιο Στυρόλιο (Acrylonitrile Butadiene Styrene - ABS) και το Πολυγαλακτικό Οξύ (Polylactic Acid - PLA) είναι από τα πιο διαδεδομένα εμπορικά υλικά. Μπορούν να επεξεργαστούν με ακετόνη μετά την εκτύπωση για να παρέχεται ένα γυαλιστερό φινίρισμα. Κατά την αποθήκευση πρέπει να είναι στεγανός κλεισμένα, καθότι απορροφούν την υγρασία. Το ABS είναι παράγωγο πετρελαίου και

εκλύονται μικρές αναθυμιάσεις κατά την εκτύπωση. Είναι λιγότερο εύθραυστο και πιο όλκιμο με μεγάλη θερμοκρασιακή αντίσταση Συνιστάται για πιο απαιτητικές εφαρμογές και προτυποποίηση μοντέλων. Για να «τυπωθεί» ένα αντικείμενο απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες (Θερμοκρασία ακροφυσίου μεταξύ 220- 235 ο C) από το PLA (Θερμοκρασία ακροφυσίου μεταξύ 185 - 210 ο C). Σε αντίθεση με το ABS, το PLA είναι βιοδιασπώμενο, προέρχεται από την επεξεργασία φυτικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων καλαμπόκι, πατάτες ή ζαχαρότευτλα και θεωρείται υλικό πιο φιλικό προς το περιβάλλον. Υποκατηγορίες του PLA, είναι τα Soft PLA ή το Flex EcoPLA τα οποία είναι πιο εύκαμπτα και ενεργούν σαν λάστιχο και το το PolyMax PLA το οποίο είναι ανασχεδιασμένο με εξαιρετική μηχανική αντοχή. Η Πολυβινυλική αλκοόλη (Polyvinyl Acetate – PVA), καθώς και το High Impact Polystyrene – (HIPS) είναι υδροδιαλυτά υλικά και χρησιμοποιούνται στις κατασκευές ως υλικό υποστήριξης, κατά την εκτύπωση, στα σημεία εκτύπωσης των αντικειμένων με μεγάλες κλίσεις. Το PVA είναι μη τοξικό και βιοδιασπώμενο μόλις διαλυθεί στο νερό. Συνήθως διαλύεται σε κρύο νερό αλλά η διαδικασία επιταχύνεται στο ζεστό νερό. Το HIPS το υλικό είναι διαδεδομένο στη βιομηχανία τροφίμων και τη συσκευασία, διαλύεται σε ένα άχρωμο υγρό υδρογονάνθρακα λιμονένιο (hydrocarbon Limonene).

Το νάιλον (Nylon ή Polyamide- PA) Είναι γνωστό για τη μεγάλη βιοσυμβατότητά του, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική βιομηχανία. Η πλειονότητα των αντικαταστάσεων χόνδρου και ενός αρκετά μεγάλου αριθμού των προσθετικών μερών, γίνονται με τη χρήση αυτού του υλικού.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι νάιλον που χρησιμοποιούνται στην 3D εκτύπωση όπως το Nylon 618, το οποίο έχει φυσικό λευκό χρώμα, το Nylon 645, το οποίο είναι αρκετά διαυγές, αλλά δύσκολο στην μεταχείρισή του και το Nylon PA6Polymer το οποίο είναι πολύ ανθεκτικό υλικό, με υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, στιλπνότητα και ελαστικότητα και χρησιμοποιείται για την εκτύπωση εξαιρετικά στιβαρών εξαρτημάτων.

Το NylonX είναι και αυτό ένας τύπος του νάιλον που έχει προσθήκη μικρο ινών άνθρακα (carbon) για μεγαλύτερη ακαμψία. Άλλα ανθεκτικά υλικά στη κατηγορία αυτή είναι το Carbon, το Kevlar και το Fiberglass.

Το Polyether ether ketone (Peek) είναι ελαφρύ θερμοπλαστικό πολυμερές και ανήκει στην κατηγορία των βιομηχανικών υλικών με τη μεγαλύτερη χημική, θερμοκρασιακή αντίσταση, καθώς και αντίσταση κατά της υγρασίας.

Το Alumide κατασκευάζεται από ένα μείγμα πολυαμιδίου (ναιλον) και ένα πολύ χαμηλό ποσοστό γκρι σκόνης αλουμινίου. Το Alumide είναι ένα ισχυρό, κάπως άκαμπτο πλαστικό υλικό που μπορεί να αντέξει μικρές κρούσεις και να αντισταθεί σε κάποια πίεση ενώ είναι λυγισμένο. Η επιφάνεια έχει μια αμμώδη, κοκκώδη εμφάνιση και είναι ελαφρώς πορώδης.

Το Πολυαιθυλένιο (Polyethylene terephthalate - PET) (γνωστό από τη χρήση του στα πλαστικά μπουκάλια) είναι μια δημοφιλής εναλλακτική λύση 3D εκτύπωσης νήματος, λόγω του ότι συνδυάζει την ευκολία χρήσης του PLA με τη δύναμη και αντοχή του ABS. Είναι εγκεκριμένο από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) για δοχεία τροφίμων και εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την κατανάλωση τροφίμων και εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την κατανάλωση τροφίμων. Σε αντίθεση με το ABS δε στρεβλώνει και δεν παράγει οσμές ή αναθυμιάσεις κατά την εκτύπωση. Δεν είναι βιοδιασπώμενο, αλλά είναι 100% ανακτήσιμο. Είναι επίσης εύκολα διαχειρίσιμο στην εκτύπωση προσφέροντας κάποια χαρακτηριστικά στην απόδοση εκτύπωσης παρόμοια με το PLA. Στην αρχική του κατάσταση είναι ένα άχρωμο και πεντακάθαρο υλικό αλλά όταν θερμανθεί ή ψυχθεί το υλικό αλλάζει τη διαφάνειά του. Το υλικό έχει περισσότερο κρυσταλλική δομή όταν κρύνει αργά μετά την εκτύπωση. Το νήμα είναι αρκετά σκληρό και ανθεκτικό στα χτυπήματα, έτσι ώστε να το καθιστά ιδανικό για ελαφριά αντικείμενα. Το PET είναι η τέλεια επιλογή για θήκες τηλεφώνου ή μηχανικά μέρη που απαιτούν ελαστικότητα και αντίσταση κρούσης ή ανθεκτικότητα. Υποκατηγορίες του PET αποτελούν τα PETT/ G / XT / N-Vent.

Το θερμοπλαστικό ελαστομερές (thermoplastic elastomer – TPE), η θερμοπλαστική πολουρεθάνη (Thermoplastic Polyurethane - TPU) και το θερμοπλαστικό συμπολυεστέρα (Thermoplastic copolyester - TPC) είναι εύκαμπτα υλικά και δρουν σαν εύκαμπτο καουτσούκ. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν για πώματα, ζώνες, ελατήρια, θήκες τηλεφώνου, και πολλά άλλα. Μπορούν να δημιουργήσουν 3D εκτυπώσεις που θα έχουν τις ιδιότητες ενός μαλακού ελαστικού, γεγονός που τα καθιστά ακόμη πιο ελαστικά από το Soft PLA.

Το NinjaFlex και το FilaFlex είναι άλλα εύκαμπτα υλικά, έχουν θερμοκρασία εκτύπωσης που κυμαίνεται από 220 έως 230 °C, είναι μη τοξικά και ανθεκτικά σε ακετόνη, καύσιμα και διαλυτικά. Το PCTPE (Plasticized Copolyamide TPE) είναι ένας συνδυασμός από νάυλον και TPE. Όταν εκτυπωθεί, είναι εύκαμπτο σαν κανονικό TPE, αλλά το προστιθέμενο Nylon προσφέρει μεγαλύτερη αντοχή. Μπορεί επίσης να βαφεί με οποιοδήποτε χρώμα βάσεως οξέως. Το FPE (Flexible PolyEster) είναι και αυτό εύκαμπτο υλικό μείγματος άκαμπτου και μαλακού πολυμερούς με θερμοκρασία εκτύπωσης που κυμαίνεται από 205 έως 250 °C. Υποκατηγορίες του ABS, είναι το Polycarbonate - PC/ABS.

Το Πολυκαρμπονικό (Polycarbonate – PC) είναι ένα εξαιρετικά ισχυρό, ανθεκτικό στα χτυπήματα θερμοπλαστικό υλικό το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην αεροδιαστημική, στην ιατρική βιομηχανικές εφαρμογές σε οικιακές συσκευές, όπως τηλεοράσεις, περιβλήματα υπολογιστή, ακόμη και σε παιδικά παιχνίδια. Έχει μεγάλες μηχανικές ιδιότητες και αντοχή στη θερμότητα καθώς και τη δεύτερη υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό μεταξύ όλων των υλικών που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους εξώθησης υλικών. Το υλικό είναι επίσης βιοσυμβατό και μπορεί να είναι αποστειρωμένο. Γι' αυτό είναι εξαιρετικά δημοφιλής για τις ανάγκες πρωτοτύπων, σε λειτουργικές δοκιμές, εργαλείων και σύνθετα έργα. Το υλικό πρέπει να εξωθηθεί σε θερμοκρασία πάνω από 300 °C. Το ξύλινα υλικά όπως το LayWood (LAYWOOD3), το Woodfill και το Timberfill κατασκευάζονται από ένα μείγμα PLA και ανακυκλωμένο ξύλο, έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά εκτύπωσης με το PLA, αλλά εμφάνιση παρόμοια με το ξύλο. Μπορούν να κοπούν, να τριφτούν και να βαφτούν δημιουργώντας φυσικά αντικείμενα για τη διακόσμηση σπιτιού, και για άλλες εφαρμογές. Επιφανειακά διαθέτουν χαρακτηριστικά παρόμοια με κόκκους ξύλου και με την αυξομείωση της θερμοκρασίας εξώθησης δημιουργούνται οι αποχρώσεις του ξύλου.

Το Laybrick αναπτύχθηκε για να μιμηθεί τον αμμόλιθο. Περιέχει ένα μείγμα υπερ-λεπτής αλεσμένης κιμωλίας και co-polyesters για να παράγει μια επιφάνεια αμμόλιθου, όπως συναντάται στα αρχιτεκτονικά μοντέλα, γλυπτά, ή τοπία. Δεν παρουσιάζει πλαστική αίσθηση και μπορούν να εκτυπωθούν με λεία ή πολύ τραχιά επιφανειακά χαρακτηριστικά, ανάλογα με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας εξώθησης. Μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση, το αντικείμενο παραμένει για 2-4 ώρες για επιπλέον

σκλήρυνση. Η επιφάνεια του μπορεί στη συνέχεια να χρωματιστεί ή να σφουρηλατηθεί ώστε να δημιουργηθούν μια σειρά από προϊόντα απομίμησης πέτρας.

Το Ακρυλονιτριλίου Συμπολυμερές ακρυλικού (Acrylonitrile Styrene Acrylate - ASA) είναι ένα υλικό με μεγάλη δύναμη και απaráμιλλη διατήρηση των φυσικών χαρακτηριστικών. Είναι επίσης εξαιρετικά ανθεκτικό σε καιρικές συνθήκες και σε χημικά, έτσι ώστε να μπορεί να αντέξει τις εξωτερικές συνθήκες όλων των ειδών με απaráμιλλη αντοχή.

Το Πολυπροπυλένιο (Polypropylene - PP) έχει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής. Ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών της καλής ευελιξίας, της καλής χημικής αντίστασης, και της ασφαλούς χρήσης για τρόφιμα κάνουν αυτό το υλικό μια εξαιρετική επιλογή για διάφορα δοχεία, συσκευασίες, καπάκια και άλλα πολλά. Το πολυοξυμεθυλενίου (POM, Acetal), επίσης γνωστή ως ακετάλη (Acetal) ή πολυακετάλη (Polyacetal), είναι ένα πλαστικό για βιομηχανικές εφαρμογές που απαιτούν τμήματα ακρίβειας. Το φερμουάρ είναι το πιο πιθανό να γίνεται από POM πλαστικό. Λόγω της ακαμψία του, το χαμηλό συντελεστή τριβής, την εξαιρετική ελαστικότητα και αντοχή στη φθορά, είναι εξαιρετικό υλικό για εξαρτήματα με μηχανικές λειτουργίες, όπως γρανάζια και ρουλεμάν.

2.4.4 Διάφορα υλικά

Τα κεραμικά υλικά συναντιούνται σε μορφή νήματος, ταινίας, λεπτής σκόνης ή και σε επίπεδο νανοσωματιδίων η οποία ενώνεται με ένα συνδετικό υλικό, καίγεται και περνιέται με ένα λούστρο. Εκτός του ότι είναι ασφαλή για τρόφιμα, είναι ανακυκλώσιμα και ανθεκτικά στη θερμότητα. Είναι ιδανικά για πιάτα, φλιτζάνια, πιάτα, ακόμα και αγάλματα και ειδώλια. Είναι πυρίμαχα στους 500 οC. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι είναι εύθραυστα. Μερικές ιδιότητες τους είναι η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, οι μονωτικές ιδιότητες, ή η ημιαγώγιμη συμπεριφορά με διάφορες μαγνητικές και διηλεκτρικές ιδιότητες, και η αντίσταση στην παραμόρφωση.

Τα ψηφιακά υλικά είναι νέα σύνθετα υλικά που παράγονται, με ιδιότητες που δεν είναι διαθέσιμες στα επιμέρους συστατικά. Οι διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες δημιουργούν μία παλέτα υλικών καλύπτοντας όλες τις απαιτήσεις.

Το μεθακρυλικό πολυμεθύλιο (Polymethyl methacrylate - PMMA), ευρέως γνωστό ως ακρυλικό, είναι ένα εξαιρετικά διαφανές υλικό το οποίο είναι πολύ άκαμπτο και ανθεκτικό. Η θερμοκρασία εκτύπωσης κυμαίνεται στους 235 έως 250 °C.

Ο πολύχρωμος αμμόλιθος (Full color sandstone) είναι ιδανικό για φιγούρες και άλλα προϊόντα που προσφέρονται σε πολύχρωμη, υψηλής ποιότητας, εκτύπωση. Τα μοντέλα δημιουργούνται από την εκτύπωση του συνδετικού υλικού και από ένα χρωματιστό μελάνι, επίπεδο με επίπεδο, σε μια πλατφόρμα με βάση το γύψο σε σκόνη. Μετά την εκτύπωση, τα μοντέλα ολοκληρώνονται με ένα κυανοακρυλικό σφραγιστικό (εξαιρετικής ποιότητας κόλλα) για να διασφαλιστεί η ανθεκτικότητα και τα ζωντανά χρώματα. Το τελικό προϊόν είναι ένα σκληρό, εύθραυστο υλικό που λειτουργεί ιδανικά για τα οπτικά πρότυπα, αλλά δεν είναι κατάλληλο για λειτουργικά τμήματα.

Τα βρώσιμα υλικά σε μορφή σκόνης ή πάστας, καθώς και συστατικά όπως οι πρωτεΐνες χρησιμοποιούνται στις 3d εκτυπώσεις φαγητού, ενώ βιοσυμβατικές υδρογέλες (hydrogels) χρησιμοποιούνται στην βιοεξώθηση για τη δημιουργία ιστών και οργάνων.

2.4.5 μεταλλικά υλικά

Το καθαρό τιτάνιο (Ti64 ή TiAl4V) είναι ένα από τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα μέταλλα για 3D εκτύπωση και είναι σίγουρα ένα από τα πιο ευέλικτα, δεδομένου ότι είναι ισχυρό και ελαφρύ. Χρησιμοποιείται στον ιατρικό κλάδο (για εξασθενωμένα προσθετικά μέλη) και στην αεροδιαστημική/ αυτοκινητοβιομηχανία/ βιομηχανία εργαλείων (για ανταλλακτικά και πρωτότυπα). Το μόνο μειονέκτημα είναι ότι είναι πολύ δραστικό, που σημαίνει ότι μπορεί εύκολα να εκραγεί όταν είναι σε μορφή σκόνης. Γι 'αυτό η 3D εκτύπωση πρέπει να πραγματοποιείται σε κενό ή σε ατμόσφαιρα αργού αερίου.

Ο ανοξείδωτος χάλυβας (Stainless Steel) είναι από τα πιο προσιτά μέταλλα για 3D εκτύπωση. Την ίδια στιγμή, είναι πολύ ισχυρό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια μεγάλη ποικιλία βιομηχανικών αλλά και καλλιτεχνικών / σχεδιαστικών εφαρμογών. Ένα είδος κράματος χάλυβα, το οποίο περιέχει επίσης κοβάλτιο και νικέλιο (cobalt and nickel) είναι ιδιαίτερα δύσκολο να σπάσει, ενώ την ίδια στιγμή έχει πολύ υψηλές ελαστικές ιδιότητες.

Το κοβάλτιο χρωμίου (Cobalt Chrome) έχει μια πολύ υψηλή ειδική ισχύ (η οποία είναι η δύναμή διαιρούμενη με την πυκνότητά του, η οποία δείχνει ουσιαστικά την απαιτούμενη δύναμη ανά μονάδα επιφανείας για αποτυχία). Πιο συχνά χρησιμοποιείται για την παραγωγή τουρμπινών, οδοντικών και ορθοπεδικών εμφυτευμάτων, σε όλους δηλαδή τους τομείς όπου η 3D εκτύπωση μετάλλου γίνεται η προτιμώμενη μέθοδος κατασκευής. Χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για βιομηχανικές εφαρμογές.

Το αλουμίνιο (Aluminum) έχει αντοχή στην διάβρωση, χαμηλό ειδικό βάρος σε συνδυασμό με ανθεκτικότητα, πολύ καλή ανακλαστικότητα. Είναι μη μαγνητικό υλικό με πολύ καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, αδιαπέραστο από τους μικροοργανισμούς & το φως, είναι ελατό, όλκιμο και 100% ανακυκλώσιμο.

Ο χαλκός (Copper), ο ορείχαλκος (Brass) ο Μπρούντζος (Bronze) και ο σίδηρος (iron) χρησιμοποιούνται κυρίως σε διαδικασίες χύτευσης ή ως νήμα περιεκτικότητας περίπου 80%, ενώ το υπόλοιπο είναι από PLA. Δεν είναι ιδανικά για βιομηχανικές εφαρμογές και χρησιμοποιούνται πιο συχνά στις τέχνες και στη βιοτεχνία.

Ο χρυσός (Gold), ο λευκόχρυσος (platinum), το ασήμι (Silver) χρησιμοποιούνται τόσο στη Σύντηξη Στρώματος Σκόνης (Powder Bed Fusion), όσο και σε διαδικασίες χύτευσης. Η πρόκληση είναι τόσο η διατήρηση των αισθητικών ιδιοτήτων των υλικών, όσο και η βελτιστοποίηση της διαχείρισης της πολύτιμης σκόνης. Τα πολύτιμα μέταλλα χρησιμοποιούνται για κοσμήματα, ιατρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές.

2.4.6 ρητίνες

Στις μεθόδους 3D εκτύπωσης με απαιτήσεις φωτοπολυμερισμού, δεν υπάρχει αρκετά ευρύ φάσμα κατασκευαστών παραγωγής υλικών. Οι κατασκευάστριες εταιρείες, συνήθως συνοδεύουν τους εκτυπωτές με τις δικές τους ρητίνες. Με την είσοδο, στην αγορά, χαμηλού κόστους εκτυπωτών αναπτύσσεται ένα εύρος από ρητίνες σε διάφορα χρώματα και για διαφορετικές χρήσεις.

Η Ρητίνη Γενικού Σκοπού προσομοιώνει τα βασικά πλαστικά στη διάφανη κατάσταση ή σε διάφορα χρώματα, αλλά είναι κάπως εύθραυστα. Η Ανθεκτική Ρητίνη είναι σχεδιασμένη για υψηλή αντοχή στη φθορά, με αποτέλεσμα τα μέρη να

μπορούν να λυγίσουν χωρίς να σπάσουν. Η ακαμψία και η υψηλή αντοχή στην κρούση, είναι παρόμοια με αυτή του πολυπροπυλενίου (PP) και έχει ομαλό, γυαλιστερό φινίρισμα, καθιστώντας το κατάλληλο για την προτυποποίηση ή τη συσκευασία. Η Σκληρή Ρητίνη είναι η προσομοίωση του πλαστικού ABS, με συγκρίσιμη αντοχή στον εφελκυσμό. Είναι ιδανική λύση για λειτουργικά πρωτότυπα και συναρμολογήσεις. Η Υψηλής Θερμοκρασίας Ρητίνη μπορεί να αντέξει υψηλές θερμοκρασίες.

Συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές, όπως παραγωγή καλουπιών για χύτευση, για θερμικές δοκιμές όπως ροή στα κανάλια που έχουν σχεδιαστεί για ζεστό αέρα ή υγρά και δημιουργία εργαλείων για θερμοδιαμόρφωση. Η χυτεύσιμη (Castable) Ρητίνη καίγεται καθαρά χωρίς υπόλειμμα και αποτυπώνει ευκρινείς, ακριβείς λεπτομέρειες και λείες επιφάνειες. Τα κοσμηματοπωλεία και οι σχεδιαστές μπορούν να οδηγηθούν απ' ευθείας από μια 3D σχεδίαση σε ένα μοντέλο. Η Εύκαμπτη Ρητίνη είναι εξαιρετικό υλικό για προσομοίωση καουτσούκ με διαφορετικά επίπεδα σκληρότητας και αντίσταση στο σχίσιμο. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή εξαρτημάτων που απαιτείται να συμπιεστούν και να λυγίσουν. Η Βιοσυμβατή Ρητίνη στοχεύει στην οδοντιατρική βιομηχανία αλλά και στην ιατρική. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή οδοντικών προϊόντων, χειρουργικών οδηγών για τις επεμβάσεις και για ακουστικά βαρηκοΐας. Η Κεραμική Ρητίνη είναι ένα σύνθετο υλικό κεραμικού-φωτοπολυμερούς, κατά το οποίο το φωτοπολυμερές δεσμεύει τα κεραμικά σωματίδια. Μετά την εκτύπωση οδηγείται σε κλίβανο για να ολοκληρωθεί η κατασκευή. Υπάρχει τέλος η Ρητίνη αντίδρασης στο Φως της Ημέρας, η οποία δεν αντιδρά στο υπεριώδες φως, αλλά στο συνηθισμένο φως της ημέρας, περιορίζοντας έτσι την ανάγκη για στήριξη σε μια πηγή φωτός UV κατά την 3D εκτύπωση. Αντ' αυτού, μια οθόνη LCD μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μειώνοντας ενδεχομένως το κόστος της DLP 3D εκτύπωσης.

