



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : ΔΙΟΙΚΗΣΗ LOGISTICS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 3D PRINTING - CLOUD MANUFACTURING



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΑΓΓΕΛΟΣ ΒΑΣΙΛΑΣ (L1312)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΤΣΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας το ταξίδι μου ως φοιτητής τελειώνει. Δεν μπορώ να πω ότι ήταν εύκολο, και αν δεν υπήρχαν κοντινοί μου άνθρωποι που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια ίσως και να μην έφτανε μέχρι εδώ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Γιαννατσή, για την ανάθεση αλλά και επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας, για την αμέριστη βοήθεια και υποστήριξη που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια αυτής αλλά και για τις στοχευμένες παρεμβάσεις του.

Ευχαριστώ, επίσης, θερμά την οικογένεια μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια, πρώτα σαν μαθητή και μετά σαν φοιτητή, κάνοντας εμένα κυρίως καλύτερο άνθρωπο.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου, που σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και κατά την σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μου παρείχαν πολύτιμη βοήθεια.

Νοέμβριος 2015

Άγγελος Βασιλάς

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Πριν από μερικά χρόνια είχα την τύχη να παρακολουθήσω τις προπτυχιακές σπουδές του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και στη συνέχεια να επιλεχθώ στο διετές Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς με αντικείμενο τη Διοίκηση Εφοδιαστικής Αλυσίδας – Logistics. Μέσα από το μεταπτυχιακό πρόγραμμα αισθάνθηκα ότι μου δόθηκε η ευκαιρία να μελετήσω έναν τομέα που μέχρι τότε είχα γνωρίσει ελάχιστα μέσα από τις προπτυχιακές σπουδές .

Πράγματι μέσα από την επιστημονική μου ενασχόληση, κατέληξα στο συμπέρασμα πως τα Logistics αποτελούν έναν από τους πλέον γοητευτικούς τομείς στη διοίκηση των επιχειρήσεων. Με λίγα χρόνια παρουσίας και δράσης ειδικά στην Ελλάδα έχει καταφέρει να αποτελέσει το επίκεντρο των εξελίξεων αγγίζοντας ολόένα και περισσότερο το ενδιαφέρον των σύγχρονων επιχειρήσεων που κύριο μέλημα τους πλέον είναι η εξοικονόμηση πόρων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως οι στρατηγικές επιλογές των επιχειρήσεων έχουν σημειώσει σημαντικές διαφοροποιήσεις τα τελευταία χρόνια λόγω της οικονομικής ύφεσης.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες η εργασία αυτή αποτέλεσε για εμένα μία επιπλέον προσπάθεια να ανακαλύψω γνώσεις και εμπειρίες σε θεματικά αντικείμενα που μέχρι πρόσφατα δεν γνώριζα. Βέβαια ο ενθουσιασμός μου, η θέληση να πετύχω και η καθοδήγηση από τους καθηγητές μου στάθηκαν βασικοί πυλώνες στη πραγματοποίηση αυτού του στόχου.

Στόχος αυτής της εργασίας είναι να καλύψει όσο το δυνατόν περισσότερη βιβλιογραφία αρθρογραφία στο αντικείμενο που εξετάζει αλλά και να αποτυπώσει σε πραγματική διάσταση το αντικείμενο εξέτασης δίνοντας χρήσιμα συμπεράσματα για παρουσίαση και χρησιμοποίηση τους από τους αναγνώστες για ακαδημαϊκή ή άλλη χρήση.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΣΥΝΟΨΗ	7
ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	10
2.1 CLOUD MANUFACTURING – CLOUD COMPUTING	10
2.2 ΔΟΜΗ CLOUD MANUFACTURING	14
2.2.1 Χρήστες (Τελικοί Καταναλωτές)	14
2.2.2 Πάροχοι εφαρμογών	15
2.2.3 Πάροχοι Φυσικών Πόρων (PRPs).....	15
2.3 CLOUD-BASED DESIGN AND MANUFACTURING (CBDM)	17
2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ CLOUD MANUFACTURING	18
2.4.1 Πελατοκεντρική παραγωγή	18
2.4.2 Ευρεία εφαρμογή	20
2.4.3 Παραγωγή καθοδηγούμενη από τη ζήτηση και την νοημοσύνη.....	21
2.4.4 Κοινόχρηστος φόρτος, κοινόχρηστα οφέλη	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΝΕΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ	23
3.1 DISTRIBUTED SYSTEMS - ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	23
3.1.1 Πλεονεκτήματα για τη βιομηχανία	24
3.1.2 Πλεονεκτήματα για τον καταναλωτή	24
3.1.3 Η επανάκαμψη του τοπικού στην παραγωγή	24
3.1.4 Κατανεμημένη παραγωγή και δίκτυα ψηφιακού σχεδιασμού	25
3.2 3D PRINTING – ΤΑΧΕΙΑ ΠΡΟΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ	26
3.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	29
3.3.1 Fused Deposition Modeling (FDM)	29
3.3.2 Stereolithography (SLA).....	30
3.4 ΥΛΙΚΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	30
3.4.1 PLA Θερμοπλαστικό (Fused Deposition Modeling)	30
3.4.2 ABS Θερμοπλαστικό (Fused Deposition Modeling)	30
3.5 ΑΝΑΛΥΣΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	31
3.5.1 Fused Deposition Modeling	31
3.5.2 Stereolithography	31
3.6 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	32
3.7 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	33
3.8 ΕΙΔΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΣΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	36
4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	36
4.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	36
4.2.1 Injection Molding (IM) (χύτευση με έγχυση υλικού)	37
4.2.2 CNC Machining (Κατεργασία CNC)	37
4.2.3 Plastic Forming (PF) (Πλαστική διαμόρφωση).....	37
4.2.4 Plastic Joining (Ένωση πλαστικών)	38
4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	39
4.3.1 Ποσότητα παραγωγής	39
4.3.2 Απαιτούμενος χρόνος παραγωγής	40
4.3.3 Σχήμα και πολυπλοκότητα αντικειμένου	41
4.3.4 Υλικό κατασκευής	41