2.4.7 Στερεολιθογραφία

Η στερεολιθογραφία είναι η πρώτη ιστορικά μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης αλλά και η πρώτη που διατέθηκε εμπορικά ενώ φημίζεται για την ακρίβειά της. Βασίζεται στη χρήση laser που θερμαίνει ρητίνη προκειμένου να σκληρύνει. Συνήθως υπάρχει δοχείο με ρητίνη και η δέσμη στερεοποιεί μια στρώση τη φορά πριν εκτεθεί η

επόμενη. Στο τέλος αφαιρείται το δοχείο και η εκτύπωση είναι έτοιμη. Σε αυτήν την τεχνική χρειάζεται συχνά χρήση υποστηρίξεων, ανάλογα με το σχέδιο/μοντέλο βέβαια, ενώ για να γίνει ακόμη πιο συμπαγής η ρητίνη χρειάζεται και περαιτέρω επεξεργασία, ακόμη και πέρασμα από φούρνο.

2.5 ΑΝΑΛΥΣΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Η 3D εκτύπωση γίνεται μέσω εναπόθεσης αλληπάλληλων στρώσεων υλικού. Το πάχος ή αλλιώς ύψος των στρώσεων αυτών προσδιορίζουν την ανάλυση της εκτύπωσης. Σε μεγαλύτερες αναλύσεις οι στρώσεις είναι δύσκολα διακριτές οπότε και το οπτικό αποτέλεσμα είναι ποιοτικότερο σε σχέση με τις αντίστοιχες χαμηλότερης ανάλυσης. Οι διαθέσιμες επιλογές που εμφανίζει η εφαρμογή εξαρτώνται από το υλικό που έχετε επιλέξει για την εκτύπωσή σας.

2.5.1 Fused Deposition Modeling

Κανονική - 0.3mm

Το πάχος κάθε στρώσης ρυθμίζεται στα 0.3 χιλιοστά. Το αποτέλεσμα είναι ένα ανθεκτικό και στιβαρό αντικείμενο που όμως έχει διακριτά επίπεδα τόσο οπτικά όσο και στην αφή. Είναι η πιο γρήγορη και οικονομική επιλογή και συνιστάται για εκτυπώσεις που σας ενδιαφέρει περισσότερο η λειτουργικότητα παρά η εμφάνιση του αντικειμένου.

Μεσαία - 0.2mm

Το πάχος των στρώσεων είναι αρκετά λεπτό ώστε να μη διακρίνονται εύκολα, μπορούμε όμως να τις νιώσουμε στην αφή. Αποτελεί μια μέση λύση για να δημιουργήσουμε ένα ποιοτικά εκτυπωμένο και όμορφο αντικείμενο σε καλή τιμή, χωρίς μεγάλη αναμονή.

Μέγιστη - 0.1mm

Σε κάθε χιλιοστό ύψους του αντικειμένου αντιστοιχούν 10 στρώσεις υλικού! Οι στρώσεις αυτές είναι τόσο λεπτές που δεν μπορούμε να τις αντιληφθούμε ούτε οπτικά ούτε και στην αφή. Η επιλογή αυτή δίνει σαφώς το καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα. Η 3D εκτύπωση στα 0.1 χιλιοστά απαιτεί σημαντικά περισσότερο χρόνο για να

ολοκληρωθεί σε σχέση με τις χαμηλότερες αναλύσεις με αποτέλεσμα να είναι και η πιο ακριβή.

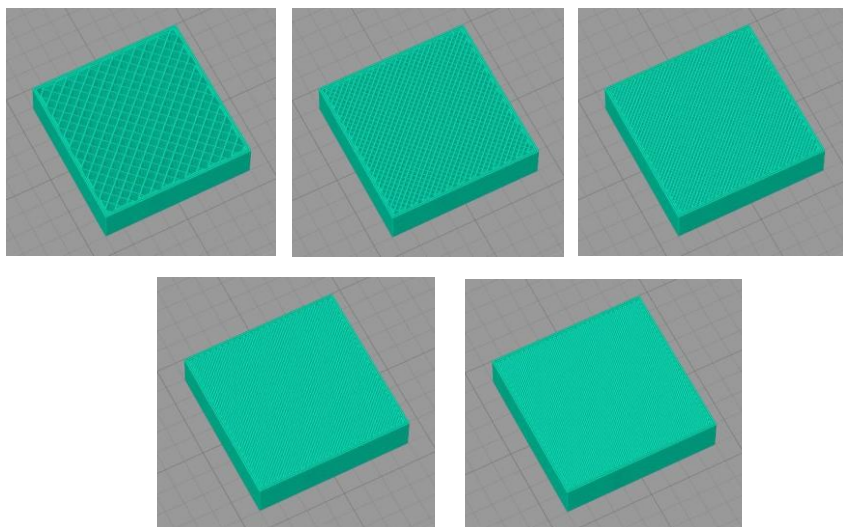
2.5.2 Stereolithography

Υψηλή - 0.05mm Το πάχος κάθε στρώσης ρυθμίζεται στα 0.05 χιλιοστά.

Μέγιστη - 0.025mm Το πάχος κάθε στρώσης ρυθμίζεται στα 0.025 χιλιοστά.

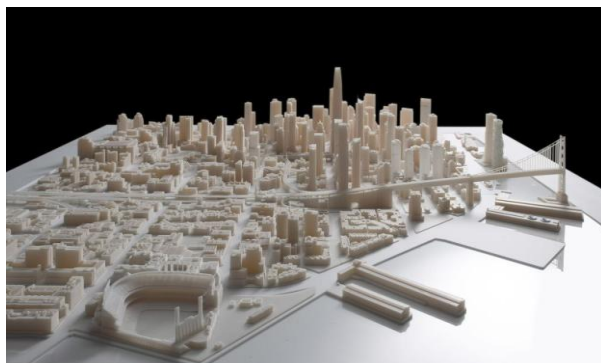
2.6 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Η πυκνότητα % αναφέρεται στο κατά ποσο γεμάτες η άδειες θα είναι σε υλικό οι κλειστές δομές του αντικειμένου προς εκτύπωση. Η πυκνότητα, η αλλιώς ποσοστό πλήρωσης, εκφράζεται σαν ποσοστό επί της εκατό. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό, τόσο περισσότερο υλικό θα χρησιμοποιηθεί, όπου το 100% μας δίνει ένα πλήρως συμπαγές αντικείμενο. Η στιβαρότητα και το τελικό βάρος του 3D εκτυπωμένου αντικειμένου εξαρτώνται άμεσα από τη ρύθμιση αυτή. Είναι καλό στα αντικείμενα που είναι λειτουργικά, οπότε και υφίστανται μηχανική καταπόνηση, να επιλέγουμε κάποιο από τα υψηλότερα ποσοστά. Διαφορετικά αν το μοντέλο προορίζεται να είναι αντικείμενο παρουσίασης είναι ασφαλές να επιλέξουμε μια χαμηλότερη τιμή.



Εικόνα 19. Διαφορετικά ποσοστά γεμίσματος στη τρισδιάστατη εκτύπωση ενός προϊόντος
Πηγή: www.google.gr

2.7 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ



Εικόνα 20. Τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο
Πηγή: <http://blog.kotsovolos.gr/3d-printing-epifkolia-eos-epanastasi/>

Για να πραγματοποιηθεί η τρισδιάστατη εκτύπωση ενός σπιτιού θα πρέπει πρώτα να υπάρχει το ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο να αναπαριστά με ακρίβεια το σπίτι αυτό.

Εξ ορισμού, δεν μπορούν να εκτυπωθούν τρισδιάστατα φωτογραφίες, εικόνες, vector graphics, αρχεία από Photoshop και Coreldraw, τα οποία αποτελούν ψηφιακές απεικονίσεις και όχι ψηφιακά μοντέλα οπότε και εκτείνονται σε 2 μόνο διαστάσεις.

Αντιθέτως, μπορούν να εκτυπωθούν τρισδιάστατες μορφές σχεδιασμένες σε προγράμματα τύπου CAD (αρχιτεκτονικά, μηχανολογικά κ.ο.κ.) αλλά και σε λογισμικά πακέτα ψηφιακής γλυπτικής και γενικότερα τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Τα προγράμματα αυτά στην πλειονότητα τους μπορούν και παράγουν αρχεία τύπου .stl και .wrl τα οποία είναι και τα πλέον κοινά στο χώρο της 3D εκτύπωσης. Το ψηφιακό μοντέλο μπορεί να βρεθεί δωρεάν ή να το αγοράσει ο χρήστης μέσω του διαδικτύου. Ενδεικτικά αναφέρουμε παρακάτω κάποιες ιστοσελίδες και κοινότητες όπου οι δημιουργοί παρέχουν δωρεάν τα τρισδιάστατα σχέδιά τους.



*Εικόνα 21. Ιστοσελίδες με τρισδιάστατα σχέδια
Πηγή: [www. Google.gr](http://www.Google.gr)*

Μια άλλη εναλλακτική είναι να δημιουργηθεί από τον ίδιο τον καταναλωτή με κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα.

2.8 ΕΙΔΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές διαιρούνται συνήθως σε 2 κατηγορίες: τους οικιακούς τρισδιάστατους εκτυπωτές και τους επαγγελματικούς. Αυτή η διάκριση βέβαια δεν είναι πάντα αληθινή: μερικές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν οικιακούς εκτυπωτές για τα πρώτα στάδια ενός πρωτοτύπου αλλά ακόμα και το ευρύ κοινό μπορεί να έχει πρόσβαση σε επαγγελματικούς τρισδιάστατους εκτυπωτές μέσω των FabLabs ή σε απευθείας σύνδεση με εταιρείες που προσφέρουν τρισδιάστατες υπηρεσίες εκτύπωσης όπως πχ. η Sculpteo.

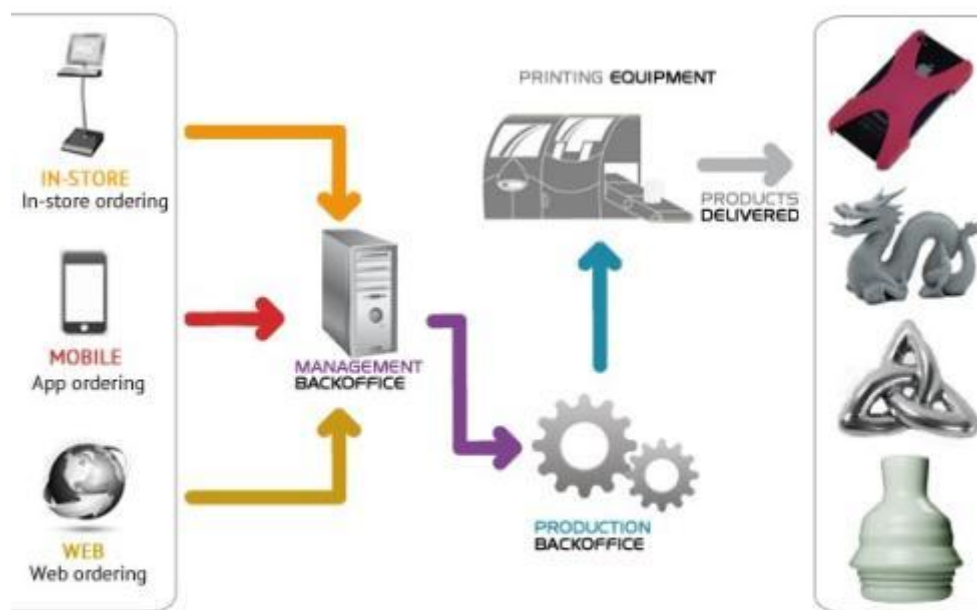
Εντούτοις, πρέπει να αναφέρουμε ότι η τρισδιάστατη τεχνολογία εκτύπωσης είναι σημαντικά διαφορετική μεταξύ του επαγγελματικού εκτυπωτή και του τρισδιάστατου εκτυπωτή διαθέσιμου για το ευρύ κοινό (οικιακός). Οι περισσότεροι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούν τη μέθοδο απόθεσης ινών ευρείας χρήσης (FDM) και τα προϊόντα αντιτίθενται στο υλικό ABS ενώ οι πλαστικοί, επαγγελματικοί

τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούν συνήθως υλικό PLA και μπορούν να τυπώσουν πολλά υλικά με πολύ υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας.

Υπάρχουν πολλά είδη εκτυπωτών είτε για επαγγελματική χρήση είτε για προσωπική που ξεκινούν από το ποσό των 1000 ευρώ (απλός εκτυπωτής οικιακής χρήσης) και φτάνουν σε ποσά πολύ μεγαλύτερα που αφορούν κυρίως επαγγελματική χρήση. Σκοπός της παρούσας εργασίας δεν είναι να εστιάσει σε τέτοιου είδους εκτυπωτές. Υπάρχουν πολλές εταιρίες που κάνουν χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης κατά παραγγελία και παρέχουν υπηρεσίες στους καταναλωτές με το αντίστοιχο οικονομικό αντίτιμο ή χωρίς. Ενδεικτικά βάλουμε την εικόνα 22 με αυτές τις εταιρείες ανα τον κόσμο που δείχνει ενδεικτικά τις υπηρεσίες που προσφέρονται.

Εμείς θα ασχοληθούμε με ένα είδος εκτυπωτή που ονομάζεται RepRap ο οποίος είναι ικανός να αναπαράγει δικά του κομμάτια μόνος του, πράγμα που τον κάνει πολύ οικονομικότερο από οποιονδήποτε άλλον εκτυπωτή κυκλοφορεί αυτή την στιγμή στο εμπόριο. Ενδεικτικά η τιμή του μπορεί να ξεκινάει και κάτω από το φράγμα των 500 ευρώ και όσο αναπτύσσεται η τεχνολογία η τιμή κτήσης τέτοιου είδους εκτυπωτών σίγουρα θα πέσει σημαντικά.

Ο RepRap είναι ένας open source 3D εκτυπωτής (ανοιχτής παραγωγής), ικανός να αποτυπώνει πλαστικά κομμάτια. Εφόσον πολλά από τα κομμάτια του RepRap είναι φτιαγμένα από πλαστικό, ο RepRap μπορεί να τα αναπαράξει και συνεπώς ο RepRap μπορεί να θεωρηθεί μια αυτοαναπαραγόμενη μηχανή, την οποία ο καθένας μπορεί να συναρμολογήσει επενδύοντας σε χρόνο και υλικά.



Εικόνα 22. Εταιρείες ανά τον κόσμο 3d τύπωσης
Πηγή: www.google.gr

Μπορεί να έχουμε δρόμο μπροστά μας ακόμη, αλλά οι πιθανές επιπτώσεις της τρισδιάστατης εκτύπωσης δεν χρειάζονται ιδιαίτερη φαντασία. Ένας από τους δρόμους που ανοίγει η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι εκείνος της μαζικής τροποποίησης προϊόντων ανάλογα με ειδικές ανάγκες και απαιτήσεις, χωρίς αυτές οι τροποποιήσεις να επηρεάζουν το κόστος λειτουργίας και παραγωγής. Επιπλέον, είναι πια εφικτά σχέδια που προηγουμένως, λόγω κατασκευαστικών απαιτήσεων και πολυπλοκότητας, έμεναν μόνο στη σφαίρα της φαντασίας. Σε βιομηχανικό επίπεδο μειώνει ένα από τα πιο χρονοβόρα και ακριβά στάδια της παραγωγής, εκείνο της παρασκευής των απαιτούμενων εξειδικευμένων εργαλείων. Μέσα σε όλα οδηγεί σε σημαντική οικονομία στις πρώτες ύλες και περικόπτει φυσικά τη σπατάλη, προστατεύοντας ταυτόχρονα το περιβάλλον. Πάνω από όλα βέβαια η μελλοντική δυνατότητα για κατά παραγγελία και προδιαγραφή τοπική παραγωγή μπορεί να διευκολύνει πάρα πολύ μεγάλους και μικρούς παραγωγούς σε πρακτικό και λογιστικό επίπεδο.

2.9 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

Στην περίπτωση που η παραγωγή μέσω κατανεμημένων συστημάτων συνδυάζεται με φωτοβολταικά συστήματα τότε η απαιτούμενη ενέργεια μειώνεται ακόμα πιο πολύ. Η χρήση φωτοβολταικών είναι πιο πρακτική στα κατανεμημένα συστήματα παραγωγής παρόλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στη κεντρική παραγωγή αλλά σε πολύ μεγαλύτερες κλίμακες κάτι που το κάνει μη πρακτικό και συμφέρον.

Τέλος όπως είναι λογικό η παραγωγή με κατανεμημένα συστήματα θα πρέπει να γίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου και η ηλιακή ενέργεια γίνεται να μετατρέπεται σε ηλεκτρική , ενώ η συγκεντρωμένη παραγωγή μπορεί να λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο με σκοπό να επιταχύνει την απόσβεση του πάγιου εξοπλισμού.

2.10 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν πως ενώ οι ανοιχτού λογισμικού τρισδιάστατοι εκτυπωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατανεμημένη παραγωγή για να μειώσουν την περιβαλλοντική επιβάρυνση είναι ακόμα αναγκαίο να μειωθεί η ενέργεια που απαιτείται για την πλακέτα χτισίματος, έτσι ώστε να κάνουμε τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της παραγωγής των πλαστικών προϊόντων, καθαρά σε όλες τις περιπτώσεις.

Υπάρχουν ήδη κάποιες πειραματικές μελέτες που γίνονται στην κοινότητα των χρηστών εκτυπωτών ανοιχτού λογισμικού που δείχνουν κάποιες σημαντικές βελτιώσεις ή μερικές λύσεις συμπεριλαμβανομένων των:

(i) Ενσωμάτωση δυναμικού ελέγχου θερμοκρασίας της πλακέτας χτισίματος κατά τη διάρκεια της κατασκευής έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η μείωση της θερμοκρασίας μετά την εναπόστρωση των πρώτων στρωμάτων υλικού και την καλή πρόσφυση της πρώτης σ αυτήν,

(ii) Καλύτερη μόνωση κάτω από την θερμενόμενη πλακέτα χτισίματος (iii) Χρησιμοποίηση ζωνών θερμοκρασίας έτσι ώστε να θερμένονται μόνο τα μέρη της πλακέτας που βρίσκονται κάτω από τα μέρη του προϊόντος, (

iv) Χρησιμοποίηση θαλάμου θερμοκρασίας έτσι ώστε ολόκληρη η κατασκευή να είναι μονωμένη έναντι χαμηλών θερμοκρασιών ή αλλαγών.

Επιπλέον έχουν αρχίσει να εξερευνούνται εναλλακτικές της θέρμανσης όπως χημική σκλήρυνση του υλικού χωρίς να απαιτείται καθόλου θέρμανση. Αυτή η τεχνική έχει το πλεονέκτημα να εξαλείψει τελείως την ανάγκη για θερμενόμενη πλακέτα χτισίματος κάτι που θα ρίξει την απαιτούμενη ενέργεια κατά πολύ και θα μειώσει σημαντικά τους ρίπους CO₂ που σχετίζονται με την παραγωγή μέσω καταναμημένων συστημάτων τρισδιάστατων εκτυπωτών αλλά και το πάγιο κόστος των εκτυπωτών RepRap.

Τέλος είναι σημαντικό να ειπωθεί πώς αν τυπώνουμε πολλά προϊόντα μαζί στην ίδια πλακέτα χτισίματος είναι δυνατόν να μειώσουμε την απαιτούμενη ενέργεια καθώς εκείνη μοιράζεται σε κάθε ένα από αυτά.

2.11 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

Η ανακύκλωση υλικών είναι ένας άλλος τομέας που επίσης αναπτύσσεται με σκοπό την τροφοδοσία ενός εκτυπωτή με ανακυκλώμενα υλικά χρησιμοποιώντας RecycleBots κάτι το οποίο μπορεί να ρίξει ακόμα πιο πολύ το κόστος αλλά την περιβαλλοντική επίπτωση και τους απαιτούμενους πόρους που χρειάζονται για την παραγωγή. Προηγούμενη έρευνα έδειξε ότι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές που χρησιμοποιούν ανοικτό λογισμικό μπορούν να δώσουν ακόμα περισσότερη μείωση κόστους για ειδικά προϊόντα κατά παραγγελία, όπως πχ. επιστημονικά προϊόντα. Στην πραγματικότητα το πάγιο κόστος αυτών μπορεί εύκολα να ανακτηθεί με την παραγωγή ενός και μόνο επιστημονικού εργαλείου υψηλής αξίας.