4.3.5	Τεχνικές προδιαγραφές	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ		44
5.1	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	47
5.2	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	48
5.3	ΜΕΘΟΔΟΙ DISTRIBUTED MANUFACTURING	49
5.4	ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.	49
5.5	ΕΠΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.....	50
5.6	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΤΩΝ 2 ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ Η ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....		54
6.1	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	54
6.2	ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ	55
6.3	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	55
6.4	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ.	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....		57
7.1	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....	57
7.2	CLOUD MANUFACTURING.....	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		60

ΣΥΝΟΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση μίας γραμμής παραγωγής μέσω κατανεμημένων συστημάτων από εκτυπωτές τριών διαστάσεων βρίσκοντας πόρους μέσω του σύννεφου ή αλλιώς κάνοντας χρήση της επαναστατικής μεθόδου cloud manufacturing με σκοπό να βρεθεί ο βαθμός επίπτωσης που μπορεί να έχει στο περιβάλλον και να συγκριθεί με το βαθμό επίπτωσης που αυτή τη στιγμή η κλασική μέθοδος παραγωγής έχει. Ενδεικτικά λοιπόν πήραμε 3 προϊόντα που είναι ευρείας κατανάλωσης και μπορούν να κατασκευαστούν και με τις 2 μεθόδους παραγωγής και συγκρίναμε την ενέργεια που απαιτείται για να κατασκευαστεί καθένα από αυτά καθώς και κάποιες άλλες παραμέτρους που ελέγχθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Cloud manufacturing, Κατανεμημένα συστήματα παραγωγής, Εκτυπωτές 3 διαστάσεων, Εκτυπωτές RepRap, Γραμμή παραγωγής, Περιβαλλοντική επίπτωση

ABSTRACT

The subject of this paper is the evaluation of a product line through distributed systems of three-dimensional printers which finds resources through the cloud or otherwise making use of the revolutionary method called “cloud manufacturing” in order to find the degree of impact that may have on the environment and to compare it with the environmental impact that this time the classical method of production has. Therefore we took 3 indicative products of wide consumption and can be built with 2 production methods and we compared the energy needed to construct each of them as well as some other parameters monitored in this thesis.

KEYWORDS:

Cloud manufacturing, Distributed systems, 3D Printing, Rep Rap printers, production line, environmental impact

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα κάνουμε μία ανάλυση της ιδέας της «παραγωγής μέσω του σύννεφου» (χρησιμοποιώντας κατανεμημένα συστήματα αποτελούμενα από 3D printers) γνωστό στην αγγλική γλώσσα ως “cloud manufacturing” και θα γίνει μία σύγκριση με την κλασική γραμμή παραγωγής για κάποια συγκεκριμένα προϊόντα ευρείας κατανάλωσης.

Αρχικά θα γίνει μία βιβλιογραφική ανασκόπηση πάνω στη μέθοδο του Cloud manufacturing. Θα δοθούν ορισμοί και θα γίνει ανάλυση των εννοιών που περικλείουν την ιδέα αυτή και πιο συγκεκριμένα η ανάλυση ενός κατανεμημένου συστήματος καθώς και της εκτύπωσης τριών διαστάσεων. Επίσης θα παρουσιαστεί συνοπτικά η κλασική μέθοδος παραγωγής, αλλά και οι τρόποι με τους οποίους κατασκευάζεται ένα προϊόν, κατά κύριο λόγο από πλαστικό υλικό.

Στη συνέχεια θα γίνει σύγκριση της κλασικής γραμμής παραγωγής σε σχέση με αυτή των κατανεμημένων συστημάτων και θα μετρηθεί ενδεικτικά η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ενός ή περισσότερων προϊόντων τα οποία θα επιλέξουμε ενδεικτικά.

Έπειτα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της σύγκρισης των 2 μεθόδων και η επίπτωση που η κάθε μία έχει στο περιβάλλον προσεγγιστικά.

Θα γίνει μία αναφορά σε κάποια χαρακτηριστικά της εφοδιαστικής αλυσίδας όπως την πρόβλεψη ζήτησης, το lead time, τον απαιτούμενο χρόνο κατασκευής, την επίπτωση στο περιβάλλον μετρώντας την ενέργεια και τους ρύπους CO₂.

Στο τέλος θα αναφερθούμε στα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία και θα δοθούν σημεία για περαιτέρω έρευνα πάνω στο αντικείμενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 CLOUD MANUFACTURING – CLOUD COMPUTING

Η δύναμη της παγκοσμιοποίησης έχει καταφέρει να συνδέσει απ' ευθείας λαούς από όλη την υδρόγειο, φέρνοντας μαζί σημαντικές ευκαιρίες αλλαγής με σκοπό το διαμοιρασμό γνώσης και εμπειρίας, πάντα με συλλογικά οφέλη. Ο Friedman [1] εξηγεί ότι η πιο πρόσφατη φάση παγκοσμιοποίησης, άρχισε γύρω στο έτος 2000 και επιτράπηκε από την επέκταση του Διαδικτύου σε παγκόσμια βάση. Σύμφωνα με τον Friedman, η παγκοσμιοποίηση 3.0 –όπως αποκαλείται- ορίζεται από τα άτομα και τις μικρές ομάδες που συνεργάζονται σε περιοχές που κάποτε αποτελούταν από λιγότερο-συνδεδεμένες δυτικές οικονομίες.

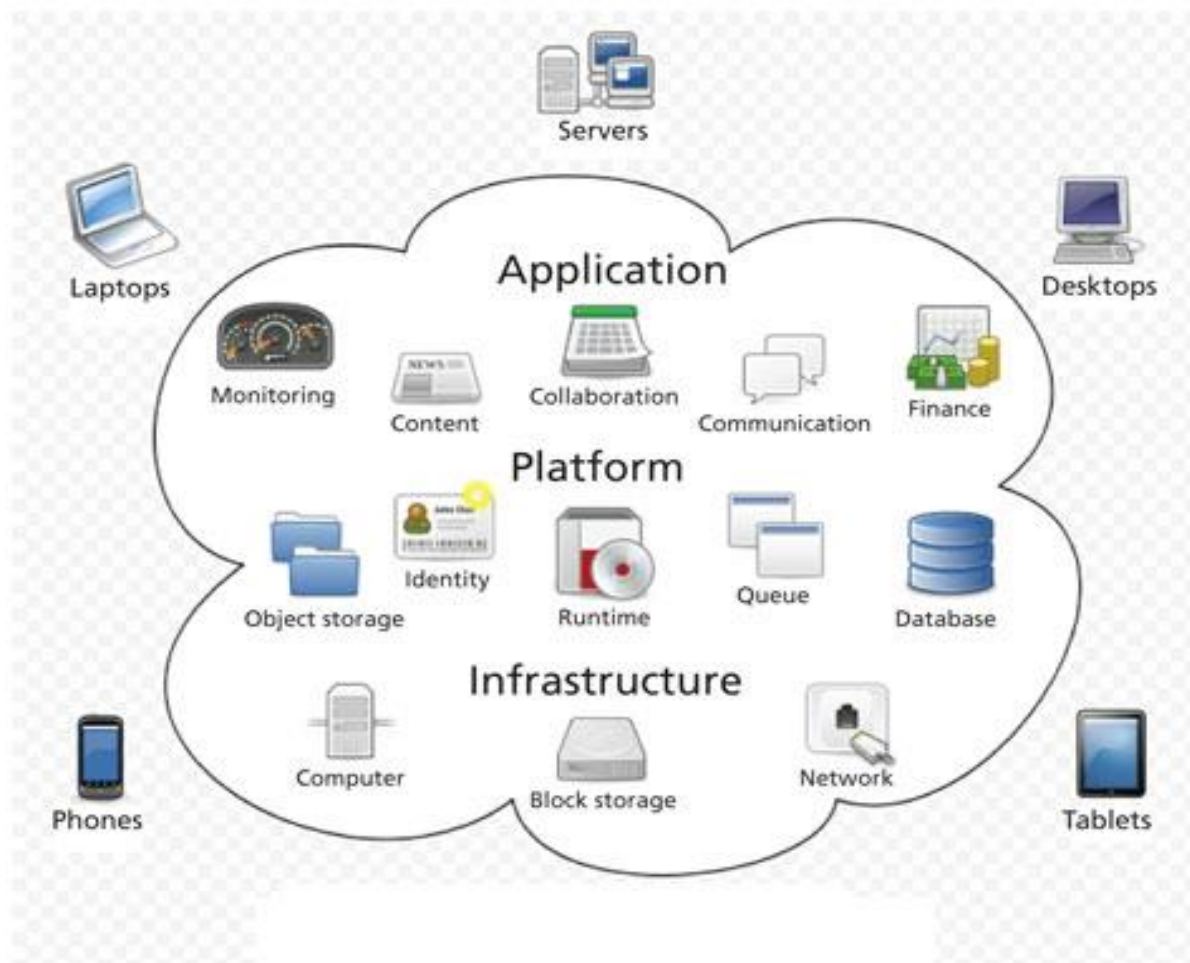
Η έννοια του cloud manufacturing ή αλλιώς παραγωγή μέσω του σύννεφου είναι μία έννοια σχετικά καινούργια που έκανε την εμφάνιση της και είχε προταθεί από μία ερευνητική ομάδα με επικεφαλής τον καθηγητή Μπο Χου Λι και τον καθηγητή Λιν Ζανγκ στην Κίνα το 2009.[1]

Το Cloud manufacturing είναι ένα νέο κατασκευαστικό πρότυπο που αναπτύχθηκε από τα υπάρχοντα μοντέλα παραγωγής και τεχνολογιών στο πλαίσιο της στήριξης του cloud computing και είναι προσανατολισμένο στην παροχή υπηρεσιών και προηγμένων τεχνολογιών πληροφορικής.

Το National Institute of Standards and Technology (NIST) προσφέρει τον παρακάτω ορισμό για το cloud computing:

“Το Cloud computing είναι ένα μοντέλο για να καταστεί δυνατή η κατόπιν παραγγελίας πρόσβαση σε μια κοινόχρηστη βάση υπολογιστικών πόρων (π.χ., δίκτυα, διακομιστές, συστήματα αποθήκευσης, εφαρμογές και υπηρεσίες) που μπορεί γρήγορα να προσπελαστεί με ελάχιστη προσπάθεια ή αλληλεπίδραση με τον διακομιστή.”