2.12 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις περιπτώσεις της καταναμημένης παραγωγής ελαχιστοποιούνται χρησιμοποιώντας μια συστοιχία συλλέκτων ηλιακής ενέργειας για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μετά από συστάσεις που έγιναν από τον Pearce. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται η κατασκευή σε περισσότερες τοποθεσίες στον κόσμο κάνοντας χρήση 3D εκτυπωτών. Έχει διαπιστωθεί ότι η τεχνολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι μια βιώσιμη πηγή ενέργειας που μειώνει σημαντικά τις επιπτώσεις της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας στο περιβάλλον και καθώς νέες τεχνολογίες

αναπτύσσονται , η ενέργεια που χάνεται κατά την μετατροπή της ηλιακής σε ηλεκτρική, μειώνεται.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει τη δυνατότητα να αποτρέψει σημαντικό ποσοστό των εκπομπών του αερίου του διοξειδίου του άνθρακα, δεδομένου ότι παράγει λιγότερο από το 89% των αέριων εκπομπών που παράγουν οι πηγές τη Παρόλο που δεν υπάρχουν στο εμπόριο εκτυπωτές 3 διαστάσεων τύπου RepRap που να λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια, οι έρευνες δείχνουν ότι είναι εφικτό και κάποια κόνσεπτ είναι ήδη ενεργά χρησιμοποιώντας την ανάπτυξη των ανοιχτών λογισμικών που υποστηρίζουν οι εκτυπωτές RepRap με τα οποία η κοινότητα των καταναλωτών πειραματίζεται βάζοντας κάποιες μεταβλητές. Οι μεταβλητές αυτές θα είναι εκείνες που θα επιτρέψουν την κατανεμημένη παραγωγή ακόμα και στα πιο δυσπρόσιτα μέρη χωρίς να χρειάζεται πρόσβαση στο δίκτυο ηλεκτροδότησης συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι τώρα πιο προσβάσιμη στους αρχιτέκτονες, δίνοντάς τους την ευκαιρία να τυπώσουν σε λευκά και χρωματιστά μοντέλα, μικρές ή μεγάλες μακέτες. Η αρχιτεκτονική απεικόνιση και ο σχηματικός συνδυασμός γίνονται τώρα πιο εύκολα και με πιο χαμηλό κόστος.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση μειώνει το χρόνο εργασίας και κατασκευής, αυξάνει την καινοτομία, περιορίζοντας το κόστος και τελικά κερδίζει στον ανταγωνισμό.

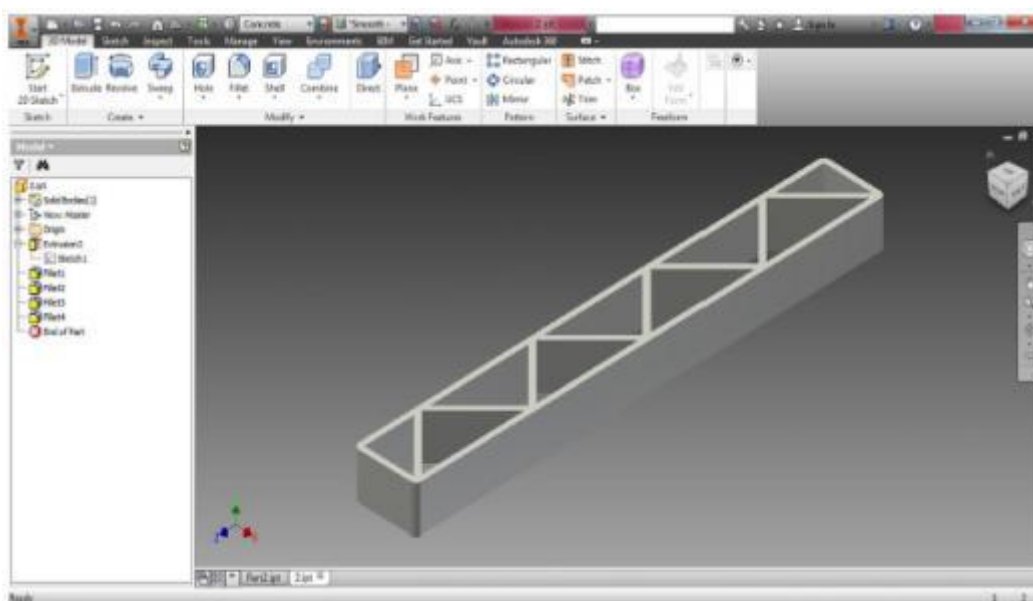
Η χρήση αυτής της μεθόδου απαιτεί ειδικούς εκτυπωτές αλλά και ειδικά υλικά. Ενώ δεν υπάρχουν ειδικά προβλήματα στην παραγωγή 3d εκτυπωτών, η ανάπτυξη κατάλληλων υλικών για τη χρήση τους στην τεχνολογία αυτή χρήζει περαιτέρω έρευνας. Προβλέπεται ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία θα συμπληρώσει τις ήδη υπάρχουσες κατασκευαστικές μεθόδους. Φαίνεται ακόμα ότι θα αλλάξει τον τρόπο χρήσης πόρων, όπως η εργασία, τμήμα της οποίας μπορεί να αντικατασταθεί από μηχανές. Η συγκεκριμένη τεχνολογία, η οποία συνεχώς εξελίσσεται, τοποθετείται μεταξύ της αυτοματοποίησης και της ρομποτικής. Δίνει τη δυνατότητα αλλαγής της οργάνωσης και της διαχείρισης σε κατασκευαστικά έργα..

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Η τεχνολογία της 3d εκτύπωσης δημιουργεί ένα χωρικό φυσικό αντικείμενο με τη χρήση αριθμητικών μοντέλων στον υπολογιστή. Υπάρχουν πολλά μοντέλα και τεχνολογίες 3d εκτύπωσης. Η πρώτη τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι αυτή της στερεολιθογραφίας (SLA) η οποία αναπτύχθηκε το 1986. Αργότερα, το 1992 αναπτύχθηκε η τεχνολογία FDM (Fused Deposition Modelling). Οι βασικές αρχές της τεχνολογίας FDM είναι οι περισσότερο κατάλληλες για χρήση στην κατασκευή. Στη μέθοδο FDM η κεφαλή θα πρέπει να μπορεί να κινείται στους τρεις άξονες (X,Y,Z) σε σύγκριση με τους κοινούς εκτυπωτές που η κίνηση γίνεται σε έναν άξονα.

Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας και την παραγωγή του τελικού προϊόντος απαιτούνται 7 βήματα. Η διαδικασία της κατασκευής ξεκινάει με το σχεδιασμό ενός

τριδιάστατου μοντέλου σε κατάλληλο λογισμικό – τύπου CAD. Τα περισσότερα αρχεία 3d αποθηκεύονται ως αρχεία τύπου STL.



Εικόνα 23. 3D Μοντέλο τοίχου στο πρόγραμμα Autodesk Inventor
πηγή: 3D printing of buildings and buildings components as the future of sustainable construction, Izabela Hager, Anna Golonka, Roman Putanowicz, ScieceDirect)

Το μοντέλο στη συνέχεια μετατρέπεται σε τύπο αρχείου κατάλληλο για το λογισμικό που χρησιμοποιείται για να προετοιμάσει τις εντολές για τον εκτυπωτή. Ο εκτυπωτής προετοιμάζεται και ξεκινάει η διαδικασία της εκτύπωσης. Το τρισδιάστατο αντικείμενο εκτυπώνεται εφαρμόζοντας σε στρώσεις συγκεκριμένου πάχους το υλικό. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας ο εκτυπωτής θα πρέπει να καθαριστεί. Το τελικό στάδιο της κατασκευής είναι η ολοκλήρωση του προϊόντος εκτύπωσης.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ CONTOUR CRAFTING

Σήμερα, η περισσότερο ελπιδοφόρα τεχνολογία 3D εκτύπωσης η οποία χρησιμοποιείται στην κατασκευή κτιρίων είναι γνωστή ως Contour Crafting (CC). Στην τεχνολογία αυτή το υλικό χύνεται σταδιακά σε στρώσεις και ολόκληρη η διαδικασία πραγματοποιείται στο πεδίο (in-situ). Η τεχνολογία αυτή έχει το πλεονέκτημα της αυτοματοποίησης της διαδικασίας της κατασκευής μέσω της χρήσης 3d εκτυπωτή επί τόπου στο έργο. Τα βασικά πλεονεκτήματα είναι ότι η

διαδικασία η οποία γίνεται κυρίως από μηχάνημα είναι ασφαλέστερη και αυτό σε συνδυασμό με χρήση κατάλληλων υλικών πρόκειται να μειώσει το κόστος και το χρόνο. Η 3D εκτύπωση θα επιτρέψει τη δημιουργία με υψηλή ακρίβεια μεγάλων στοιχείων με ιδιαίτερες αρχιτεκτονικές απαιτήσεις. Η ιδέα του σχεδιαστή βασίζεται στη δημιουργία ενός εκτυπωτή ο οποίος θα έχει ένα ή μερικά ακροφύσια στην άκρη του τα οποία θα κινούνται σε δύο παράλληλους άξονες σε μήκος λίγο μεγαλύτερο από αυτό του κτιρίου. Στο επόμενο βήμα της διαδικασίας το υλικό διαχέεται έτσι ώστε να παραχθεί ένα στοιχείο με κενό στο ενδιάμεσο αλλά με εγκάρσιους συνδέσμους που θα του διασφαλίζουν την επιθυμητή αντοχή και ακαμψία.



Εικόνα 24. Μέθοδος Contour Crafting για κατασκευή κτιρίων
πηγή: <http://contourcrafting.com/building-construction/>

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τεχνολογίας αυτής (Contour Crafting) είναι η κατασκευή κάστρου από τον Andy Rudenko και την ομάδα του (Αύγουστος 2014) . Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν μίξη τσιμέντου και άμμου. Ολόκληρη η κατασκευή εκτυπώθηκε επί τόπου εκτός από τους πύργους που εκτυπώθηκαν ξεχωριστά και προσαρμόστηκαν στο κτίριο.



*Εικόνα 25. Κατασκευή - εκτύπωση κάστρου από σκυρόδεμα (Andrey Rudenko)
πηγή: <http://www.totalkustom.com/>*

Το Δεκέμβριο του 2015 ολοκληρώθηκε η κατασκευή ξενοδοχείου στις Φιλιππίνες (Lewis Grand Hotel) που αποτελεί την πρώτη εφαρμογή τρισδιάστατης εκτύπωσης σε τουριστικό κτίριο από τον Andrey Rudenko και την ομάδα του. Το ξενοδοχείο διαστάσεων 10.50μ επί 12.50 μ έχει ύψος 4μ και αποτελείται από δύο κρεβατοκάμαρες, σαλόνι, και Jacuzzi που έχει κατασκευαστεί με τη μέθοδο της 3d εκτύπωσης.



*Εικόνα 26-29. Lewis Grand Hotel κατά τη διάρκεια κατασκευής από τον
Andrey Rudenko
πηγή: <http://www.totalkustom.com/>*

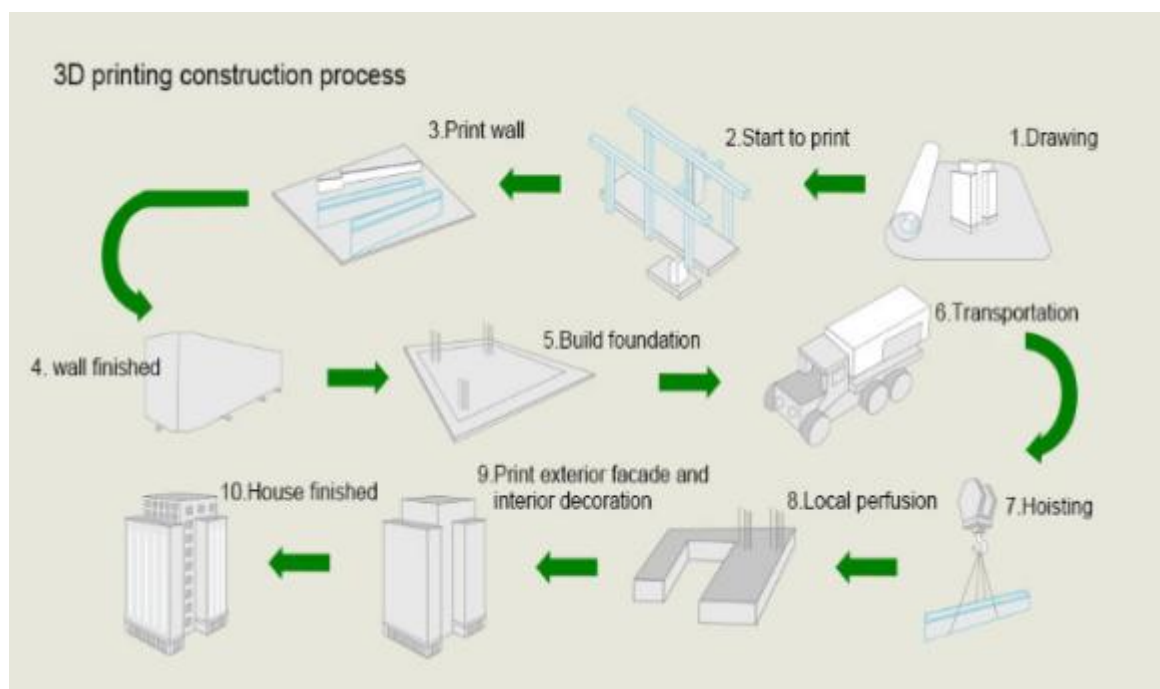


*Εικόνα 30. Lewis Grand Hotel μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής
πηγή: <http://www.totalkustom.com/>*

3.4 WINSUN – ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η WinSun Decoration Design Engineering είναι μία κινέζικη εταιρεία η οποία έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στην προσπάθειά της να εκτυπώσει 3d κατοικίες και άλλες κατασκευές με υλικά παρόμοια με το σκυρόδεμα τα οποία είναι κατάλληλα για χρήση στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί η εταιρεία βασίζεται στην κατασκευή προκατασκευασμένων στοιχείων - τμημάτων κτιρίου τα οποία τοποθετούνται στην επιθυμητή θέση.

Η οικιστική λύση της WinSun είναι ιδανική για φτηνές κατοικίες στα χαμηλότερα στρώματα του κινεζικού πληθυσμού, αν και οι ανάγκες για οικονομικά σπίτια είναι παγκόσμια. Την ώρα λοιπόν του η τρισδιάστατη τεχνολογία εκτύπωσης είναι το απόλυτο μέλλον, η κινεζική φίρμα το αποδεικνύει αυτό πέραν αμφιβολίας. Και κάποια στιγμή έτσι θα φτιάχνονται και οι ουρανοξύστες.



Εικόνα 31. Περιγραφή διαδικασίας
Πηγή: http://www.winsun3d.com/En/Product/pro_inner_2

Η διαδικασία ξεκινάει με το σχεδιασμό του τρισδιάστατου μοντέλου σε κατάλληλο πρόγραμμα τύπου CAD (εικόνα 31). Η μέθοδος εκτύπωσης είναι παρόμοια με τη

μέθοδο Contour Crafting. Η μηχανή εκτύπωσης αποθέτει το υλικό σε στρώσεις, όπως στις παραδοσιακές μεθόδους 3d εκτύπωσης που βασίζονται στη τεχνολογία FDM. Το πάχος της κάθε στρώσης κυμαίνεται από 0.6 έως 3 εκ. Η εκτύπωση ξεκινάει από το περίγραμμα, και για να ενισχυθεί το στοιχείο ο κενός χώρος συμπληρώνεται με κατάλληλο πλέγμα. Οι τοίχοι έχουν διαγώνια ενίσχυση ενώ στο εσωτερικό αφήνεται κενό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μόνωση της κατασκευής ή για τη διέλευση ηλεκτρολογικών και λοιπών εγκαταστάσεων (εικόνα 31,32). Τα επιμέρους τμήματα εκτυπώνονται σε εργοστάσιο και μετά την εκτύπωση μεταφέρονται στα εργοτάξια όπου ενώνονται μεταξύ τους, με κατάλληλο σπλισμό, για την κατασκευή του κτιρίου (εικόνα 32). Η θεμελίωση των κτιρίων είναι ίδια με αυτή των κτιρίων που κατασκευάζονται με συμβατικές μεθόδους. Παράθυρα και πόρτες τοποθετούνται στους τοίχους του κτιρίου. Με την ολοκλήρωση της στέγης γίνονται οι τελικές εργασίες και τα κτίρια παραδίδονται.



Εικόνα 32. Εκτύπωση τοίχων στο εργοστάσιο
Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=SObzNdyRTBs> , 3D printers print ten houses in 24 hours



Εικόνα 33. Λεπτομέρεια όπλισης –σύνδεσης επί μέρους στοιχείων και στρώσεις εκτύπωσης πηγή: <https://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/>



Εικόνα 34. Τοίχοι που κατασκευάζονται - εκτυπώνονται από την WinSun πηγή: <https://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/>



Εικόνα 35. Συναρμολόγηση επί μέρους τμημάτων
Πηγή:<http://www.diaforetiko.gr/eteria-tiponi-10-trisdiastata-spitia-se-ligotero-apomia-mera-ke-me-kostos-psichoula/>

Η εταιρεία πλέον διαθέτει έναν τεράστιο 3D εκτυπωτή διαστάσεων 10 μέτρα πλάτος, 6.6 μέτρα ύψος και 150 μέτρα μήκος. Το υλικό εκτύπωσης είναι ένα μίγμα από ίνες γυαλιού, χάλυβα, τσιμέντο, ανακυκλώσιμα υλικά και υλικά σκλήρυνσης. Τα ανακυκλώσιμα υλικά προέρχονται από μάζα, βιομηχανικά απόβλητα και υλικά εξόρυξης. Όσον αφορά στη σύνθεση του μίγματος δεν υπάρχει συγκεκριμένη έρευνα ή δεδομένα.

Η εταιρεία έχτισε 10 σπίτια το 2014, ένα 5-όροφο κτίριο, μία βίλλα 1100 τμ (με κόστος κατασκευής μικρότερο από 160.000 δολάρια) και αρκετές άλλες κατασκευές



***Εικόνα 36-37. Συναρμολόγηση τμημάτων κτιρίων
Πηγή:<http://www.diaforetiko.gr/eteria-tiponi-10-trisdiastata-spitia-se-ligotero-apo-mia-mera-ke-me-kostos-psichoula/>***



Εικόνα 38. Το πρώτο κτίριο από την εταιρεία Winsun το 2014
πηγή:<https://www.treehugger.com/modular-design/more-detail-those-chinese-3d-printed-houses.html>

Η εταιρεία WinSun έχει επίσης ολοκληρώσει την κατασκευή ενός πενταώροφου κτιρίου. Το κτίριο, που βρίσκεται στα περίχωρα της πόλης Σουτσού, στην Ανατολική Κίνα, μοιάζει στις φωτογραφίες τόσο συνηθισμένο, που δύσκολα μπορεί κανείς να υποψιαστεί ότι έγινε είδηση στα μεγαλύτερα μέσα ενημέρωσης του κόσμου. Ωστόσο, ο λόγος που έκλεψε τα φώτα της δημοσιότητας είναι πως πρόκειται για το ψηλότερο «εκτυπωμένο» κτίριο, αφού χτίστηκε από έναν θεόρατο τρισδιάστατο εκτυπωτή. Σύμφωνα με την εταιρεία, το κτίριο ολοκληρώθηκε σε μόλις 30 ημέρες και με αρκετά μικρότερο κόστος απ' ό,τι αν είχε κατασκευασθεί με τον παραδοσιακό τρόπο. Όπως και οι 3D εκτυπωτές του εμπορίου οι οποίοι «τυπώνουν» από παιχνίδια μέχρι κοσμήματα, το μηχάνημα της Winsun δημιούργησε κάθε όροφο τοποθετώντας διαδοχικές στρώσεις από ένα ρευστό υλικό. Όταν το υλικό «στέγνωσε», τα πέντε πατώματα ήταν έτοιμα να συναρμολογηθούν μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε όροφος κατασκευάστηκε μέσα σε πέντε ημέρες, ενώ στη συνέχεια τα συνεργεία χρειάστηκαν άλλες πέντε ημέρες για να συναρμολογήσουν το κτίριο.



Εικόνα 39-41. Πεντάώροφο κτίριο από την εταιρεία Winsun
Πηγή: <https://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/>,
<http://www.winsun3d.com>

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία εκτύπωσης 3D, η Winsun κατάφερε να αυξήσει την παραγωγικότητα και να μειώσει τις δαπάνες. Ένα τυποποιημένο σπίτι μπορεί να κατασκευαστεί με περίπου 30.000 δολάρια. Συγκεκριμένα, εκτυπώνοντας τους τοίχους στο εργοστάσιο από πριν και συναρμολογώντας το κτίριο επί τόπου, η εταιρεία μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα κατασκευής. Έτσι σε ένα νέο κτίριο, ένας όροφος μπορεί να ολοκληρωθεί σε μόλις μία ημέρα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για την κατασκευή βίλας 1100 τμ (εικόνα 42) απαιτήθηκαν μόλις μία ημέρα για την εκτύπωση, δύο μέρες για τη συναρμολόγηση με κατάλληλο οπλισμό και τρεις εργάτες.



Εικόνα 12. Βίλλα 1100 τμ από την εταιρεία Winsun
Πηγή: <http://www.winsun3d.com>

Ένα από τα πιο σημαντικά έργα της εταιρείας είναι η κατασκευή γραφείων στο Dubai. Το κτίριο εκτυπώθηκε στο Suzhou (Κίνα), κόπηκε σε κομμάτια και μεταφέρθηκε στο Dubai όπου και συναρμολογήθηκε. Η κατασκευή ολοκληρώθηκε σε μερικές εβδομάδες. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους, η εταιρεία με τη μέθοδο αυτή μείωσε κατά περίπου 80% το κόστος κατασκευής, κατά 60% το κόστος εργασίας και κατά 60% τα απόβλητα.



Εικόνα 43. Κατασκευή γραφείων στο Dubai από την εταιρεία Winsun

Πηγή: <http://www.winsun3d.com>

3.5 ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ D - SHAPE

Ο Ma Yihe, ιδρυτής της κινεζικής εταιρείας Winsun, δεν είναι ο μόνος που πιστεύει πως η τρισδιάστατη εκτύπωση θα φέρει σύντομα επανάσταση στις κτιριακές κατασκευές. Στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού, ένα ανάλογο μηχάνημα αναπτύσσει ο Behrock Khosnevis, καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Καλιφόρνιας, ο οποίος εκτιμά πως δεν θα χρειαστούν πάνω από 5 χρόνια ώστε η τεχνολογία να διαδοθεί σε όλο τον πλανήτη. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής ένας γερανός κινείται εναποθέτοντας πρόσθετη στρώση οικοδομικού υλικού. Κατά τη διάρκεια της παραγωγής μπορεί να δημιουργηθούν κανάλια ηλεκτρικά, υδραυλικά, εξαερισμού.

Αν και ο Behrock Khosnevis δεν έχει ακόμη κατασκευάσει κάποιο οίκημα με τον 3D εκτυπωτή του, από την άλλη μεριά ο Ιταλός πολιτικός μηχανικός Enrico Dini έχει ήδη δοκιμάσει με επιτυχία τις δυνατότητες του αντίστοιχου μηχανήματος D-Shape που έχει ο ίδιος αναπτύξει. Ο εκτυπωτής είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο και μπορεί να μεταφερθεί από δύο άτομα. Η διαδικασία εκτύπωσης είναι παρόμοια με την 3d εκτύπωση, όπου το στρώμα του εφαρμοζόμενου υλικού σκληρύνεται με κόλλα που εφαρμόζεται στο ακροφύσιο της μηχανής. Το υλικό που εφαρμόζεται αποτελεί συνδετικό μέσο μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στη διαδικασία της εκτύπωσης.



Εικόνα 44. Εκτυπωτής D-Shape
πηγή: <https://d-shape.com/what-is-it/>

Ένα φιλόδοξο σχέδιο στον τομέα της αρχιτεκτονικής είναι η κατασκευή με τον εκτυπωτή D Shape βίλας 220 τετραγωνικών μέτρων στα περίχωρα της Νέας Υόρκης (εικόνα 45). Το φιλόδοξο έργο υλοποιείται από τον αρχιτέκτονα της Νέας Υόρκης Adam Kushner, μαζί με τους συνεργάτες του, συμπεριλαμβανομένου του πρωτοπόρου της 3D εκτύπωσης Enrico Dini και της εταιρείας D-Shape.



Εικόνα 45. Τρισδιάστατη απεικόνιση βίλλας που πρόκειται να κατασκευαστεί με τον εκτυπωτή D Shape στη Νέα Υόρκη
Πηγή: <https://3dprint.com/59753/d-shape-3d-printed-house-ny/>

3.6 APIS COR

Εκτυπωτής ο οποίος εκτυπώνει στο εργοτάξιο παρουσιάστηκε από την ρώσικη εταιρεία Apis cor.

Η καινοτομία των εκτυπωτών αυτών περιγράφεται ακολούθως:

- Λειτουργούν σε πολικές συντεταγμένες σε σύγκριση με τους εκτυπωτές που κυκλοφορούν και λειτουργούν σε καρτεσιανές συντεταγμένες.
- Οι 3D εκτυπωτές του εμπορίου είναι σχεδιασμένοι ώστε να κινούνται κατά μήκος παράλληλων οδηγών - αξόνων και για το λόγο αυτό πρέπει να τοποθετούνται σε επίπεδη επιφάνεια. Ακόμα και μικρές αποκλίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλματα κατά την κατασκευή ή ακόμα και σε πρόβλημα στους εκτυπωτές. Για το λόγο αυτό πολλοί 3D εκτυπωτές εγκαθίστανται και χρησιμοποιούνται μόνο σε εργοστάσια. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η

εκτύπωση μεμονωμένων τμημάτων κτιρίων σε συγκεκριμένες διαστάσεις ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά και η συναρμολόγησή τους στο έργο.

- Από την άλλη η χρήση ενός 3D εκτυπωτή στο έργο συνεπάγεται περιορισμό της επιφάνειας και του ύψους του τυπωμένου αντικειμένου. Προκειμένου να εκτυπωθεί ένα κτίριο με περισσότερους από έναν όροφος είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί ένας μεγαλύτερος εκτυπωτής που μπορεί να αυξήσει κατά πολύ το κόστος.



Εικόνα 46. Εκτυπωτής τρισδιάστατης εκτύπωσης της εταιρείας Apiscor

Πηγή: http://apiscor.com/files/ApisCor_TechnologyDescription_en

Ο εκτυπωτής της εταιρείας ApisCor έχει διαστάσεις 4*1,6*1,5m , βάρος 2 τόνων και μπορεί να μεταφερθεί στο εργοτάξιο με γερανό. Ο εκτυπωτής λειτουργεί σε πολικές συντεταγμένες και μπορεί να εκτυπώσει επιφάνεια έκτασης 132τμ. Εκτυπώνει τοίχο μεγίστου ύψους 3.30μ και μπορεί να εκτυπώσει έως 100 τμ ανά ημέρα. Το μηχάνημα δεν απαιτεί ιδιαίτερη προετοιμασία στο έδαφος, η εγκατάστασή του μπορεί να ολοκληρωθεί σε λιγότερο από μία ώρα ενώ για το χειρισμό του απαιτούνται μόλις δύο άτομα. Δεν απαιτείται επίπεδη επιφάνεια και επιτρέπονται αποκλίσεις έως 10 εκ. Ο εκτυπωτής έχει σχεδιαστεί ώστε η διαδικασία εκτύπωσης να είναι αυτοματοποιημένη και να ελαχιστοποιείται το ανθρώπινο λάθος. Το μηχάνημα

καταναλώνει 8kw ενέργειας και δεν παράγει απόβλητα. Η διαδικασία εκτύπωσης περιγράφεται ακολούθως σε 3 στάδια: Α. Εγκατάσταση εκτυπωτή, Β. Έναρξη κατασκευής – Εκτύπωση θεμελίωσης, Γ. Εκτύπωση τοίχων

Α. Εγκατάσταση εκτυπωτή

1. Το έργο ξεκινάει με τη χάραξη επί του εδάφους της θέσης όπου θα τοποθετηθεί ο εκτυπωτής και των γωνιών του κτιρίου.
2. Με ένα φορτηγό και ένα γερανό μεταφέρονται στο εργοτάξιο ο απαιτούμενος εξοπλισμός που αποτελείται από τον εκτυπωτή (εικόνα 46) τη μονάδα αποθήκευσης και τον αναμικτήρα του υλικού (εικόνα 47).
3. Ο εκτυπωτής, η μονάδα αποθήκευσης και ο αναμικτήρας συνδέονται μεταξύ τους και με την παροχή ρεύματος και νερού.
4. Μετά την ολοκλήρωση της σύνδεσης ενεργοποιείται μέσω του πίνακα ελέγχου ο εκτυπωτής. Στο στάδιο αυτό γίνεται αυτόματα η διαδικασία οριζοντίωσης του εκτυπωτή.
5. Αμέσως μετά εισάγεται το 3D μοντέλο μέσω θύρας USB στον πίνακα ελέγχου. Το κτίριο θα πρέπει να προσανατολιστεί σε σχέση με κάποιο προκαθορισμένο σημείο αναφοράς (κάποια γωνία του κτιρίου που έχει χαραχθεί προηγουμένως στο έδαφος).



Εικόνα 47. Μονάδα αποθήκευσης και αναμικτήρας σκυροδέματος
Πηγή: http://apis-cor.com/files/ApisCor_TechnologyDescription_en

B. Έναρξη κατασκευής - Εκτύπωση θεμελίωσης

1. Ο χειριστής τοποθετεί εξάρτημα με υπερηχητικό αισθητήρα στον εξωθητήρα. Με τον τρόπο αυτό επιτρέπεται στον εκτυπωτή να πραγματοποιήσει ανάλυση της επιφάνειας.
2. Με το χειριστήριο του πίνακα ελέγχου ξεκινά η διαδικασία της σάρωσης επιφάνειας εκτύπωσης. Ο εκτυπωτής μέσω του αισθητήρα που έχει τοποθετηθεί στον εξωθητήρα σκανάρει την επιφάνεια του εδάφους και καταγράφει όλες τις ανωμαλίες επί του εδάφους.
3. Στη συνέχεια πραγματοποιείται εξομάλυνση της επιφάνειας εκτύπωσης. Ο εκτυπωτής γεμίζει τα κενά που υπάρχουν στην επιφάνεια, προετοιμάζοντας έτσι το έδαφος για την εκτύπωση της θεμελίωσης του κτιρίου.

4. Μετά από αυτό ο εκτυπωτής ξεκινάει να εκτυπώνει τον ξυλότυπο (περίγραμμα) της θεμελίωσης.
5. Ο εκτυπωτής ακολουθεί καθορισμένη τροχιά και τοποθετεί το υλικό σε λεπτές στρώσεις. Με την πρόοδο της εκτύπωσης οι χειριστές εισάγουν τους απαιτούμενους οπλισμούς σύμφωνα με το σχέδιο. Αυτόματο σύστημα ενημερώνει το χειριστή για την ανάγκη προσθήκης οπλισμών και δεν συνεχίζει να εκτυπώνει αν δεν γίνει η εγκατάσταση αυτών.
6. Με την ολοκλήρωση του ξυλότυπου και της όπλισης της θεμελίωσης, συμπληρώνεται με σκυρόδεμα το εσωτερικό της θεμελίωσης.
7. Η διαδικασία κατασκευής μπορεί να επαναληφθεί μετά από 12 ώρες. Η θεμελίωση στεγανοποιείται και ο χειριστής εγκαθιστά κατάλληλο εξωθητήρα για την εκτύπωση των τοίχων.



Εικόνα 48. Ξυλότυπος και όπλιση θεμελίωσης
πηγή:
<https://www.youtube.com/watch?v=ViqzfPW6TFo&t=337s>



Εικόνα 49. Λεπτομέρεια όπλισης θεμελίωσης

πηγή:

**[https://www.youtube.com/watch?v=ViqzfPW6Tfo
&t=337s](https://www.youtube.com/watch?v=ViqzfPW6Tfo&t=337s)**

Γ. Εκτύπωση τοίχων

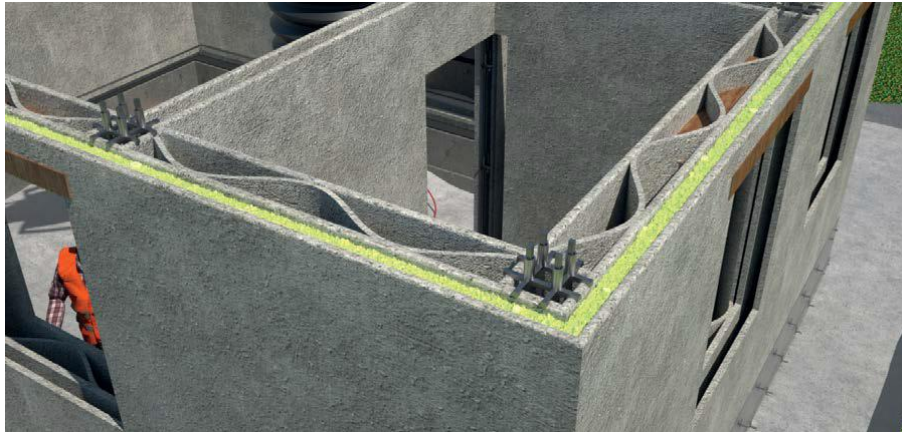
1. Η διαδικασία εκτύπωσης των τοίχων κτιρίου είναι παρόμοια με την εκτύπωση του ξυλότυπου θεμελίωσης, με τη μόνη διαφορά ότι οι τοίχοι συνδέονται μεταξύ τους με διαγώνια στοιχεία. Εάν είναι απαραίτητο παράλληλα με την εκτύπωση τοποθετούνται και ράβδοι οπλισμού και γίνεται συμπλήρωση με σκυρόδεμα. Επιπλέον τοποθετούνται οριζόντιοι οπλισμοί για περαιτέρω σύνδεση με τις κολώνες. Στις διασταυρώσεις των τοίχων μορφώνονται κρυφοϋποστυλώματα με κατάλληλο οπλισμό τα οποία στη συνέχεια πληρώνονται με σκυρόδεμα. Στις όψεις των τοίχων αφήνεται κατάλληλο κενό για την τοποθέτηση θερμομόνωσης.



Εικόνα 50. Λεπτομέρεια εκτύπωσης τοίχων
Πηγή: <http://apis-cor.com/about/mediateka/photo>



Εικόνα 51. Εκτύπωση τοίχων
Πηγή:
<https://www.youtube.com/watch?v=xoCBfkf1u34>



Εικόνα 52. Κατακόρυφος οπλισμός στις διασταυρώσεις και μόνωση στην όψη των τοίχων
Πηγή: http://apis-cor.com/files/ApisCor_TechnologyDescription_en

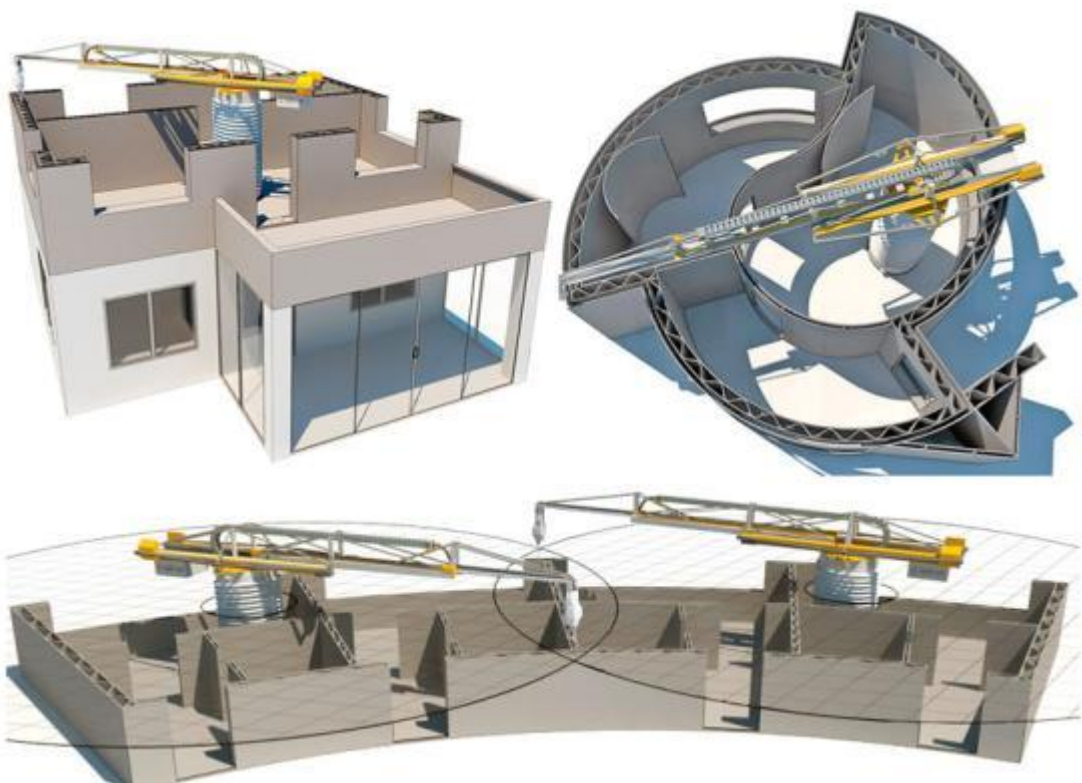
2. Το εσωτερικό προφίλ τοίχων επιλέγεται κατά τη φάση σχεδιασμού του έργου. Περιέχει κανάλια για την τοποθέτηση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και για μονωτικά υλικά.
3. Τα δάπεδα γίνονται από προκατασκευασμένες κοίλες πλάκες από σκυρόδεμα (hollow core concrete slabs) που εφαρμόζονται στους τοίχους της κατασκευής.



Εικόνα 53. Προκατασκευασμένες πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα
Πηγή: http://apis-cor.com/files/ApisCor_TechnologyDescription_en

4. Σε περίπτωση που προβλέπεται επιπλέον όροφος, ακολουθείται η ίδια διαδικασία και στον επόμενο όροφο. Ο εκτυπωτής τοποθετείται στην πλάκα οροφής του υποκείμενου ορόφου η οποία θα πρέπει να αντέχει βάρος 1.2 tn/m².

Σύμφωνα με τα στοιχεία της εταιρείας η κατηγορία αντοχής του εκτυπωμένου σκυροδέματος αντιστοιχεί σε σκυρόδεμα κατηγορίας B20 (που αντιστοιχεί σε σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20).



Εικόνα 54. Εκτύπωση διαφόρων τύπων κτιρίων με τον εκτυπωτή της Apis cor
Πηγή: <http://renoteckexteriors.com/news/3d-printed-housing/>

Σπίτι εξ ολοκλήρου από **3D εκτυπωτή** κατασκευάστηκε σε 24 ώρες στα περίχωρα της Μόσχας. Πρόκειται για την πρώτη πλήρως εκτυπωμένη **κατοικία, εμβαδού 37 τετραγωνικών μέτρων**, δημιούργημα της νεοσύστατης τεχνολογικής εταιρείας Aris Cor. Το σπίτι **κόστισε 10.134 δολάρια** ή 275 δολάρια ανά τετραγωνικό μέτρο.



*Εικόνα 55. Κατοικία στη Μόσχα κατά τη διάρκεια κατασκευής
–τοποθέτηση κουφωμάτων
Πηγή: <http://flud.perm.ru/news/v-jaroslavle-napechatali-zhiloj-dom-na-3d-printere.html>*

Μετά την εκτύπωση, ο εκτυπωτής απομακρύνθηκε από το σπίτι με τη χρήση γερανού. Στη συνέχεια, μια ομάδα εργατών ολοκλήρωσε το σπίτι, προσθέτοντας τη στέγη, τα παράθυρα και ό,τι άλλο χρειαζόταν στο εσωτερικό του. **Το σπίτι δεν έχει να ζηλέψει τίποτε από ένα παραδοσιακό σπίτι**, ενώ η Samsung συνεργάστηκε με την Aris Cor για να παρέχει τον οικιακό εξοπλισμό του σπιτιού σε λευκές συσκευές και ηλεκτρονικά.



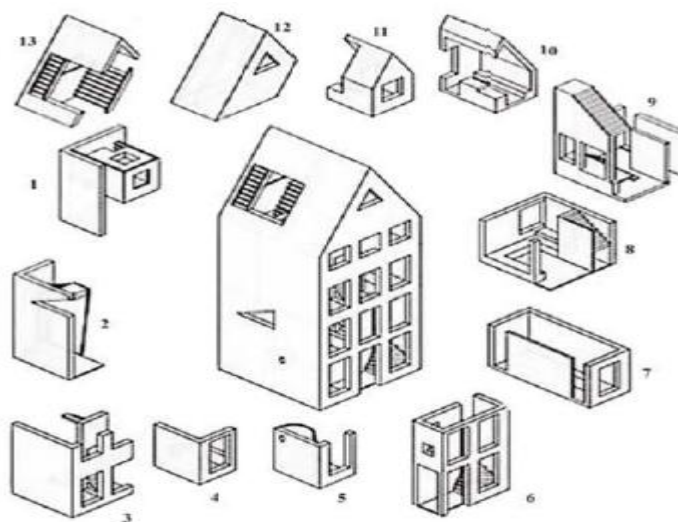
Εικόνα 56. Κατοικία στη Μόσχα μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής
Πηγή: <http://www.ert.gr/eidiseis/epistimi/rosia-3d-ektypotis-echtise-spiti-se-24-ores-video/>

Η Apis Cor έκανε λόγο για μια μέθοδο γρήγορη, φιλική στο περιβάλλον, αποτελεσματική και αξιόπιστη. Όπως είπε, ανάλογα με το αρχιτεκτονικό σχέδιο, ο εκτυπωτής μπορεί να δώσει διάφορα σχήματα στα σπίτια που παράγει

3.7 CANAL HOUSE ΣΤΟ AMSTERDAM

Το 2014 η Ολλανδική εταιρεία “Dus Architects” αποφάσισε να χτίσει ένα κτίριο εκτυπώνοντας τα τμήματά του σε έναν γιγάντιο εκτυπωτή. Στην Ευρώπη, αυτό είναι το πρώτο έργο που έχει σχεδιαστεί ώστε να πραγματοποιηθεί εξ ολοκλήρου με την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το έργο το οποίο καλείται «3D print Canal House» βρίσκεται στο Άμστερνταμ και εκτιμάται ότι για την ολοκλήρωσή του θα απαιτηθούν 3 χρόνια. Οι αρχιτέκτονες του γραφείου θέλουν να αποδείξουν ότι εκτυπώνοντας στοιχεία του κτιρίου απευθείας στο χώρο κατασκευής θα μπορέσουν να εξαλείψουν τα κτιριακά απόβλητα (μπαζα) και να μειώσουν το κόστος μεταφοράς. Η δυνατότητα μεταφοράς του εκτυπωτή σε όλο τον κόσμο θα εξαλείψει το κόστος μεταφοράς των υλικών στο εργοτάξιο. Η διάρκεια του έργου εκτιμήθηκε έτσι ώστε να επιτρέψει στους μελετητές να μελετήσουν τις τεχνολογίες της εκτύπωσης και να

αναπτύξουν τα κατάλληλα υλικά. Το εργοτάξιο θα είναι ανοιχτό στο κοινό και θα παραμείνει επισκέψιμο και μετά την ολοκλήρωση του έργου, καθώς ο κύριος στόχος του είναι να ανακαλυφθεί και να μοιραστεί με τον κόσμο η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στον τομέα της κατασκευής. Στοιχεία της κατοικίας εκτυπώνονται σε έναν γιγάντιο εκτυπωτή που καλείται KamerMaker. Η τεχνική της εκτύπωσης είναι παρόμοια με τους περισσότερους εκτυπωτές. Η όλη διαδικασία ξεκινάει σε έναν υπολογιστή όπου δημιουργούνται μοντέλα σε κατάλληλο 3D πρόγραμμα τα οποία στη συνέχεια μετατρέπονται στο επιθυμητό format. Τα θερμοπλαστικά υλικά (για το συγκεκριμένο έργο: βιοδιασπώμενο πλαστικό) ζεσταίνονται από τον εκτυπωτή έως ότου είναι τόσο ρευστά όσο χρειάζεται ώστε να μπορούν να διαχέονται από το ακροφύσιο του εκτυπωτή. Με την ολοκλήρωση της μίας στρώσης μία νέα στρώση δημιουργείται πάνω στην προηγούμενη. Η μεγαλύτερη πρόκληση στο στάδιο αυτό είναι η ανάπτυξη ενός υλικού το οποίο θα είναι ικανά εύκαμπτο ώστε να εφαρμόζει η μία στρώση με την άλλη, θα έχει συγκολλητικές ιδιότητες ώστε να κολλάνε οι στρώσεις μεταξύ τους αλλά και θα είναι αρκετά άκαμπτο ώστε το τελικό στοιχείο να διατηρεί το σχήμα του. Το σπίτι είναι κατασκευασμένο από πολλά τυπωμένα στοιχεία. Κάθε στοιχείο παρουσιάζει μια ενημερωμένη έρευνα σχετικά με το σχήμα, τη δομή και το υλικό.