Cloud computing



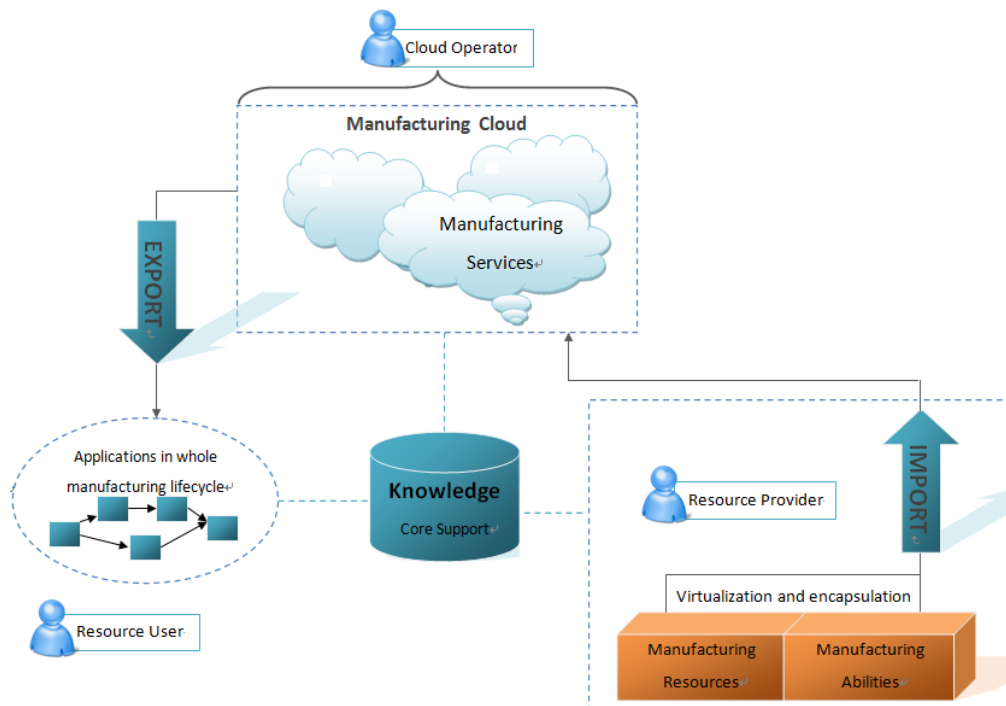
Διάγραμμα ροής 2 : Cloud computing

Με βάση τον ορισμό του N.I.S.T. που δόθηκε προηγουμένως για το cloud computing, πολλοί συγγραφείς έχουν προτεινόμενους ορισμούς για το cloud manufacturing, συμπεριλαμβανομένων των Li et al., Zhang et al., Xu, Wu et al. [1,3], και Schaefer et al. [3]. Ο όρος, “κατασκευή μέσω του σύννεφου” χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Li et al. το 2010. Ο Xu διακρίνει μεταξύ δύο μορφών παραγωγής μέσω του σύννεφου: την εισαγωγή των τεχνολογιών cloud computing στο περιβάλλον παρασκευής και το cloud manufacturing. Το τελευταίο είναι μια αναπαραγωγή του περιβάλλοντος cloud computing χρησιμοποιώντας φυσικούς πόρους κατασκευής αντί για υπολογιστικούς πόρους.

Το cloud manufacturing μετατρέπει τους πόρους κατασκευής σε παραγωγικές δυνατότητες στις υπηρεσίες της κατασκευής, το οποίο μπορεί να διαχειρίζεται και να λειτουργεί με έξυπνο και ενιαίο τρόπο για να καταστεί δυνατή την πλήρη ανταλλαγή και κυκλοφορία των πληροφοριών παραγωγής και των δυνατοτήτων αυτής.

Το κατασκευαστικό αυτό πρότυπο μπορεί να παρέχει ασφαλές και αξιόπιστες, υψηλής ποιότητας, φθηνές υπηρεσίες παραγωγής για ολόκληρη τη διάρκεια ζωής της «κατασκευής».

Η ιδέα της «κατασκευής» εδώ αναφέρεται σε μία ολοκληρωμένη γραμμή παραγωγής που περιλαμβάνει το σύνολο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος όπως τον σχεδιασμό, την προσομοίωση, την παραγωγή, τη δοκιμή, τη συντήρηση, την ανατροφοδότηση.



Διάγραμμα ροής 1 : Cloud manufacturing

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τον ορισμό από το N.I.S.T. σαν θεμέλιο μπορούμε να καταλήξουμε σε έναν ορισμό σύμφωνα με τον οποίο:

“Η κατασκευή μέσω του σύννεφου (Cloud Manufacturing) είναι ένα είδος παράλληλου, δικτυωμένου και κατανεμημένου συστήματος που αποτελείται από ολοκληρωμένες υπηρεσίες που συνδέονται μεταξύ τους εικονικά, χρησιμοποιώντας τους πόρους παραγωγής και δυνατότητες έξυπνης διαχείρισης με σκοπό την παροχή λύσεων για όλους τους χρήστες που εμπλέκονται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής της «κατασκευής»”. [Wikipedia] [1,2]