Εικόνα 57. Το Canal House αποτελείται από 13 διαφορετικά δωμάτια

πηγή: Building site organization with 3D Technology in Use, Anna Sobotka, Katarzyna Pacewica, article in ScienceDirect

3.8 ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗ ΓΑΛΛΙΑ

Το Μάρτιο του 2018 εγκαινιάστηκε το πρώτο σπίτι για κοινωνική στέγαση στο Nantes της Γαλλίας. Πρόκειται για μία οικοδομή 95 τμ με πέντε δωμάτια που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος Υψηλόν από μία κοινοπραξία επιστημόνων, κατασκευαστών και δημόσιων και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων.

Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκε ο εκτυπωτής BatiPrint3D. Πρόκειται για ρομποτικό εκτυπωτή ο οποίος μπορεί να μεταφερθεί στον τόπο του έργου και να εκτυπώσει in situ.



Εικόνα 58. Εκτυπωτής Batiprinter3D
Πηγή: <https://www.connexionfrance.com/French-news/Nantes-house-built-by-onsite-3D-printer-is-world-first>

Η κατασκευή βασίζεται στην εκτύπωση ενός κελύφους από πολυμερές υλικό. Το ενδιάμεσο κενό πληρωνόταν με τσιμέντο. Η κατασκευή ολοκληρώθηκε σε 18 μέρες και το κόστος ανήλθε σε 4.000 δολάρια.



**Εικόνα 59-60. Κατοικία κατά τη διάρκεια της κατασκευής στο
Nantes της Γαλλίας (Μάρτιος 2018)
πηγή: <http://www.batiweb.com/actualites/vie-des-societes/nantes-inaugure-une-maison-construite-par-un-robot-imprimante-3d-22-03-2018-32262.html>**



Εικόνα 61. Κατοικία μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής στο Nantes της Γαλλίας (Μάρτιος 2018)
Πηγή: <http://tvxs.gr/news/eyropi-eop/proto-spiti-apo-rompotiko-3d-ektypoti-proorizetai-gia-koinoniki-stegasi-binteo>

3.9 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΚΛΑΔΟ

Η ικανότητα κατασκευής «εξωγήινων» κατοικιών, εργαστηρίων ή άλλων εγκαταστάσεων είναι το βασικό στοιχείο για τη μακροπρόθεσμη ανθρώπινη επιβίωση στη Σελήνη και στον Άρη. Η τεχνολογία Contour Crafting έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει ασφαλείς, αξιόπιστες και προσιτές κατασκευές στη Σελήνη και στον Άρη πριν την άφιξη των ανθρώπων. Η εταιρεία Contour Crafting Cooperation, ιδρυτής της οποίας είναι ο καθηγητής Behrokh Khoshnevis, σε συνεργασία με τη NASA ερευνά τη δυνατότητα ανάπτυξης της τεχνολογίας στο διάστημα. Οι πρώτες ύλες θα συλλέγονται επί τόπου (in situ) μέσω ρομποτικής – αυτοματοποιημένης διαδικασίας και στη συνέχεια θα μετατρέπονται σε δομικό υλικό κατάλληλο για την «εκτύπωση» των κατοικιών και λοιπών εγκαταστάσεων. Οι κατασκευές αυτές θα περιλαμβάνουν ολοκληρωμένες λύσεις για θωράκιση της ακτινοβολίας, για υδραυλικά, ηλεκτρικά και λοιπά δίκτυα.



Εικόνα 62. Contour Crafting στο διάστημα
πηγή: <http://contourcrafting.com/space-applications/>

Πολλοί τύποι στοιχείων υποδομής μπορούν να κατασκευαστούν με παραλλαγές της τεχνολογίας Contour Crafting. Για παράδειγμα έχει προταθεί μία μέθοδος αυτόνομης κατασκευής ψηλών πύργων από σκυρόδεμα, όπως ανεμογεννήτριες, πύργοι γεφυρών, καμινάδες κτλ. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένα σύνολο συντονισμένων ρομπόττα οποία αναρριχώνται στον πύργο. Τα ρομπότ είναι συνδεδεμένα με ένα με έναν εκτυπωτή της τεχνολογίας Contour Crafting ο οποίος εκτυπώνει σκυρόδεμα στην επιθυμητή θέση. Τα ρομπότ ανεβαίνουν στον πύργο και η εκτύπωση συνεχίζεται καθ ύψος μέχρι την ολοκλήρωση της κατασκευής.



Εικόνα 63. Contour Crafting στην κατασκευή
ανεμογεννητριών
Πηγή: <http://contourcrafting.com/infrastructure-construction/>

3.10 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Η φθηνότερη τιμή των κτιρίων, σε συνδυασμό με τον σημαντικά λιγότερο χρόνο κατασκευής, είναι από τα βασικότερα επιχειρήματα που επικαλούνται οι κατασκευαστές των τριών εκτυπωτών. Με βάση τη WinSun, η εξοικονόμηση σε υλικά θα αγγίζει το 30%-60% και σε εργατικά έξοδα το 50%-80%, ενώ τα οικήματα θα ολοκληρώνονται 50%-70% πιο γρήγορα.

Εντούτοις, αυτά δεν είναι τα μόνα οφέλη που υποστηρίζουν πως θα φέρει η τεχνολογία, αφού, σύμφωνα με τον Behrock Khosnevis, με την αυτοματοποίηση θα μειωθούν τα ατυχήματα – τη στιγμή που περισσότεροι από 10.000 άνθρωποι χάνουν ετησίως τη ζωή τους σε κάθε είδους οικοδομές. Οικοδομές που, εκτός από πιο ασφαλείς, θα πάψουν να επιβαρύνουν τις γύρω γειτονίες με θόρυβο και σκόνη.

Όπως φαίνεται, τέτοιες οικοδομές θα πρωτοκάνουν την εμφάνισή τους από τη WinSun καθώς, όπως ανακοίνωσε η εταιρεία, το επόμενο βήμα της θα είναι να κυκλοφορήσει στην αγορά ένα εμπορικό μοντέλο του εκτυπωτή της. Η ίδια προβλέπει ότι οι πρώτες εφαρμογές θα είναι απλές κατασκευές, σε χώρες με έλλειψη φθηνών κατοικιών και μεγάλους αριθμούς αστέγων. Μάλιστα, όταν έκανε την πρώτη επίδειξη της τεχνολογίας της «τυπώνοντας» δέκα μονώροφα σπίτια σε 24 ώρες, ανέφερε πως το κόστος κάθε σπιτιού ήταν 5.000 δολάρια.

Την ίδια ανάγκη θέλει να καλύψει σε πρώτη φάση με το μηχάνημά του και ο Behrock Khosnevis, το οποίο θα έχει τη δυνατότητα να χτίζει σε 24 ώρες ένα μονώροφο οίκημα 185 τετραγωνικών μέτρων. Στόχος του Αμερικανού καθηγητή είναι να αυτοματοποιήσει την τοποθέτηση και της ηλεκτρικής και της υδραυλικής εγκατάστασης, ενώ το «μελάνι» του είναι ανθεκτικότερο από τα συμβατικά οικοδομικά υλικά, όπως υποστηρίζει.

Συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πλεονεκτήματα

- Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα για τους αρχιτέκτονες είναι η δυνατότητα να δημιουργηθούν κτίρια με πολύπλοκο σχήμα

- Μικρότερο κόστος: το κόστος της εκτύπωσης επιμέρους τμημάτων κτιρίων είναι αρκετά χαμηλότερο σε σχέση με της συνήθεις μεθόδους. Επιπλέον περιορίζεται η μεταφορά και η αποθήκευση υλικών στο εργοτάξιο.
- Χρήση μεθόδων φιλικές προς το περιβάλλον
- Μείωση τραυματισμών και θανάτων στα έργα, αφού η πιο επικίνδυνη δουλειά θα γίνεται από τους εκτυπωτές
- Η ανέγερση του κτιρίου θα έχει ως αποτέλεσμα λιγότερα σκουπίδια και σκόνη σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους
- Ο συνολικός χρόνος κατασκευής μπορεί να είναι σημαντικά μειωμένος.

Μειονεκτήματα

- η ανάπτυξη της τεχνολογίας 3d εκτύπωσης μπορεί να στερήσει τη δουλειά από εκατοντάδες εξειδικευμένους εργάτες.
- θα πρέπει να αναπτυχθεί κατάλληλο λογισμικό το οποίο θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, της στατικής ανάλυσης αλλά και της διαδικασίας εκτύπωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ

4.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιεγράφηκαν διαφορετικοί τρόποι τρισδιάστατης εκτύπωσης με παραδείγματα εφαρμογής αυτών.

Κατά την εκτύπωση ενός κτιρίου το υλικό εκτύπωσης χύνεται σταδιακά σε στρώσεις μέσω μίας αυτοματοποιημένης διαδικασίας η οποία ελέγχεται από υπολογιστή και βασίζεται σε τρισδιάστατο σχέδιο που απεικονίζει το προς εκτύπωση κτίριο και έχει προηγουμένως δημιουργηθεί.

Ενώ η μέθοδος εκτύπωσης είναι κοινή αυτό που διαφοροποιείται συνήθως είναι το είδος του εκτυπωτή που χρησιμοποιείται. Καθότι πρόκειται για μία καινοτόμο μέθοδο στον κλάδο της κατασκευής υπάρχουν λίγες εταιρείες – ερευνητικά κέντρα ανά τον κόσμο που ασχολούνται με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι εταιρείες αυτές έχουν προχωρήσει στην κατασκευή διαφόρων τύπων τρισδιάστατων εκτυπωτών.

4.2 ΕΙΔΗ ΕΚΤΥΠΩΤΗ

Ακολούθως περιγράφονται τα βασικά είδη εκτυπωτών και οι διαφορές μεταξύ τους.

Ανάλογα με το είδος του εκτυπωτή διακρίνονται σε:

Εκτυπωτές σε γερανογέφυρα

Η κεφαλή εκτύπωσης είναι συνδεδεμένη με γερανογέφυρα η οποία επιτρέπει την κίνηση της στους άξονες X, Y, Z. Ωστόσο η εκτύπωση μπορεί να γίνει μόνο εντός του συστήματος της γερανογέφυρας.

Πλεονεκτήματα

- Πρόκειται για ευσταθή και ασφαλή κατασκευή
- Μπορεί να κατασκευαστεί σχετικά εύκολα και φθηνά

Μειονεκτήματα

- Είναι δύσκολο να μετακινηθεί από το ένα μέρος στο άλλο
- Καταλαμβάνει μεγάλη έκταση
- Η εκτύπωση περιορίζεται εντός του συστήματος της γερανογέφυρας, περιορίζοντας την επιφάνεια εκτύπωσης



Εικόνες 64-66. Παραδείγματα 3D εκτυπωτών σε γερανογέφυρα

Πηγή: <https://siliconangle.com/blog/2015/01/20/china-super-sizes-3d-printing-with-worlds-first-printed-apartment-building/>

Ρομποτικοί εκτυπωτές

Ο εκτυπωτής βρίσκεται εντός του χώρου εκτύπωσης και συνήθως τοποθετείται στο κέντρο της περιοχής εκτύπωσης. Το ακροφύσιο εκτύπωσης βρίσκεται στην άκρη του εκτυπωτή σε κατάλληλα διαμορφωμένο βραχίονα ή γερανό.

Πλεονεκτήματα

- Μικρή κατασκευή
- Εύκολα μεταφερόμενοι (με γερανό)

Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος αγοράς

Συνήθως η δυνατότητα εκτύπωσης περιορίζεται σε συγκεκριμένη έκταση. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιώντας και δεύτερο εκτυπωτή ή μεταφέροντας τον ίδιο.



*Εικόνες 67-68. Παραδείγματα 3D «ρομποτικών» εκτυπωτών
Πηγή: <https://www.connexionfrance.com/French-news/Nantes-house-built-by-onsite-3D-printer-is-world-first>*



Εικόνα 69. Cybe 3D printer
Πηγή: <https://cybe.eu/3d-concrete-printers/>

Ανάλογα με τη μέθοδο εκτύπωσης διακρίνονται σε:

Εκτυπωτές που εκτυπώνουν στο πεδίο (In situ)

Ο εκτυπωτής μεταφέρεται εκεί (ρομποτικοί εκτυπωτές) ή στήνεται επί τόπου (εκτυπωτές σε γερανογέφυρα). Η εκτύπωση γίνεται στο πεδίο.

Πλεονεκτήματα:

- Η κατασκευή γίνεται επί τόπου, είναι συνεχόμενη και δεν απαιτείται συναρμολόγηση
- Μικρότερα φορτία
- Μειονεκτήματα
- Η κατασκευή εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες
- Παραδείγματα εκτυπωτών: AspisCor, Batiprinter, Cybe 3D printer, Contour Crafting

Εκτυπωτές που εκτυπώνουν εκτός πεδίου (Off site)

Προκατασκευασμένα στοιχεία εκτυπώνονται συνήθως στο εργοστάσιο όπου υπάρχει μόνιμα εγκατεστημένος εκτυπωτής. Μετά την εκτύπωση τα επιμέρους τμήματα μεταφέρονται στο εργοτάξιο και συναρμολογούνται.

Πλεονεκτήματα

- Ευστάθεια εκτυπωτή
- Δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες

Μειονεκτήματα

- Απαιτείται μεταφορά στοιχείων στο εργοτάξιο και συναρμολόγηση αυτών
- Απαιτείται αρκετή χειρονακτική εργασία στο εργοτάξιο

Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται οι εκτυπωτές που κυκλοφορούν στο εμπόριο ανάλογα με το είδος του εκτυπωτή και τη μέθοδο εκτύπωσης.

Πίνακας 1 Μοντέλα εκτυπωτών τρισδιάστατης εκτύπωσης ανάλογα με το είδος του εκτυπωτή και τη μέθοδο εκτύπωσης

		Μέθοδος εκτύπωσης	
		In situ	Off site
Είδος εκτυπωτή	Εκτυπωτές σε γερανογέφυρα	TotalKustom Contour Crafting 3D Printhuset	Winsun D-Shape Πανεπιστήμιο Eindhoven
	«Ρομποτικοί» εκτυπωτές	Aspis Cor Batiprint Cazza Cybe	Xtree MX3D (χάλυβας) Branch Technology (plastic)

Πίνακας 1. Μοντέλα εκτυπωτών τρισδιάστατης εκτύπωσης ανάλογα με το είδος του εκτυπωτή και τη μέθοδο εκτύπωσης

Κόστος προμήθειας εκτυπωτή

Εκτυπωτές τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν κατασκευαστεί και διατίθενται στο εμπόριο για αγορά και από άλλες εταιρείες. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται το κόστος προμήθειας ενός εκτυπωτή κατάλληλου για εκτύπωση «μικρών» κατοικιών. Το κόστος είναι ενδεικτικό και ανάλογα με την εταιρεία μπορεί να απαιτείται και η προμήθεια πρόσθετου εξοπλισμού (όπως σιλό αποθήκευσης κτλ.).

Μοντέλο εκτυπωτή ανά εταιρεία	Δυνατότητα εκτύπωσης	Κόστος
Totalkustom StroyBot	10 m x 15 m = 150 m ² Ύψος = 6 m (2-όροφο κτίριο)	\$ 300.000
Aspis Cor	D=13m Ύψος: 3.10 m Συνολική επιφάνεια εκτύπωσης: 192 m ²	\$ 280.000
Cazza X1	Περιοχή εκτύπωσης 3.60 × 3.40 × 0.80 mm Ύψος: 5.00 m	\$ 480.000
Cybe RC 3Dp	Δυνατότητα εκτύπωσης σε πλάτος 3.2 m	\$ 417.000

Πίνακας 2. Κόστος προμήθειας εκτυπωτή

Η εταιρεία TotalKustom έχει προχωρήσει στην κατασκευή μίας σειράς εκτυπωτών σκυροδέματος διαφόρων μεγεθών, ανάλογα με τη δυνατότητα εκτύπωσης και τις ανάγκες κατασκευής. Οι τιμές των εκτυπωτών ξεκινάνε από τα \$300.000 για τους πιο μικρούς εκτυπωτές με δυνατότητα εκτύπωσης μικρών κτιρίων και φτάνουν έως τα \$5.000.000 για περισσότερο σύνθετες δυνατότητες εκτύπωσης όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Μοντέλο, είδος, υλικό κατασκευής εκτυπωτή	Δυνατότητα εκτύπωσης	Χαρακτηριστικά	Κόστος
StroyBot (Steel)	10 m x 15 m = 150 m ² Ύψος = 6 m (2-όροφο κτίριο)	Βασικό μοντέλο για εργολάβους Ευκολία στη μεταφορά και εγκατάσταση	\$300.000
StroyBot (Carbone/Kevlar composite)	10 m x 15 m = 150 m ² Ύψος = 6 m (2-όροφο κτίριο)	Βασικό μοντέλο για εργολάβους Ευκολία στη μεταφορά και εγκατάσταση	\$500.000
LAByrinth Robotic Arm 3D Concrete Printer (Steel)	D = 12m , επιφάνεια 110 m ² Ύψος = 3 m (1-όροφο κτίριο)	Κατάλληλο για εργασίες σε λόφους - βουνά Ευκολία στη μεταφορά και εγκατάσταση	\$300.000
LAByrinth Robotic Arm 3D Concrete Printer (Carbone/Kevlar composite)	D = 12m, επιφάνεια 110 m ² Ύψος = 3 m (1-όροφο κτίριο)	Κατάλληλο για εργασίες σε λόφους - βουνά Ευκολία στη μεταφορά και εγκατάσταση	\$400.000
SEVEReBot All-season 3D Concrete Printer (Steel)	12 m x 12 m = 144 m ² , Ύψος: 3 m (1-όροφο κτίριο)	Μεγάλης έκτασης εκτυπωτής	\$700.000
SEVEReBot All-season 3D Concrete Printer (Carbone/Kevlar composite)	12 m x 12 m = 144 m ² , Ύψος: 3 m (1-όροφο κτίριο)	Μεγάλης έκτασης εκτυπωτής Ο εκτυπωτής αυτός μπορεί να δουλέψει σε ακραίες καιρικές συνθήκες: κρύο, ζέστη, βροχή	\$2.000.000
SEVEReBot Max All-season 3D Concrete Printer (Steel)	12 m x 12 m = 144 m ² , Ύψος: 12 m (4-όροφο κτίριο) Συνολική περιοχή εκτύπωσης =576 m ²	Υπερμεγέθης εκτυπωτής για την εκτύπωση κτιρίων	\$3.000.000
SEVEReBot Max All-season 3D Concrete Printer (Carbone/Kevlar composite)	12 m x 12 m = 144 m ² , Ύψος: 12 m (4-όροφο κτίριο) Συνολική περιοχή εκτύπωσης =576 m ²	Υπερμεγέθης εκτυπωτής για την εκτύπωση κτιρίων Σχεδιασμένος να λειτουργεί όλο το χρόνο: κρύο, ζέστη, βροχή	\$5.000.000

Πίνακας 3. Κόστος ανά είδος εκτυπωτή της εταιρείας Totalkustom

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω πίνακες το κόστος για την προμήθεια ενός τέτοιου εκτυπωτή είναι αρκετά μεγάλο. Ωστόσο πολλές εταιρείες που θέλουν να αναπτύξουν την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης προσανατολίζονται στην προμήθεια τέτοιων εκτυπωτών, ενώ η τεχνολογία εκτύπωσης και οι δυνατότητες των μηχανημάτων συνεχώς εξελίσσονται.

4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ ΚΑΙ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.

Θεμελίωση

Συμβατική κατοικία

Η θεμελίωση της κατασκευής, ανεξαρτήτως φέροντος οργανισμού, είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για την κατασκευή μετά την εκσκαφή τοποθετείται ο ξυλότυπος, ο οπλισμός των θεμελίων και στη συνέχεια πραγματοποιείται η σκυροδέτηση.

Κατοικία με 3D εκτύπωση

Ποικίλει ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής.

Η θεμελίωση μπορεί να κατασκευαστεί αντίστοιχα με τη συμβατή κατοικία (κατασκευή ξυλότυπου, τοποθέτηση οπλισμού, σκυροδέτηση). Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση, είναι δε υποχρεωτική όταν δεν υπάρχει εκτυπωτής στον τόπο του έργου, όπως στην περίπτωση της εκτύπωσης τοίχων στο εργοστάσιο και στη συνέχεια μεταφοράς τους στο έργο.

Είναι δυνατόν να εκτυπωθεί το περίγραμμα της θεμελίωσης, με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το περίγραμμα αυτό αποτελεί τον ξυλότυπο της θεμελίωσης. Το εσωτερικό πληρώνεται με σκυρόδεμα. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί όταν η εκτύπωση γίνεται in situ μέσω εκτυπωτή που βρίσκεται στο έργο.

Ανωδομή

Συμβατική κατοικία

Ο φέρον οργανισμός διαφοροποιείται από τα μη φέροντα στοιχεία. Συνήθως ο φέρον οργανισμός είναι από σκυρόδεμα ή μέταλλο και οι τοίχοι από τούβλα ή πάνελ. Σπανιότερα κατασκευάζονται νέα κτίρια με φέροντα οργανισμό από λιθοδομή ή τοιχοποιία.

Στην Ελλάδα ο συνηθέστερος τρόπος κατασκευής βασίζεται στη χρήση οπλισμένου σκυροδέματος για τα φέροντα στοιχεία (δοκοί, υποστυλώματα, πλάκες) και τούβλων

για τις τοιχοποιίες (δρομικές τοιχοποιίες εσωτερικά και μπατικές τοιχοποιίες εξωτερικά).

Για την κατασκευή του φέροντος οργανισμού από οπλισμένο σκυρόδεμα μίας κατοικίας απαιτείται κατάλληλος χρονικός προγραμματισμός προμηθειών και εργασιών:

- Προμήθεια των απαραίτητων υλικών και κατασκευή ξυλότυπου
- Προμήθεια και τοποθέτηση οπλισμού από ειδικευμένο συνεργείο
- Παραγωγή και μεταφορά σκυροδέματος στον τόπο του έργου, σκυροδέτηση από ειδικευμένο συνεργείο.
- Απομάκρυνση ξυλότυπων συνήθως από 2- 5 μέρες μετά τη σκυροδέτηση ανάλογα με το είδος και τις διαστάσεις του στοιχείου.

Με την ολοκλήρωση του φέροντος οργανισμού ξεκινάει η κατασκευή των τοίχων. Οι τοιχοποιίες είναι συνήθως από τούβλα συγκεκριμένων διαστάσεων τα οποία κατασκευάζονται σε εργοστάσιο και μεταφέρονται στο έργο. Στη συνέχεια ειδικευμένο συνεργείο αναλαμβάνει την κατασκευή των τοίχων επί τόπου, διαδικασία η οποία μπορεί να διαρκέσει αρκετές μέρες. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας απαιτείται η προμήθεια διαφόρων οικοδομικών υλικών πέραν των τούβλων (τσιμέντο, ασβέστης, άμμος κτλ).

Οι επί μέρους εργασίες γίνονται από διαφορετικά συνεργεία και για την ολοκλήρωσή τους απαιτείται κατάλληλος χρονικός προγραμματισμός, προμήθεια και μεταφορά διαφόρων υλικών στο έργο ενώ είναι αναπόφευκτη η δημιουργία μεγάλου όγκου απορριμμάτων.

Συνολικά απαιτείται περίπου 1 μήνας για την ολοκλήρωση των κατακόρυφων στοιχείων (φέρων οργανισμός και τοιχοποιίες πλήρωσης) για μία κατοικία επιφάνειας 100 τμ.

Κατοικία με 3D εκτύπωση

Ανάλογα με το είδος του εκτυπωτή και της μεθόδου που ακολουθείται μπορεί να απαιτείται απλώς η μεταφορά του εκτυπωτή στον τόπο του έργου (ρομποτικοί εκτυπωτές), η συναρμολόγησή του επί τόπου (εκτυπωτές σε γερανογέφυρα η οποία κατασκευάζεται in situ) ή η εκτύπωση των τοίχων στο εργοτάξιο και η μεταφορά τους στον τόπο του έργου. Προφανώς, το συνολικό κόστος του έργου διαμορφώνεται αναλόγως με τη μέθοδο που επιλέγεται.

Σε κάθε περίπτωση η χρήση ενός εκτυπωτή αντικαθιστά μεγάλο μέρος από τις εργασίες που απαιτούνται για την κατασκευή των τοίχων. Όταν η εκτύπωση γίνεται in situ, το υλικό εκτύπωσης, συνήθως σκυρόδεμα, βρίσκεται στο έργο και ένας εκτυπωτής κατασκευάζει το κτίριο σε μόλις λίγες μέρες. Για την έναρξη της κατασκευής απαιτείται η μεταφορά στο έργο του εκτυπωτή, του υλικού εκτύπωσης και η μηχανή μίξης και αποθήκευσης του σκυροδέματος.

Για την εκτύπωση κτιρίων με τον εκτυπωτή της εταιρείας Aspiscor, ή με άλλους παρόμοιους «μεταφερόμενους» εκτυπωτές, απαιτείται απλώς η μεταφορά του εκτυπωτή στο εργοτάξιο. Η εγκατάσταση του μπορεί να γίνει πολύ εύκολα ενώ για την παρακολούθηση της διαδικασίας εκτύπωσης και το χειρισμό του μηχανήματος απαιτούνται μόλις δύο άτομα.

Η μέθοδος που παρουσιάζεται από την εταιρεία Contour Crafting απαιτεί τη συναρμολόγηση του εκτυπωτή in situ. Ο εκτυπωτής κινείται σε παράλληλους άξονες σε κατάλληλο μεταλλικό φορέα που διαμορφώνεται επί τόπου. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε η επιφάνεια έδρασης να είναι τελείως οριζόντια και οι άξονες να είναι παράλληλοι μεταξύ τους, προκειμένου να μη δημιουργηθούν προβλήματα στον εκτυπωτή και κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης.

Χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό εκτύπωσης 3D μειώνεται η χειρονακτική εργασία, οι τοίχοι εκτυπώνονται ενιαία, μειώνονται οι απαιτούμενες ποσότητες υλικών καθώς και ο όγκος των απορριμμάτων.

Ακόμα και στην περίπτωση εκτύπωσης μεμονωμένων τοίχων στο εργοστάσιο και στη συνέχεια μεταφοράς τους στο έργο (μέθοδος που εφαρμόζεται από την εταιρεία

Winsun) το απαιτούμενο προσωπικό, το πλήθος των υλικών και τα παραγόμενα απορρίμματα είναι πολύ λιγότερα.

Στο τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας Aspis cor δίνονται στοιχεία σχετικά με την απαιτούμενη ποσότητα σκυροδέματος και του κόστους εκτύπωσης ανά τετραγωνικό μέτρο τοίχου.

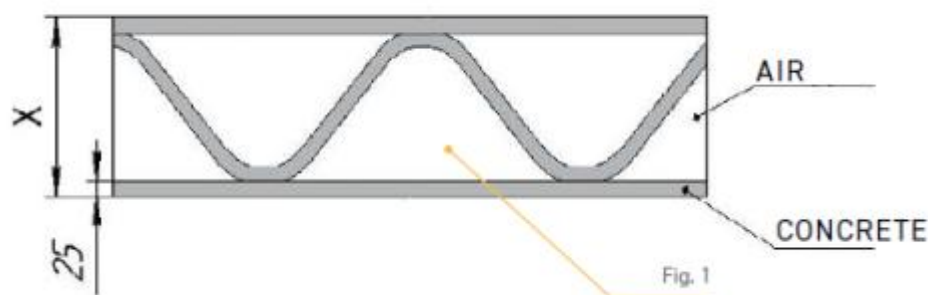
Σύμφωνα με τα στοιχεία της εταιρείας το κόστος του μίγματος σκυροδέματος που χρησιμοποιείται στην τρισδιάστατη εκτύπωση κυμαίνεται από 6000-9000 rubles ανά κυβικό μέτρο, ανάλογα με την περιοχή. Η εταιρεία συστήνει να χρησιμοποιείται μία μέση τιμή που αντιστοιχεί σε 7500 rubles/1 m³ (περίπου 99.40 €/ 1m³). Για την εκτύπωση χρησιμοποιείται σκυρόδεμα με άμμο και ίνες προπυλενίου. Το εκτυπωμένο σκυρόδεμα , σύμφωνα με πειράματα αντιστοιχεί σε σκυρόδεμα κατηγορίας B20 (C16/20). Συγκριτικά αναφέρεται ότι η τιμή σκυροδέματος ποιότητας C16/20 ανέρχεται στο ποσό των 90.00€/ 1m³ πλέον ΦΠΑ (Περιγραφικό Τιμολόγιο Οικοδομικών Έργων – 2017 για προμήθεια, μεταφορά επί τόπου, διάστρωση και συμπίκνωση σκυροδέματος με χρήση αντλίας ή πυργογερανού)

Για τον υπολογισμό του κόστους και του χρόνου κατασκευής καθώς και του όγκου του απαιτούμενου σκυροδέματος θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί η επιφάνεια των τοίχων μείον την επιφάνεια των ανοιγμάτων με τις τιμές που φαίνονται στους πίνακες 1 και 2.

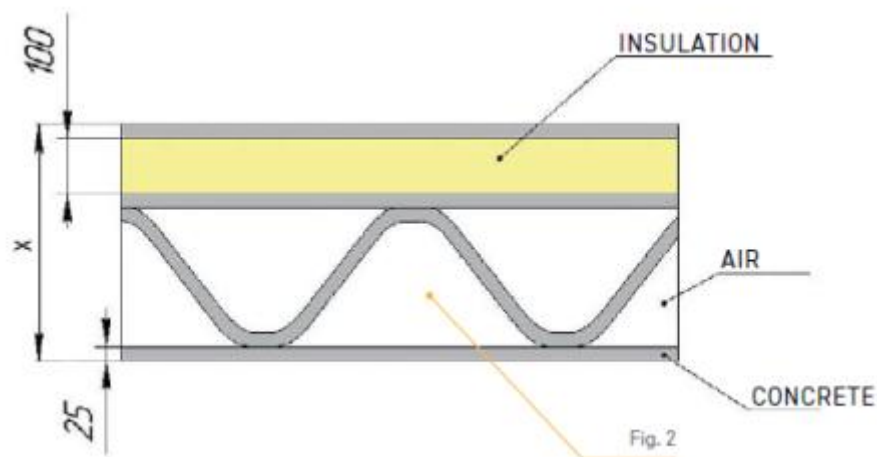
Οι τοίχοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες

Κατηγορία Α: εσωτερικοί τοίχοι που παραλαμβάνουν φορτία και τοίχοι - χωρίσματα που δεν παραλαμβάνουν φορτία

Κατηγορία Β: Εξωτερικοί και αυτοφερόμενοι τοίχοι με μόνωση



Εικόνα 70. Τοίχοι κατηγορίας Α



Εικόνα 71. Τοίχοι κατηγορίας Β

Όπως φαίνεται και στις παραπάνω εικόνες το πάχος (σε κάτοψη) της κάθε λωρίδας σκυροδέματος είναι 25 mm. Όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο για την κατασκευή των τοίχων εκτυπώνονται 2 παράλληλες στρώσεις σκυροδέματος και ενισχύονται εσωτερικά με διαγώνια ενίσχυση. Όταν απαιτείται μόνωση (insulation) αυτή τοποθετείται εξωτερικά του τοίχου με την εκτύπωση μίας επιπλέον στρώσης (τοίχοι κατηγορίας Β).

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνεται ο όγκος σκυροδέματος ανάλογα με το πάχος X του τοίχου, ο χρόνος εκτύπωσης και το κόστος εκτύπωσης για τοίχους κατηγορίας Α και τοίχους κατηγορίας Β.

Πάχος τοίχου X	Όγκος σκυροδέματος	Χρόνος εκτύπωσης	Κόστος εκτύπωσης	
			rubles	euro
mm	m^3	ώρες		
100-200	0.079	0.30	591.56	7.88
200-300	0.085	0.33	640.12	8.52

Πίνακας 4. Εκτίμηση κόστους και χρόνου κατασκευής για $1m^2$ τοίχου τύπου Α

Πάχος τοίχου X	Όγκος σκυροδέματος	Χρόνος εκτύπωσης	Κόστος εκτύπωσης	
			rubles	euro
325-525	0.110	0.42	827.62	11.02

Πίνακας 5. Εκτίμηση κόστους και χρόνου κατασκευής για 1m² τοίχου τύπου Β

Στην τιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται η μεταφορά του εκτυπωτή στο θέση του έργου καθώς επίσης και το κόστος αγοράς ή ενοικίασης της συσκευής.

Προκειμένου να γίνει μία σύγκριση παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί το κόστος και ο εκτιμώμενος χρόνος κατασκευής τοίχου από τούβλα (δρομική και μπατική τοιχοποιία). Στο κόστος περιλαμβάνεται το σύνολο των υλικών (12οπα τούβλα, ασβέστης, τσιμέντο, άμμος) και ο ΦΠΑ για την κατασκευή ενός τετραγωνικού μέτρου τοίχου από τούβλα.

Πάχος τοίχου X	Εκτιμώμενος χρόνος κατασκευής ανά m ²	Κόστος κατασκευής ανά m ²
mm	ώρες	euro
100	0.15	15.00
250	0.30	25.00

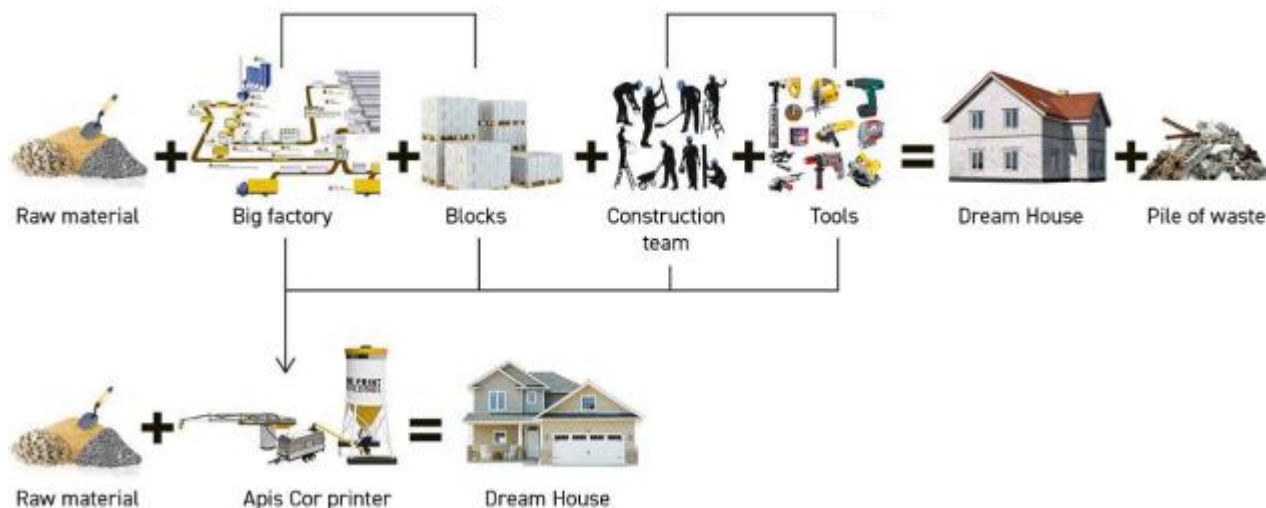
Πίνακας 6. Εκτίμηση κόστους και χρόνου κατασκευής για 1m² τοιχοποιίας από τούβλα

Το κόστος των υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή 1m² τοίχου είναι κατά 50% περισσότερο σε σχέση με το κόστος εκτύπωσης 1m² τοίχου από σκυρόδεμα με τη μέθοδο της εταιρείας Aspiscor. Στο κόστος κατασκευής του τοίχου από τούβλα δεν έχει συνυπολογιστεί το κόστος κατασκευής των απαιτούμενων οριζοντίων ή και κατακόρυφων διαζωμάτων από σκυρόδεμα. Επισημαίνεται ότι τα ποσά δεν είναι απολύτως συγκρίσιμα λόγω διαφοράς νομίσματος αλλά και τιμολογιακής πολιτικής στην κάθε χώρα.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται μία σύγκριση κατασκευής από τοιχοποιία και κατασκευής από εκτυπωμένο σκυρόδεμα.

Κατασκευή από τοιχοποιία	Κατασκευή με τη μέθοδο 3D printing
Τα τούβλα κατασκευάζονται στο εργοστάσιο και μεταφέρονται στο εργοτάξιο.	Οι πρώτες ύλες βρίσκονται στο εργοτάξιο
Χρειάζεται να προσκομιστούν στο εργοτάξιο διάφορα εργαλεία και οικοδομικά υλικά	Απαιτείται ελάχιστος εξοπλισμός. Δεν απαιτούνται επιπλέον οικοδομικά υλικά.
Δημιουργούνται απορρίμματα – μπάζα που πρέπει να απομακρυνθούν	Μικρότερος όγκος απορριμμάτων

Πίνακας 2. Σύγκριση κατασκευής από τοιχοποιία και κατασκευής με τη μέθοδο 3D printing



Εικόνα 70. Σχηματική απεικόνιση κατασκευής κατοικίας με συμβατική μέθοδο και με τη μέθοδο τρισδιάστατης εκτύπωσης
Πηγή: https://medium.com/@Nik_chen/what-is-construction-3d-printing-perspectives-and-challenges-5b57170c2a29

Στην εικόνα 79 γίνεται μία συνοπτική περιγραφή όσων αναπτύχθηκαν προηγουμένως. Για την κατασκευή μίας κατοικίας με συμβατικό τρόπο απαιτείται μία σειρά από υλικά που πρέπει να παραχθούν στο εργοστάσιο, να μεταφερθούν στο έργο και στη συνέχεια τα επιμέρους συνεργεία με τον κατάλληλο εξοπλισμό να προχωρήσουν στην κατασκευή της κατοικίας. Αντιθέτως με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης, τα βήματα αυτά περιορίζονται στην μεταφορά και προμήθεια του υλικού εκτύπωσης στον τόπο του έργου και στην εκτύπωση της κατοικίας.

Μόνωση

Συμβατική κατοικία

Η μόνωση τοποθετείται με την ολοκλήρωση του κτιρίου εξωτερικά στα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα και στο μέσο του τοίχου στις μπατικές τοιχοποιίες.

Κατοικία με 3D εκτύπωση

Στην περίπτωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης, εκτυπώνεται μία επιπλέον στρώση σκυροδέματος στην εξωτερική παρειά του τοίχου και εκεί τοποθετείται η μόνωση. Η λύση αυτή προσφέρει ενιαία μόνωση χωρίς θερμοδιακοπές.

Κουφώματα

Η εφαρμογή των κουφωμάτων γίνεται με τον ίδιο τρόπο τόσο σε συμβατή κατοικία, όσο και σε κατοικία που έχει κατασκευαστεί με τη μέθοδο της 3D εκτύπωσης.

Ηλεκτρολογικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις

Συμβατική κατοικία

Με την ολοκλήρωση της κατασκευής των τοίχων ξεκινάει η διαδικασία της εγκατάστασης ηλεκτρολογικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων. Συνήθως δημιουργούνται, εκ των υστέρων, κατάλληλες εσοχές στους τοίχους μέσα από τις οποίες διέρχονται τα καλώδια και οι σωληνώσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα καλώδια και οι σωληνώσεις «κρύβονται» μέσα σε γυψοσανίδες.

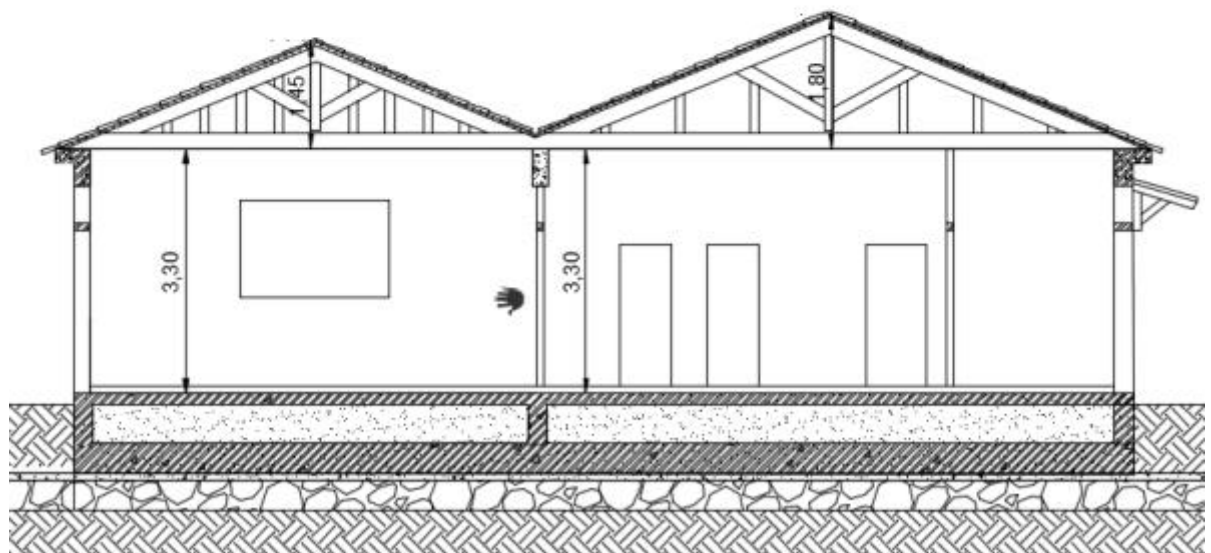
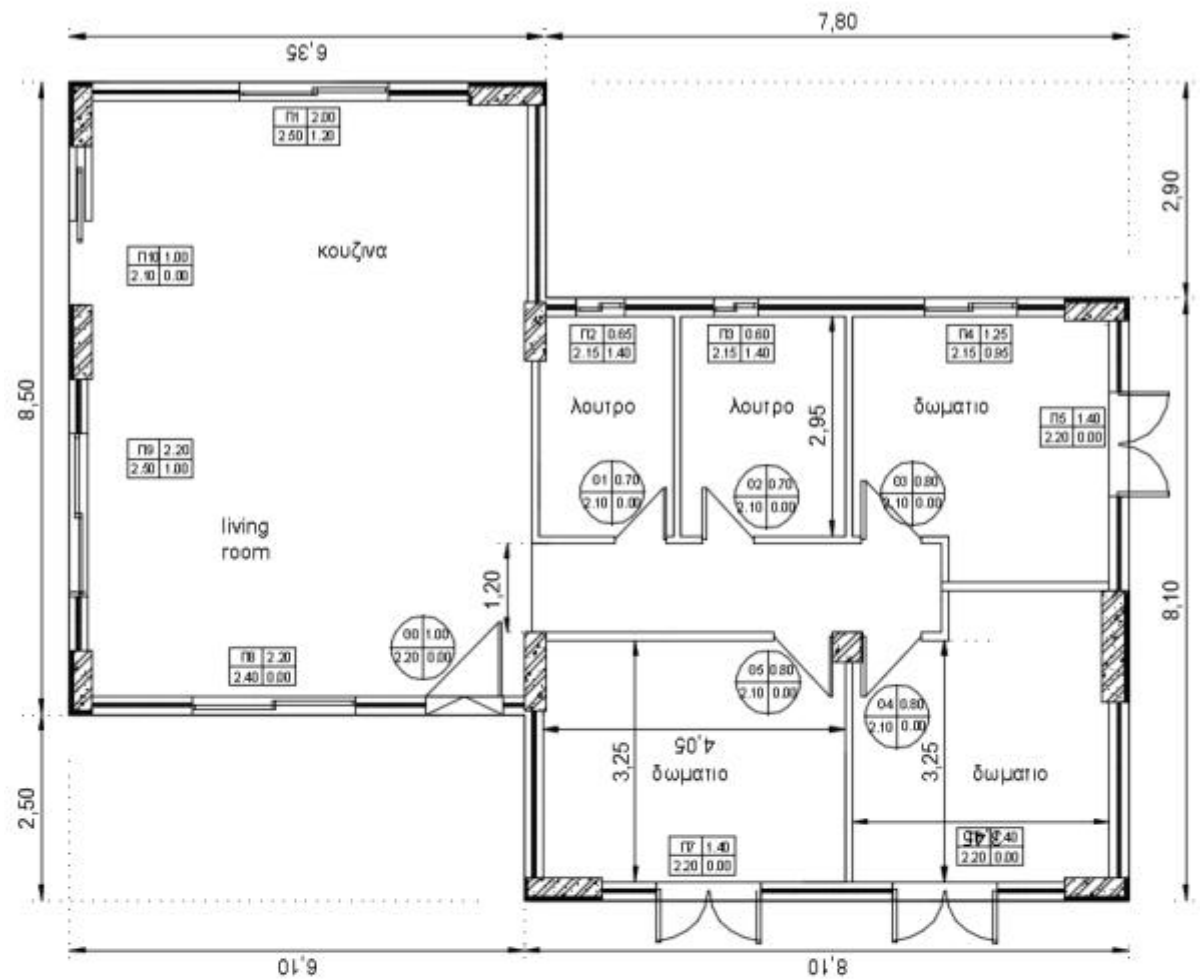
Κατοικία με 3D εκτύπωση

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις διέρχονται μέσα από τους τοίχους στο εσωτερικό κενό των τοίχων που αφήνεται κατά την εκτύπωση.