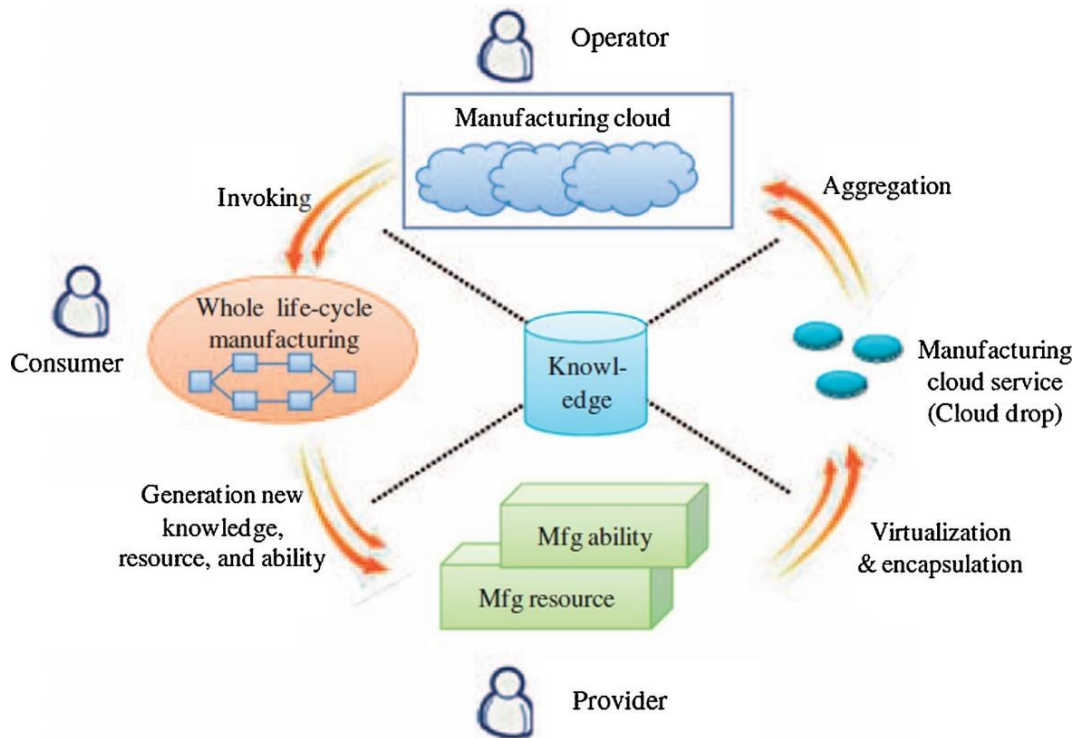
Το cloud manufacturing έχει ευρύ πεδίο εφαρμογής που περιλαμβάνει την παραγωγή, τη διαχείριση, το σχεδιασμό και την υλοποίηση μιας κατασκευαστικής ιδέας.

Σε αντίθεση με την πληροφορική και την αποθήκευση δεδομένων που είναι το Cloud Computing στο οποίο αναφερθήκαμε προηγουμένως (Διάγραμμα ροής 2) , στην κατασκευή εμπλέκονται πολλές μεταβλητές όπως ο υλικός εξοπλισμός για την παραγωγή, οι θρόνες, τα υλικά που χρειαζόμαστε και ούτω καθεξής. Σε αυτό τον τύπο του συστήματος παραγωγής που εμείς περιγράφουμε, εφαρμόζονται οι υλικές όσο και οι μη-υλικές εγκαταστάσεις στο σύννεφο με σκοπό την υποστήριξη του συνόλου της αλυσίδας εφοδιασμού, κάτι που το καθιστά στις μέρες μας απαραίτητο εργαλείο για μία επιχείρηση. Οι δαπανηροί πόροι διαμοιράζονται στο δίκτυο πράγμα που σημαίνει ότι το ποσοστό χρησιμοποίησης του εξοπλισμού που σπάνια χρησιμοποιείται αυξάνεται και το κόστος του ακριβού εξοπλισμού μειώνεται. Σύμφωνα με την έννοια της τεχνολογίας σύννεφου, δεν θα υπάρχει άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ χρηστών του και των παρόχων υπηρεσιών. Ο χρήστης δεν πρέπει ούτε να διαχειρίζεται ούτε να έχει τον έλεγχο των υποδομών και των βιομηχανικών εφαρμογών. Για την ακρίβεια μπορούμε να πούμε ακόμα και ότι ο χρήστης μπορεί να θεωρηθεί μέρος των υποδομών και των εφαρμογών.

Στο σύστημα αυτό, διάφοροι κατασκευαστικοί πόροι και δυνατότητες μπορούν έξυπνα να συνδεθούν στο ευρύτερο Διαδίκτυο, να διαχειριστούν αυτόματα και να ελεγχθούν κάνοντας χρήση τεχνολογιών Ίντερνετ (π.χ. RFID, ενσύρματο και ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, ολοκληρωμένο σύστημα - υπολογιστής). Στη συνέχεια, οι πόροι και οι δυνατότητες αυτές μπαίνουν εικονικά σε διάφορες υπηρεσίες στο σύννεφο, μπορούν να προσπελαστούν ανα πάσα στιγμή, και να αναπτυχθούν με βάση τη γνώση με τη χρήση τεχνολογιών εικονικοποίησης, τεχνολογίες προσανατολισμένες στην υπηρεσίες του χρήστη, και τεχνολογίες cloud computing.

Οι υπηρεσίες αυτές ταξινομούνται και κατανέμονται σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες και αλγόριθμους, και δημιουργούνται διαφορετικά είδη νέφους. Διαφορετικοί χρήστες μπορούν να αναζητήσουν και να επιλέξουν να κατεβάσουν πληροφορίες από τα αντίστοιχα νέφη, σύμφωνα με τις ανάγκες τους.[2]

2.2 ΔΟΜΗ CLOUD MANUFACTURING



Cloud manufacturing abstract.

Στο Cloud manufacturing απαιτείται αλληλεπίδραση μεταξύ 3 κατηγοριών: τους καταναλωτές, τους παρόχους εφαρμογών, και των φυσικών παρόχων πόρων. Οι ανάγκες των καταναλωτών πρέπει να συμφωνούν με τις δυνατότητες των παρόχων κατά την εφαρμογή της κατασκευής. Αυτό το τριμελές μοντέλο αντιπροσωπεύει την απλή αγορά της προσφοράς και της ζήτησης που θα δώσει κίνητρα για την ύπαρξη της παραγωγής μέσω του σύννεφου. Στο διάγραμμα 3 φαίνεται το μοντέλο γραφικά.

2.2.1 Χρήστες (Τελικοί Καταναλωτές)

Οι χρήστες είναι οι καταναλωτές στο CM: Αυτά τα άτομα ή οι ομάδες έχουν την ανάγκη να κατασκευάσουν κάτι, αλλά δεν διαθέτουν τις δυνατότητες να το πράξουν, ή διαθέτουν τις ικανότητες αλλά θέλουν να κερδίσουν ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μέσα από την αξιοποίηση του CM. Οι χρήστες μπορεί να είναι από ιδιώτες μέχρι μεγάλες ανώνυμες εταιρίες - κάθε ομάδα που μπορεί να δημιουργήσει τεχνικές απαιτήσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κατασκευαστές που συμμετέχουν σε ένα περιβάλλον CM. Αυτές οι τεχνικές απαιτήσεις, οι

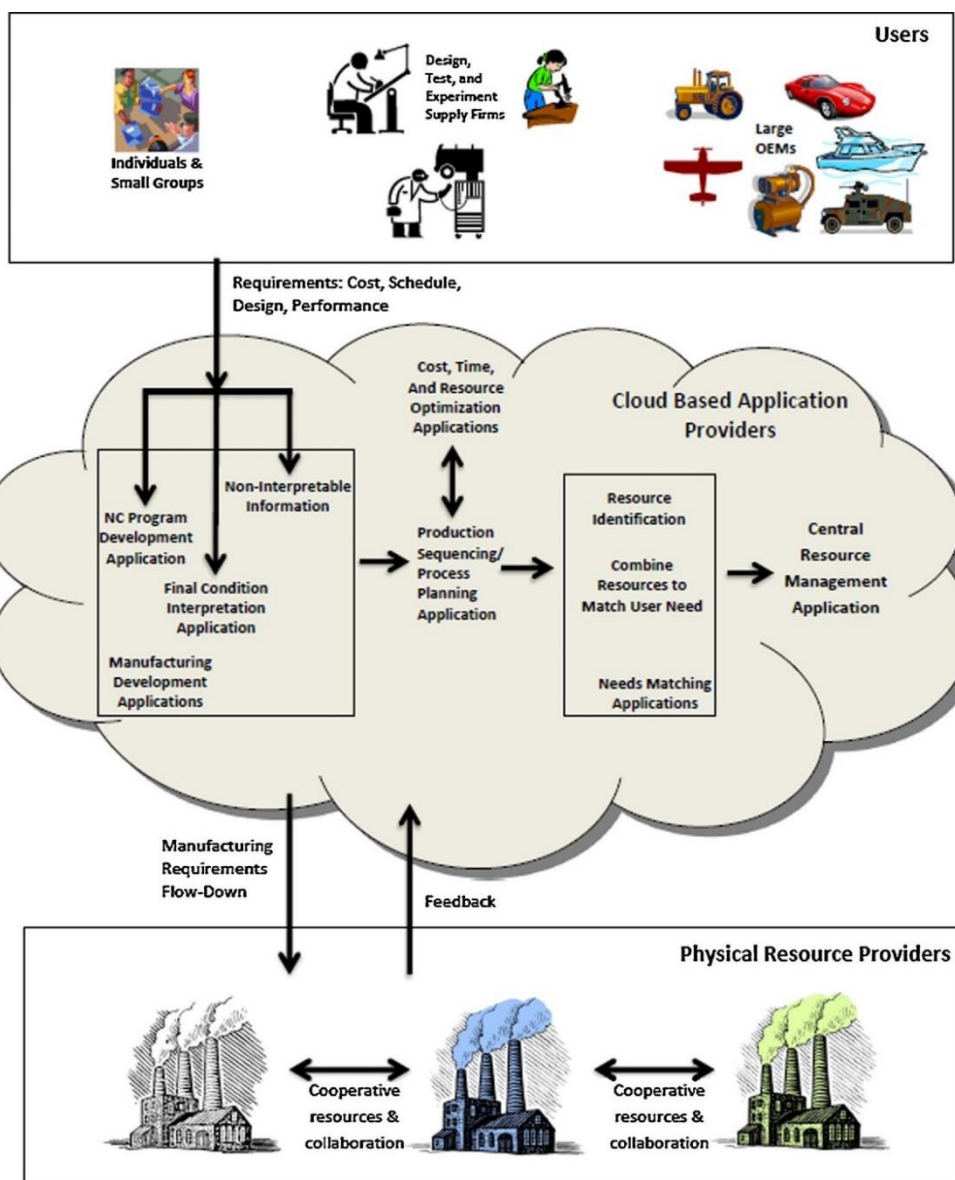
οποίες περιγράφουν το επιθυμητό τελικό αντικείμενο παρέχονται στο σύννεφο βασίζονται στην εφαρμογή του στρώματος αίτησης ερμηνείας.