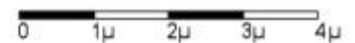
4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για την καλύτερη κατανόηση της διαφοράς των μεθόδων κατασκευής εξετάζεται μία υφιστάμενη ισόγεια κατοικία.

Η κατοικία εμβαδού 119,72 τμ αποτελείται από κατακόρυφα και οριζόντια φέροντα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι τοίχοι πλήρωσης είναι από τούβλα: δρομικές τοιχοποιίες πάχους 10 εκ για τους εσωτερικούς τοίχους και μπατικές τοιχοποιίες πάχους 25 εκ (μαζί με τη μόνωση) για τους εξωτερικούς τοίχους. Το ύψος του ισογείου είναι 3.30 μ. Η θεμελίωση της κατοικίας είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η οροφή της κατοικίας είναι ξύλινη στέγη με κεραμίδια. Η κάτοψη και η τομή της κατοικίας φαίνεται στην εικόνα 80.



ΚΑΤΟΨΗ ΚΑΙ ΤΟΜΗ ΙΣΟΓΕΙΑΣ
ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ
E=119.72 τμ



Εικόνα 71. Κάτοψη και τομή υφιστάμενης ισόγειας κατοικίας

Ανεξάρτητα από τον τρόπο κατασκευής που επιλέγεται υπάρχουν κάποια στοιχεία που είναι κοινά και για τις δύο μεθόδους. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ανεξάρτητα από τον τρόπο κατασκευής που θα επιλεγεί απαιτείται να γίνει κάποια προετοιμασία του εδάφους: εκσκαφή και διαμόρφωση εδάφους έως την επιθυμητή από τη μελέτη στάθμη θεμελίωσης. Ο τρόπος θεμελίωσης θεωρείται ότι είναι κοινός και για τις δύο μεθόδους. Θεωρείται ότι το κτίριο θεμελιώνεται επί πεδιλοδοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στην περίπτωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης, όταν υπάρχει εκτυπωτής *in situ*, είναι δυνατόν αντί για την κατασκευή ξυλοτύπων να εκτυπωθεί το περίγραμμα των θεμελίων και στη συνέχεια να γίνει πλήρωση του κενού με οπλισμένο σκυρόδεμα. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση ο όγκος του απαιτούμενου σκυροδέματος δε διαφοροποιείται, οπότε θεωρείται ότι το κόστος καθώς και ο χρόνος που αφορά στις εκσκαφές – διαμορφώσεις – κατασκευή θεμελίωσης είναι κοινό.

Ακόμα η κατασκευή της στέγης δε διαφοροποιείται σε τίποτα από τον τρόπο κατασκευής του κτιρίου, αφού πρόκειται για ξύλινη στέγη με κεραμίδια η οποία σε κάθε περίπτωση τοποθετείται με την ολοκλήρωση κατασκευής των τοίχων.

Τέλος δεν υπολογίζεται το κόστος που αφορά στην τελική διαμόρφωση των τοίχων – επιχρίσματα, βάψιμο, τοποθέτηση κουφωμάτων.

Ουσιαστικά γίνεται μία σύγκριση αποκλειστικά στον τρόπο κατασκευής των κατακόρυφων στοιχείων που είναι συνήθως και το μεγαλύτερο κόστος κατά την κατασκευή μίας κατοικίας.

Αρχικά υπολογίζεται το εμβαδό των ανοιγμάτων – παραθύρων και πορτών:

Όνομα ανοίγματος	Μήκος m	Ύψος m	Εμβαδό m ²
Π1	2.00	1.30	2.60
Π2	0.65	0.75	0.49
Π3	0.60	0.75	0.45
Π4	1.25	1.20	1.50
Π5	1.40	2.20	3.08
Π6	1.40	2.20	3.08
Π7	1.40	2.20	3.08
Π8	2.20	2.40	5.28
Π9	2.20	1.50	3.30
Π10	1.00	2.10	2.10

Όνομα ανοίγματος	Μήκος m	Ύψος m	Εμβαδό m ²
Θ0	1.00	2.20	2.20
Θ1	0.70	2.10	1.47
Θ2	0.70	2.10	1.47
Θ3	0.80	2.10	1.68
Θ4	0.80	2.10	1.68
Θ5	0.80	2.10	1.68

**Πίνακας 8. Διαστάσεις κουφωμάτων
(Παράθυρα - Θύρες)**

Στη συνέχεια υπολογίζεται το καθαρό εμβαδό των τοιχοποιιών

Για τον υπολογισμό των επιφανειών των τοιχοποιιών θεωρείται ύψος ίσο με το ύψος του ορόφου απομειωμένο κατά 50 εκ, όσο το ύψος των δοκών, στους τοίχους όπου υπάρχουν δοκοί. Επίσης, αφαιρούνται τα ανοίγματα (πόρτες και παράθυρα).

Αναλυτικά οι υπολογισμοί φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Μήκος	Καθαρό ύψος (Ηορόφου -ηδοκού)	Εμβαδό τοίχου	Ανοίγματα	Εμβαδό ανοιγμάτων	Καθαρή επιφάνεια τοίχου
m	m	m ²		m ²	m ²
5.50	3.30	18.15	Θ1,Θ2,Θ3	4.62	13.53
4.85	2.80	13.58	Θ4,Θ5	3.36	10.22
2.15	3.30	7.10	-		7.10
2.45	2.80	6.86	-		6.86
3.05	3.30	10.07	-		10.07
3.05	3.30	10.07	-		10.07
1.20	3.30	3.96	-		3.96
3.25	3.30	10.73	-		10.73
ΣΥΝΟΛΟ					72.52

Πίνακας 9. Διαστάσεις εσωτερικών τοιχοποιιών

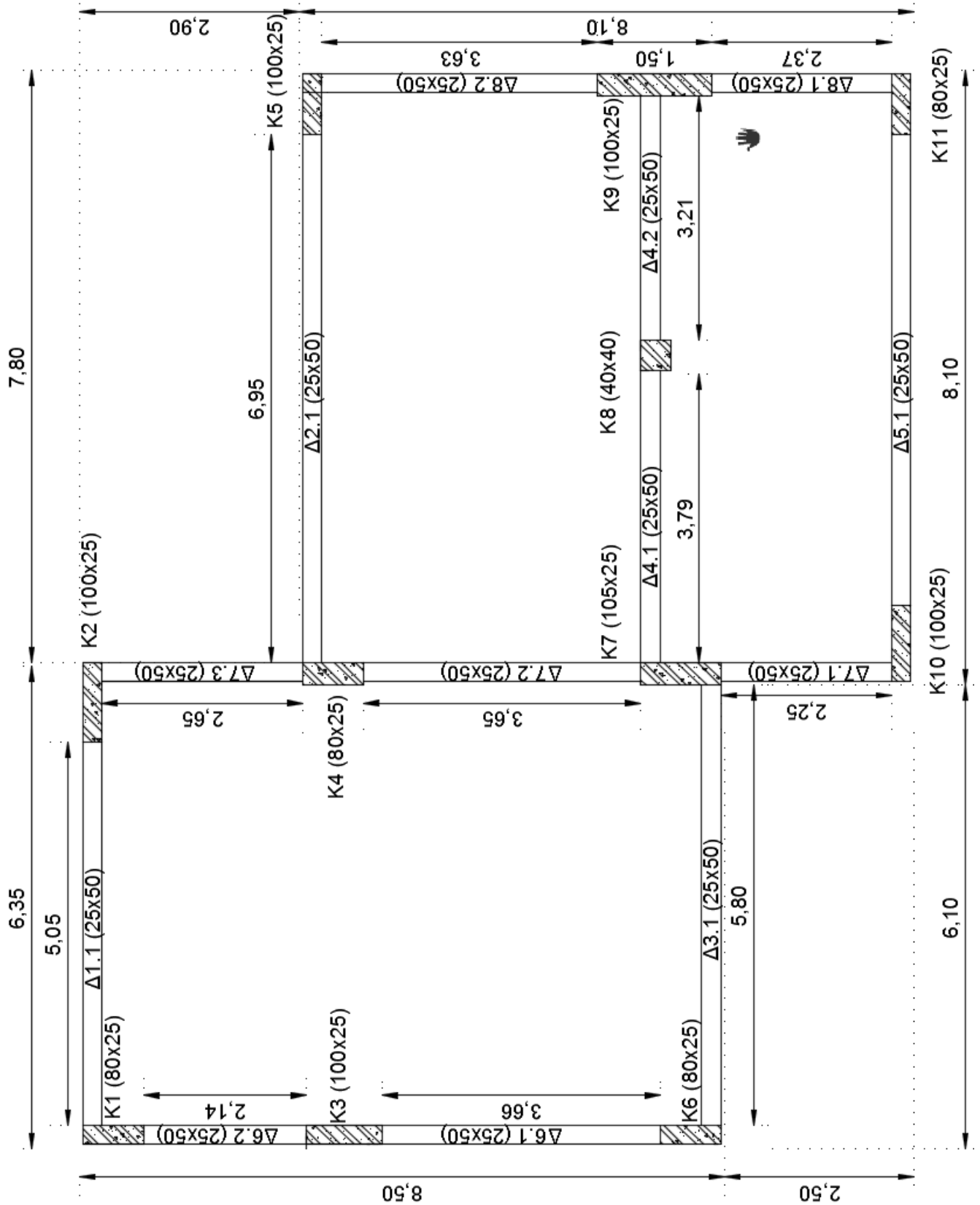
Μήκος	Καθαρό ύψος (Ηορόφου -ηδοκού)	Εμβαδό τοίχου	Ανοίγματα	Εμβαδό ανοιγμάτων	Καθαρή επιφάνεια τοίχου
m	m	m ²		m ²	m ²
5.05	2.80	14.14	Π1	2.6	11.54
2.65	2.80	7.42	-		7.42
6.95	2.80	19.46	Π2,Π3,Π4	2.44	17.02
6.00	2.80	16.80	Π5	3.08	13.72
6.19	2.80	17.33	Π6,Π7	6.16	11.17
2.20	2.80	6.16			6.16
5.80	2.80	16.24	Θ0,Π8	7.48	8.76
5.80	2.80	16.24	Π9,Π10	5.40	10.84
ΣΥΝΟΛΟ					86.63

Πίνακας 10. Διαστάσεις εξωτερικών τοιχοποιιών

	ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (m ²)	72.52	86.63
ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (ώρες/m ²)	0.15	0.3
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (ώρες)	10.88	25.99
ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (€/ m ²)	15	25
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (€)	1087.80	2165.86

Πίνακας 11. Εκτίμηση χρόνου και κόστους κατασκευής τοιχοποιιών

Το συνολικό κόστος κατασκευής των τοιχοποιιών της κατοικίας ανέρχεται στο ποσό των 3250 € περίπου. Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνονται η προμήθεια των υλικών και η κατασκευή των τοιχοποιιών από ένα συνεργείο. Η κατασκευή των τοίχων ολοκληρώνεται σε 37 ώρες δηλαδή σε περίπου 5 ημέρες (για οχτάωρη εργασία).



Εικόνα 73. Φέρων οργανισμός υφιστάμενης ισόγειας κατοικίας

Τέλος υπολογίζεται ο όγκος του σκυροδέματος

Κολώνα	Μήκος	Πλάτος	Ύψος	Όγκος σκυροδέματος
	m	m	m	m ³
K1	0.8	0.25	3.3	0.66
K2	1	0.25	3.3	0.83
K3	1	0.25	3.3	0.83
K4	0.8	0.25	3.3	0.66
K5	0.8	0.25	3.3	0.66
K6	0.8	0.25	3.3	0.66
K7	1.05	0.25	3.3	0.87
K8	0.4	0.4	3.3	0.53
K9	1.5	0.25	3.3	1.24
K10	1	0.25	3.3	0.83
K11	0.8	0.25	3.3	0.66
			ΣΥΝΟΛΟ	5.44

**Πίνακας 12. Όγκος σκυροδέματος
υποστυλωμάτων**

Δοκός	Μήκος	Πλάτος	Ύψος	Όγκος σκυροδέματος
	m	m	m	m ³
Δ1.1	5.05	0.25	0.5	0.63
Δ2.1	6.95	0.25	0.5	0.87
Δ3.1	5.8	0.25	0.5	0.73
Δ4.1	3.79	0.25	0.5	0.47
Δ4.2	3.21	0.25	0.5	0.40
Δ5.1	8.1	0.25	0.5	1.01
Δ6.1	3.66	0.25	0.5	0.46
Δ6.2	2.14	0.25	0.5	0.27
Δ7.1	2.25	0.25	0.5	0.28
Δ7.2	3.65	0.25	0.5	0.46
Δ7.3	2.65	0.25	0.5	0.33
Δ8.1	2.37	0.25	0.5	0.30
Δ8.2	3.63	0.25	0.5	0.45
			ΣΥΝΟΛΟ	2.54

Πίνακας 13. Όγκος σκυροδέματος

ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	7.98
ΚΟΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ €/m ³	300.00
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	2394.15
ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	5 ΗΜΕΡΕΣ

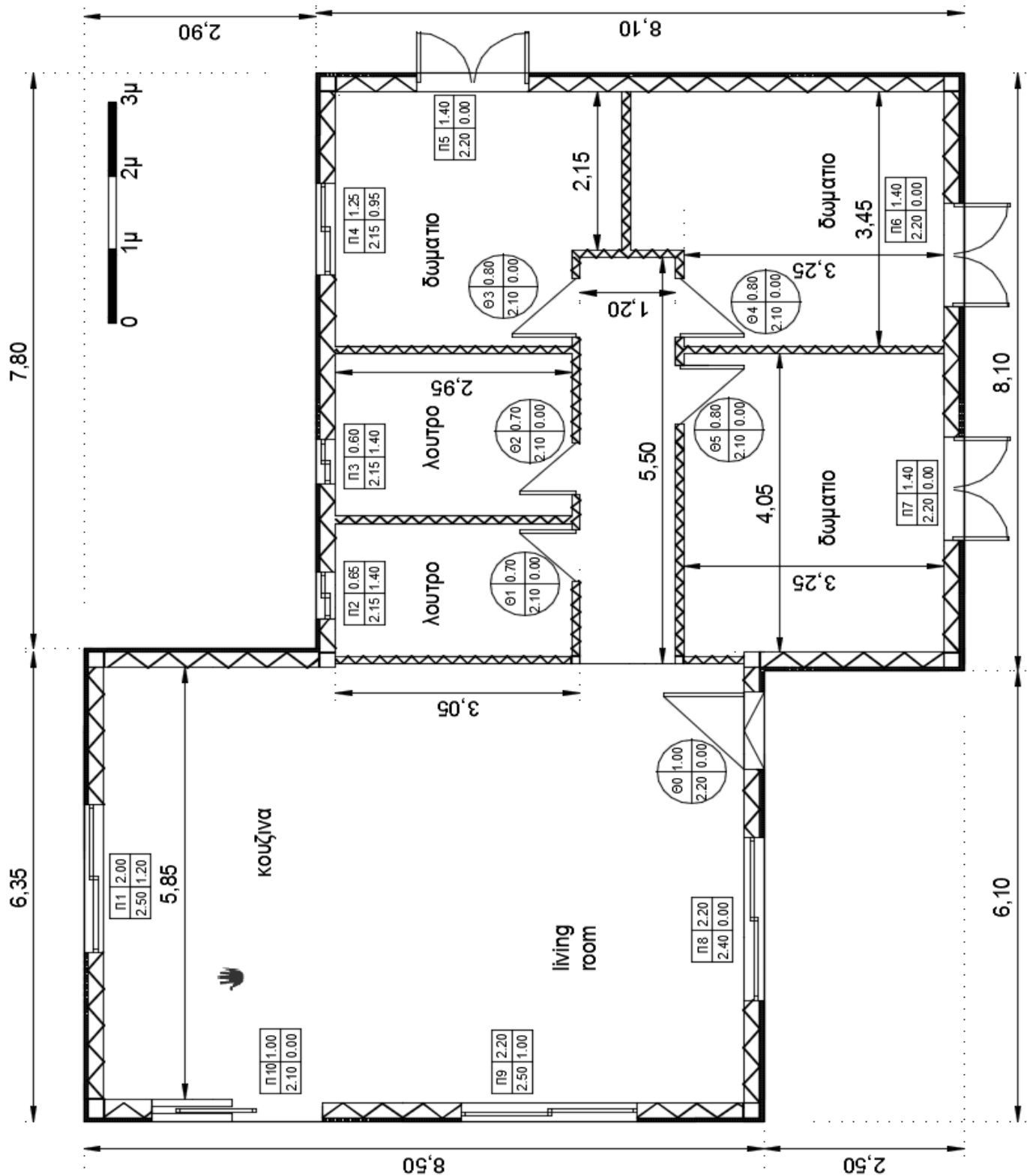
**Πίνακας 14. Συνολικός όγκος
σκυροδέματος**

Η συνολική απαιτούμενη ποσότητα σκυροδέματος για την κατασκευή των υποστλωμάτων και των δοκών του ισόγειου της κατοικίας (δεν έχει συμπεριληφθεί η θεμελίωση) είναι περίπου 8 κυβικά. Το κόστος του οπλισμένου σκυροδέματος εκτιμάται στην Ελλάδα στα 300 ευρώ ανά κυβικό μέτρο. Στην τιμή αυτή περιλαμβάνεται η τοποθέτηση των ξυλότυπων, η προμήθεια και τοποθέτηση του οπλισμού, η προμήθεια του σκυροδέματος και η σκυροδέτηση, το κόστος εργασίας, τα ένσημα και ο ΦΠΑ. Με βάση τα παραπάνω το συνολικό κόστος για το συγκεκριμένο κτίριο ανέρχεται στο ποσό των 2400 €. Ο χρόνος ολοκλήρωσης εκτιμάται στις 5 μέρες. Θεωρήθηκε για το συγκεκριμένο έργο ότι απαιτείται μία μέρα για την κατασκευή του ξυλότυπου, μία μέρα για το σιδέρωμα, μία μέρα για τη σκυροδέτηση και δύο μέρες για την αφαίρεση των ξυλότυπων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο απαιτούμενος χρόνος για την κατασκευή μίας κατοικίας εμβαδού

Συνολικά για την κατασκευή μίας ισόγειας κατοικίας εμβαδού περίπου 120 τμ απαιτούνται 10 μέρες για την ολοκλήρωση των στοιχείων από οπλισμένο σκυροδέμα και των τοιχοποιιών και το κόστος εκτιμάται στα 5650 €.

Ωστόσο, αν και οι εργασίες μπορούν να ολοκληρωθούν σε 10 μέρες (ή και λιγότερο ανάλογα με το πλήθος των ατόμων που εργάζονται) τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο να συντονιστούν τα επί μέρους συνεργεία και οι εργασίες, με αποτέλεσμα συνήθως να υπάρχουν καθυστερήσεις στην ολοκλήρωση του έργου.



Εικόνα 74. Κάτοψη κατοικίας με τη μέθοδο τρισδιάστατης εκτύπωσης

Για την ίδια κατοικία θεωρείται ότι οι τοιχοποιίες κατασκευάζονται με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Για την εκτίμηση του κόστους και του χρόνου

κατασκευής χρησιμοποιούνται τα δεδομένα που δίνονται στο τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας Aspiscor.

Προηγουμένως, στον έχουν υπολογιστεί τα εμβαδά των ανοιγμάτων (παράθυρα – πόρτες).