2.2.2 Πάροχοι εφαρμογών

Το στρώμα εφαρμογής που έχει σαν βάση το σύννεφο είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση όλων των πτυχών του περιβάλλοντος CM και ερμηνεύει απαιτήσεις των χρηστών σε δεδομένα που απαιτούνται για την παραγωγή των επιθυμητών αντικειμένων. Για παράδειγμα, ένα προϊόν που απαιτεί την ανάπτυξη ενός προγράμματος διαδρομής κοπτικού εργαλείου για CNC και προγραμματισμό διαδικασίας επιμετάλλωσης μπορεί να δημιουργηθεί από τις εφαρμογές που βασίζονται σε σύννεφο. Επιπλέον, ο προγραμματισμός παραγωγής και αλληλουχίας των φάσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω αυτοματοποιημένων εφαρμογών που καθορίζουν τα πολλά μονοπάτια παραγωγής και θα μπορούσαν να οδηγήσουν στο επιθυμητό αντικείμενο. Τέλος, το στρώμα εφαρμογής θα μπορούσε να είναι υπεύθυνο για τον εντοπισμό των απαιτούμενων πόρων καθώς και τη διαχείριση των πόρων σε περίπτωση διακοπής. Ο έλεγχος και η διαχείριση του στρώματος θα γίνεται από τους παρόχους εφαρμογών, που θα προσφέρουν τις υπηρεσίες τους ως μεσάζοντες μεταξύ των χρηστών και των παρόχων των πόρων για ένα μέρος του κέρδους της πώλησης του προϊόντος..

2.2.3 Πάροχοι Φυσικών Πόρων (PRPs)

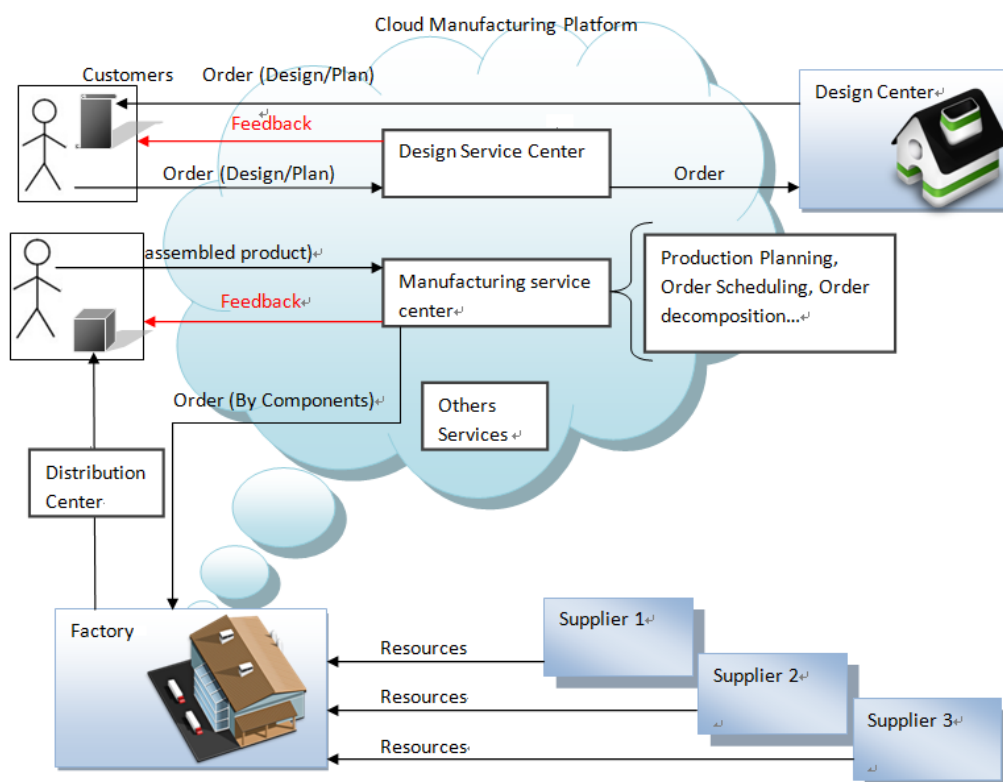
Οι πάροχοι φυσικών πόρων διατηρούν και εκμεταλλεύονται εξοπλισμό παραγωγής που περιλαμβάνουν αλλά δεν περιορίζονται σε τεχνολογίες μεταλλοτεχνίας, τεχνολογίες επιθεώρησης, τεχνολογίες συσκευασίας και δοκιμές πόρων. Εκτός από την ιδιοκτησία φυσικών πόρων, οι PRPs έχουν την τεχνογνωσία και την εμπειρία για να χρησιμοποιούν αυτές τις μηχανές αποτελεσματικά και επαρκώς. Αυτοί οι PRPs δεν περιορίζονται από την γεωγραφική θέση, μάλλον οι PRPs εντάσσονται στο δίκτυο του CM γιατί δεν μπορούν να βασιστούν μόνο στην εμπειρία τους. Ιδανικά ως σύνολο, το PRP δίκτυο θα παρείχε κάθε είδους ικανότητα παραγωγής που διατίθεται στην αγορά, προσφέροντας στους χρήστες στιγμιαία πρόσβαση στις παραγωγικές δυνατότητες που παρέχονται μέσω του νέφους ως υπηρεσία. Η είσοδος για το PRP γκρουπ είναι τα στοιχεία κατασκευής που δημιουργούνται από τις εφαρμογές που βασίζονται στο σύννεφο, και η έξοδος είναι ένα τελικό προϊόν που συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του τελικού χρήστη.