Ακολούθως υπολογίζονται ξανά τα εμβαδά των τοιχοποιιών. Για τον υπολογισμό αφαιρούνται τα ανοίγματα και ως ύψος λαμβάνεται το συνολικό ύψος του ορόφου.

Μήκος	Ύψος ορόφου	Εμβαδό τοίχου	Ανοίγματα	Εμβαδό ανοιγμάτων	Καθαρή επιφάνεια τοίχου
m	m	m ²		m ²	m ²
5.50	3.30	18.15	Θ1,Θ2,Θ3	4.62	13.53
5.50	3.30	18.15	Θ4,Θ5	3.36	14.79
2.15	3.30	7.10	-		7.10
3.05	3.30	10.07	-		10.07
3.05	3.30	10.07	-		10.07
3.05	3.30	10.07	-		10.07
1.20	3.30	3.96	-		3.96
0.85	3.30	2.81	-		2.81
3.25	3.30	10.73	-		10.73
ΣΥΝΟΛΟ					83.10

Πίνακας 15. Διαστάσεις εσωτερικών τοιχοποιιών

Μήκος	Ύψος ορόφου	Εμβαδό τοίχου	Ανοίγματα	Εμβαδό ανοιγμάτων	Καθαρή επιφάνεια τοίχου
m	m	m ²		m ²	m ²
6.35	3.30	20.96	Π1	2.6	18.36
2.90	3.30	9.57	-		9.57
7.80	3.30	25.74	Π2,Π3,Π4	2.44	23.30
8.10	3.30	26.73	Π5	3.08	23.65
8.10	3.30	26.73	Π6,Π7	6.16	20.57
2.50	3.30	8.25			8.25
6.10	3.30	20.13	Θ0,Π8	7.48	12.65
8.50	3.30	28.05	Π9,Π10	5.40	22.65
ΣΥΝΟΛΟ					139.00

Πίνακας 16. Διαστάσεις εξωτερικών τοιχοποιιών

Η συνολική επιφάνεια των τοιχοποιιών είναι κατά 62.95 τμ περισσότερες σε σχέση με πριν, δεδομένου ότι πλέον όλες οι τοιχοποιίες είναι από το ίδιο υλικό. Πριν μέρος των τοιχοποιιών ήταν από οπλισμένο σκυρόδεμα (δοκοί και υποστυλώματα).

	ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ(m ²)	83.10	139.00
ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ m ³ ανά 1m ² ΤΟΙΧΟΥ	0.079	0.11
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (m ³)	6.56	15.29
ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ (ώρες)/ (m ²)	0.3	0.42
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ (ώρες)	24.93	58.38
ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ (€/m ²)	7.88	11.02
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ (€)	654.828	1531.75

Πίνακας 17. Εκτίμηση χρόνου και κόστους κατασκευής τοιχοποιιών

Σύμφωνα με τα δεδομένα της εταιρείας Aspiscor εάν η εξεταζόμενη κατοικία κατασκευαζόταν με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης θα απαιτούταν για την ολοκλήρωσή της 24,93 ώρες για τις εσωτερικές τοιχοποιίες, 58,38 ώρες για τις εξωτερικές τοιχοποιίες δηλαδή στο σύνολο 83,81 ώρες που αντιστοιχεί σε 10,40 μέρες οχτάωρης εργασίας. Όπως αναλύθηκε και προηγουμένως ο απαιτούμενος χρόνος για την ολοκλήρωση της κατοικίας με συμβατικό τρόπο είναι περίπου ο ίδιος. Το κόστος σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνει η εταιρεία εκτιμάται στα 2186,58 €. Ενώ η τιμή αυτή είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με την τιμή που απαιτείται για την κατασκευή με το συμβατικό τρόπο δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για τη χώρα μας καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία για το κόστος χρήσης του συγκεκριμένου εξοπλισμού. Αναφέρεται ότι το κόστος μεταφοράς του εκτυπωτή, της μηχανής ανάμιξης και του silo στον τόπο του έργου μπορεί να αυξήσει πολύ το συνολικό κόστος κατασκευής.

Ωστόσο ο τρόπος εφαρμογής της μεθόδου την κάνει να πλεονεκτεί έναντι του παραδοσιακού τρόπου κατασκευής δεδομένου ότι:

- Είναι ευκολότερη στην εφαρμογή της
- Επιτρέπει το σχεδιασμό πολύπλοκων αρχιτεκτονικών σχημάτων
- Πρόκειται για αυτοματοποιημένη διαδικασία:
 - Μικρότερο κόστος – μεγαλύτερη παραγωγή
 - Περιορισμός λαθών
 - Μεγαλύτερη ασφάλεια
 - Μεγαλύτερη ακρίβεια
- Για την ολοκλήρωση της κατασκευής απαιτείται μόνο η μεταφορά του εκτυπωτή, της μηχανής ανάμιξης, του silo αποθήκευσης και του υλικού εκτύπωσης στον τόπο του έργου – δεν απαιτείται προμήθεια διαφορετικών υλικών
- Η κατασκευή μπορεί να γίνει μόλις από δύο άτομα χωρίς να απαιτούνται διαφορετικά συνεργεία που πολλές φορές είναι δύσκολο να συντονιστούν.
- Μειώνεται έτσι το πλήθος των εργατικών ατυχημάτων.
- Ο όγκος των απορριμμάτων είναι περιορισμένος.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν νέα ανακυκλώσιμα υλικά

Από την άλλη, όπως αναλύθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, το κόστος προμήθειας ενός τέτοιου εκτυπωτή είναι αρκετά μεγάλο. Δεδομένου μάλιστα ότι πρόκειται για μία νέα μέθοδο χρειάζεται συνεχής παρακολούθηση της διαδικασίας εκτύπωσης, ενώ δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία για το κόστος χρήσης και συντήρησης του εξοπλισμού. Μπορεί να υπάρχει εξοικονόμηση σε διάφορα επί μέρους στάδια της μεθόδου αλλά όταν υπολογίζεται το συνολικό κόστος εφαρμογής, φαίνεται ότι η μέθοδος δεν είναι τόσο ανταγωνιστική ακόμα. Υπάρχουν ακόμα πολλά που πρέπει να διερευνηθούν.

Απαιτείται συνεχής έρευνα για την ανάπτυξη υλικών κατάλληλων για εκτύπωση καθώς και νέων «κόμβων» παραγωγής των υλικών αυτών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί σε συνεργασία με την ακαδημαϊκή κοινότητα και με εμπόρους - προμηθευτές. Ήδη πολλές εταιρείες – κολοσσοί στον τομέα των υλικών και της

κατασκευής - έχουν ξεκινήσει να επενδύουν στην εφαρμογή της μεθόδου (Skanska, Sika, Caterpillar κτλ)

Η τεχνολογία αυτή φαίνεται ότι θα αποτελέσει το μέλλον της κατασκευής .Ωστόσο χρειάζονται ακόμα αρκετά βήματα προκειμένου να αυτοματοποιηθεί και να πιστοποιηθεί πλήρως τόσο η μέθοδος όσο και τα χρησιμοποιούμενα υλικά στην κατασκευή κατοικίας.

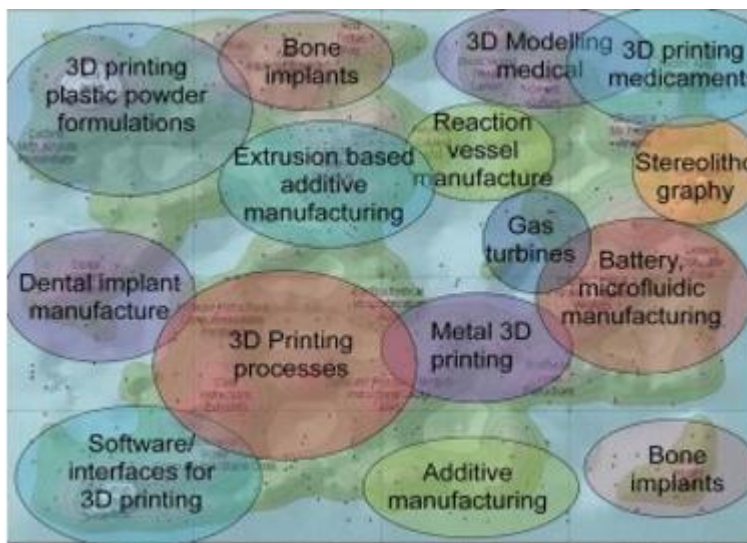
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η 3D εκτύπωση αποτελεί το μέλλον της παραγωγικής διαδικασίας. Στην εποχή μας, η έρευνα, ανάπτυξη και εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης συνεχίζεται με ταχύτατους ρυθμούς, σε πάρα πολλούς κλάδους με τεράστια περιθώρια

εξέλιξης. Ολοένα και περισσότερες χώρες την χρησιμοποιούν, με μεγαλύτερο χρήστη την

Αμερική. Οι τεράστιες δυνατότητες της εισέρχονται ολοένα και περισσότερο στη ζωή των ανθρώπων, φέρνοντας την επανάσταση στον τομέα της κατασκευής.

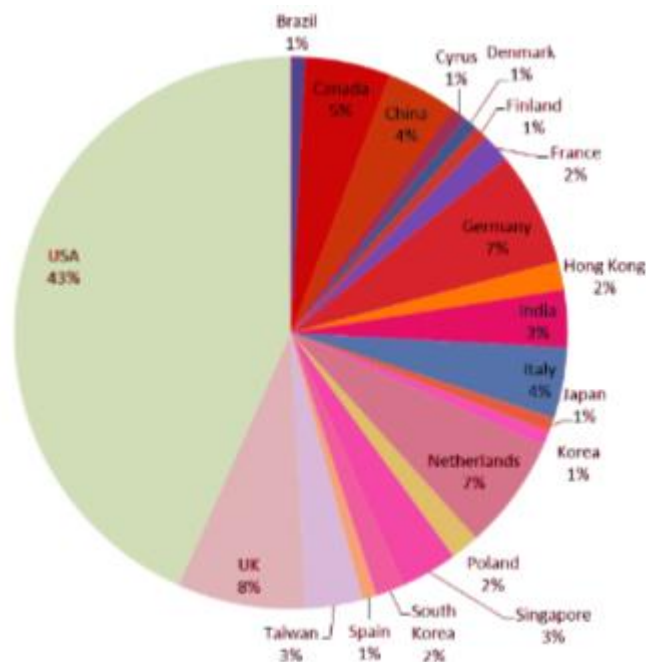
Δίνει τη δυνατότητα για ταχύτερη και οικονομικότερη δημιουργία προτύπων, χωρίς όμως να αποκλείεται η επέκταση στη βιομηχανική παραγωγή μικρής κλίμακας. Μπορεί να επιτευχθεί ιδιαίτερα σημαντική εξοικονόμηση υλικού και χρόνου, καθώς και μεγαλύτερη ακρίβεια κατασκευής σε πιο σύνθετα και πολύπλοκα εξαρτήματα, προσθέτοντας έτσι και το στρατηγικό πλεονέκτημα της ευελιξίας στο σχεδιασμό αντικειμένων. Ως εκ τούτου, είναι δυνατό να βελτιστοποιηθούν υπάρχοντα εξαρτήματα ή να κατασκευαστούν σύνθετα με σημαντικά μικρότερο αριθμό εξαρτημάτων, αυξάνοντας τη λειτουργικότητά τους και ελαχιστοποιώντας το χρόνο συναρμολόγησης και τη χρήση εργαλείων ή το κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Εικόνα . Χάρτης διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας σε τομείς ενδιαφέροντος

Πηγή: <https://www.3dnatives.com/bataille-brevets-limpression-3d-commencer/>

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η διαδικασία, και πραγματοποιήθηκε έρευνα των



Εικόνα. Χρήση της 3D εκτύπωσης
Πηγή:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.410.790&rep=rep1&type=pdf#page=13>

λογισμικών, των υλικών, των μεθόδων και των τεχνολογιών. Με την ανάλυση τους, συμπεραίνεται ότι υπάρχει μια ποικιλία λογισμικών, τεχνολογιών και υλικών που προσφέρονται στην αγορά, και ανάλογα με την απαιτήσεις του σχεδιασμού και της χρηστικότητα του έργου, θα υπάρχει πάντα επιλογή που να ταιριάζει στις ανάγκες.

Συμπερασματικά οι εφαρμογές σταματούν εκεί που σταματάει ο ανθρώπινος νους.

Στην Ελλάδα, παρά το φάσμα των εφαρμογών, δεν έχει γίνει ευρέως

αποδεκτή η τρισδιάστατη εκτύπωση. Πραγματοποιούνται περιορισμένα βήματα κυρίως στην κατασκευή κοσμημάτων, στις οδοντιατρικές εφαρμογές, στη μηχανολογία με τη δημιουργία καλουπιών, φλαντζών και στην ψυχαγωγία με τη δημιουργία μινιατουρών. Η χρήση της δεν έχει βρει σημαντική ανταπόκριση στην κατασκευή κτιρίων.

Από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν πληθώρα εφαρμογών σε παγκόσμιο επίπεδο. Κάποιες από αυτές ενδείκνυται να χρησιμοποιηθούν και στην αρχιτεκτονική τόσο στον τομέα της προτυποποίησης, όσο και στον τομέα των ανταλλακτικών που είναι μείζονος σημασίας για την αποστολή της αρχιτεκτονικής Αποθέματα ανταλλακτικών - εξαρτημάτων δεν χρειάζεται να διατηρούνται σε αποθήκες, τη στιγμή που μπορούν να αντικατασταθούν είτε μέσω της αντίστροφης σχεδίασης (Reverse engineering), είτε μέσω της επανασχεδίασης με 3D μοντέλα και με την δυνατότητα να ανταποκρίνονται άμεσα στις ανάγκες, όταν αυτές το επιβάλλουν. Ο προγραμματισμός των αναγκών, οι δαπάνες και η

γραφειοκρατία μπορούν να μειωθούν στο σκέλος της προμήθειας-εγκατάστασης του εκτυπωτή, του υλικού κατασκευής και της συντήρησης του εκτυπωτή.

Αρχικά θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μελέτη σχετικά με τα ανταλλακτικά - εξαρτήματα κατηγοριοποιώντας τα κατά πόσο είναι μεγάλου κόστους απόκτησης, μεγάλης αναμονής παράδοσης, δυσεύρετα λόγω παλαιότητας, μείζονος σημασίας για άμεση χορήγηση. Επιπρόσθετα θα πρέπει να εγκατασταθεί κατάλληλος εκτυπωτής, βιομηχανικού τύπου σε Κεντρική Τεχνική Βάση, καθώς και να γίνει προμήθεια επαγγελματικού σαρωτή. Με βάση τα ανωτέρω δύναται να ξεκινήσει η δημιουργία βάσης δεδομένων - αποθετήριο 3D μοντέλων, για τα ανταλλακτικά που θα επιλεγούν, μέσω της αντίστροφης σχεδίασης (Reverse engineering), της επανασχεδίασης και της βελτιστοποίησης. Πέραν των ανωτέρω σε δεύτερο βαθμό η διαδικασία αυτή μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες εγκαταστάσεις, οι οποίες θα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ενός κοινού εσωτερικού δικτύου για διαμοιρασμό δεδομένων παραγωγής, από μία βάση δεδομένων και για ανταλλαγή της τεχνογνωσίας.

Εν κατακλείδι η υιοθέτηση της 3D εκτύπωσης από την αρχιτεκτονική είναι ιδιαίτερη σημαντική. Ωστόσο το υψηλό αρχικό κόστος προμήθειας και ο κίνδυνος που συνδέεται με τη χρήση τους (έλλειψη τεχνογνωσίας και πιστοποίησης ποιότητας των εκτυπωμένων εξαρτημάτων) εξακολουθούν να περιορίζουν τη διάδοσή τους. Η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης είναι σε σχετικά πρώιμο στάδιο, και μπορεί να περάσουν χρόνια ή δεκαετίες πριν μπορέσει να επιτύχει επίπεδα εμπιστοσύνης συγκρίσιμα με εκείνα που διατίθενται από τις συμβατικές διαδικασίες κατασκευής.

Γενικότερα η τεχνολογία είναι εγγενώς μια βασική πτυχή του πολέμου, αλλά η τεχνολογική αλλαγή, από μόνη της, δεν αρκεί για να επιφέρει επιτυχημένη στρατιωτική καινοτομία. Η αρχιτεκτονική θα αποκομίσει τα πλήρη οφέλη των αναφερομένων υπάρχουσών ή μελλοντικών τεχνολογικών λύσεων, μόνο εφόσον προβεί σε ουσιαστική οργάνωση και μεταρρύθμιση.

Βιβλιογραφία

- Anastasiou A, Tsirmpas C, Rompas A, Giokas K, Koutsouris D, (2013), *3D Printing: Basic concepts Mathematics and Technologies*, School of Electrical and Computer Engineering National Technical University of Athens, Athens <https://pdfs.semanticscholar.org/3865/7486320e82081935ac20bcac95acb44073d9.pdf>
- Ed Forrest & Yong Cao, (2013), *Digital Additive Manufacturing: A Paradigm Shift in the Production Process and Its Socio-economic Impacts*, University of Alaska Anchorage, Anchorage <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/emr/article/view/312703>
- Elizabeth Matias, Bharat Rao. (2015). *3D Printing: On Its Historical Evolution and the Implications for Business*, New York University Polytechnic School of Engineering, New York, <https://nyuscholars.nyu.edu/en/publications/3d-printing-on-its-historical-evolution-and-the-implications-for--2>
- Georgia Institute of Technology, 813 Ferst Drive, NW, Atlanta, GA 30332-0405, United States *Cloud manufacturing: Strategic vision and state-of-the-art* , Dazhong Wu, Matthew John Greer, David W. Rosen, Dirk Schaefer *The George W. Woodruff School of Mechanical Engineering, https://www.insight.tech/industrial?cid=sem43700027892988831&intel_term=%2Bmanufacturing+%2Bengineering&gclid=EAIaIQobChMI7Kf8rdrN2QIVrZPtCh1qHQT1EAAYAiAAEgJuVPD_BwE&gclsrc=aw.ds
- Henrik Lund – Nielsen , 3D Construction Printing. A worldwide overview. The Danish Partnership for 3D Construction Printing,. MBA
- Jim Kor, (2013), *New Energy Efficient Car Built With 3d Printing*, Stratasys 3D Printers Build Urbee, First Prototype Car to Have Entire Body Created with an Additive Process, Israel, <http://www.javelin-tech.com/3d-printer/3dp-promotion-fortus-380mc/>
- Scott Crump, *Is Now The Time To Try Direct Digital Manufacturing? You can Reap Major Savings With This Growing Trend. Take Your First Small Step Today*, White Paper, Stratasys, Israel, http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Secure/White%20Papers/Rebrande d/SSYS_WP_direct_digital_manufacturing_part_three_identify.pdf?v=635334289469047013
- Terry Wohlers and Tim Gornet, (2012), *History of additive manufacturing*, Wohlers Associates, Inc, <http://www.wohlersassociates.com/history2014.pdf>

Άρθρα

- Article in Science Direct: “3D printing of buildings and buildings components as the future of sustainable construction”, Izabela Hager, Anna Golonka, Roman Putanowic <http://www.kathimerini.gr/806376/article/tecnologia/gadgets/ktiria-ftiagmena-apo-3d-ektypwtes>

Article in ScienceDirect: “Building site organization with 3D Technology in Use”, Anna Sobotka, Katazyna Pacewica

Article “Automated Construction by contour crafting”, Piyush Sharma, Department of Civil Engineering, Dronacharya College of Engineering Maharishi Dayanand University, Haryana, India

Από την Κλασσική στην Τρισδιάστατη Εκτύπωση: Αρχές και Εφαρμογές, http://1lyk-peirthess.thess.sch.gr/portal/files/Apo_tin_klassiki_stin_3d_ektiposi_2013.pdf

Εταιρία τυπώνει 10 οικίες σε λιγότερο από μία μέρα και με κόστος «ψίχουλα», <https://www.newsbeast.gr/technology/arthro/672421/to-trisdiastato-tupoma-spition-ginetai-paihnidaki>

Dana Goldenberg, (Σεπ, 2014), History of 3D Printing: It’s Older Than You Are (That Is, If You’re Under 30), ανάκτηση από <https://redshift.autodesk.com/history-of-3dprinting/>

Grynol Benjamin, Disruptive manufacturing, The effects of 3D printing, ανάκτηση από <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/insights-andissues/ca-en-insights-issues-disruptive-manufacturing.pdf>

Ρωσία: 3D εκτυπωτής έχτισε σπίτι σε 24 ώρες, <http://www.ert.gr/eidiseis/epistimi/rosia-3d-ektypotis-echtise-spiti-se-24-ores-video/>

The Authority on 3d printing, ανάκτηση από <https://3dprintingindustry.com/>

“Winsun, Demonstrating the Viability of 3D Printing at Construction Scale”, Case Study prepared by the Boston Consulting Group as part of the Future of Construction Project at the World Economic Forum

Ηλεκτρονικές πηγές

<http://apis-cor.com/en/>

http://apis-cor.com/files/ApisCor_TechnologyDescription_en

http://apis-cor.com/files/ApisCor_presentation_en.pdf

<http://www.winsun3d.com/En/https://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/>

<https://www.provada.nl/future/#/company/yingchuang-winsun>

<https://d-shape.com/>

<http://www.totalkustom.com/>

<http://contourcrafting.com/>

<http://www.batiweb.com/actualites/vie-des-societes/nantes-inaugure-une-maison-construite-par-un-robot-imprimante-3d-22-03-2018-32262.html>

<http://tvxs.gr/news/eyropi-eop/proto-spiti-apo-rompotiko-3d-ektypoti-proorizetai-gia-koinoniki-stegasi-binteo>

<http://3dprintcanalhouse.com/>

<https://cybe.eu/3d-concrete-printers/#1520598995653-b920b6e9-3fb9>

https://medium.com/@Nik_chen/what-is-construction-3d-printing-perspectives-and-challenges-5b57170c2a29

<https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/apis-cor-3d-printer/>