Διάγραμμα ροής 3 : Δομή Cloud manufacturing

2.3 CLOUD-BASED DESIGN AND MANUFACTURING (CBDM)

Ο όρος cloud-based design and manufacturing (CBDM) αρχικά επινοήθηκε από τους Dazhong Wu, David Rosen, και Dirk Schaefer στην Γεωργία το 2012 με σκοπό την άρθρωση ενός νέου πρότυπου για την ψηφιακή κατασκευή και τον καινοτόμο σχεδιασμό σε κατανεμημένα συνεργαζόμενα συστήματα. Το 2014, η ίδια ερευνητική ομάδα δημοσίευσε για πρώτη φορά παγκοσμίως 2 βιβλία με θέμα το Cloud-Based Design and Manufacturing (CBDM)[wikipedia] και το Social Product Development (SPD) [wikipedia]



Εδώ μιλάμε για ένα ολοκληρωμένο σύστημα που περιλαμβάνει το σχεδιασμό και την παραγωγή ενός προϊόντος. Το CBDM όπως το αποκαλούμε από τα αρχικά γράμματα του Cloud-based design and manufacturing, είναι ένα δικτυακό μοντέλο ανάπτυξης προϊόντων προσανατολισμένο στην παροχή υπηρεσιών στις οποίες οι καταναλωτές είναι σε θέση να ρυθμίσουν τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες και να αναμορφώσουν τα συστήματα παραγωγής. Αυτό γίνεται μέσω υπηρεσιών υποδομής, πλατφόρμας, υλικών και λογισμικού προερχόμενες από το αυθεντικό παράδειγμα του Cloud Computing που αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο και εφαρμοσμένες στην πραγματικότητα της ανάπτυξης προϊόντων με τη βοήθεια υπολογιστών. Τον τελευταίο καιρό ο σχεδιασμός και η παραγωγή βασισμένη στο σύννεφο κερδίζει την προσοχή τόσο ακαδημαϊκά αλλά και στη βιομηχανία.

Όπως περιγράφεται και στο όνομα του αυτό το σύστημα αποτελείται από 2 μέρη, το πρώτο είναι ο σχεδιασμός και το δεύτερο η παραγωγή βασισμένα πάντα στο σύννεφο.

Ο σχεδιασμός βασισμένος στο σύννεφο (CBD) αναφέρεται σε ένα σχεδιαστικό μοντέλο το οποίο βρίσκεται σε δίκτυο και αξιοποιεί τις υπηρεσίες του υπολογιστικού σύννεφου, την αρχιτεκτονική υπηρεσιών (SOA), τις ιστοσελίδες κοινωνικής δικτύωσης, και γενικά τις υπηρεσίες του διαδικτύου με σκοπό την υποστήριξη των cloud-based υπηρεσιών σχεδιασμού σε κατανεμημένα και συνεργαζόμενα περιβάλλοντα.[5]

Η παραγωγή βασισμένη στο σύννεφο (CBM) αναφέρεται σε ένα δικτυακό μοντέλο παραγωγής που εκμεταλλεύεται την πρόσβαση σε μια κοινόχρηστη βάση διαφοροποιημένων και κατανεμημένων κατασκευαστικών πόρων, για να σχηματίσει προσωρινές γραμμές παραγωγής που αυξάνουν την αποτελεσματικότητα, μειώνουν το κόστος του κύκλου ζωής του προϊόντος και επιτρέπουν τη βέλτιστη κατανομή των πόρων με σκοπό την αντιμετώπιση της μεταβλητής ζήτησης των πελατών.[5]

2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ CLOUD MANUFACTURING

Κάποια από τα χαρακτηριστικά σημεία της συγκεκριμένης μεθόδου παραγωγής είναι ότι

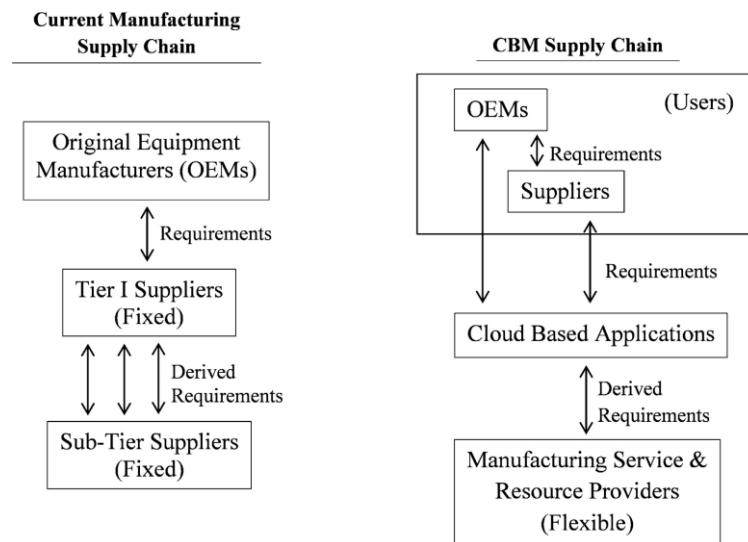
- Επικεντρώνεται στον πελάτη δηλαδή είναι πελατοκεντρική
- Είναι Επαναδιαμορφώσιμη, δυναμική
- Έχει ευρεία εφαρμογή και μπορεί να παράγει σχεδόν όλες τις ιδέες
- Καθοδηγείται από τη ζήτηση και τέλος
- Τα οφέλη είναι πολλαπλά σε όλους καθώς η πληροφορία της παραγωγής μοιράζεται σε όλους

Αναλυτικότερα έχουμε:

2.4.1 Πελατοκεντρική παραγωγή

Στην βιομηχανία του 21^{ου} αιώνα κυριαρχούν οι ιεραρχικές αλυσίδες εφοδιασμού, στις οποίες οι απαιτήσεις δημιουργούν την ροή ανάμεσα στα εμπλεκόμενα μέρη και προς τους προμηθευτές σε επίπεδο απαιτήσεων στο τομέα παραγωγής προϊόντων, οι οποίοι με την σειρά τους δεσμεύουν υποπρομηθευτές για να βοηθήσουν στη διαδικασία ανάπτυξης του προϊόντος. Ένα κλασικό παράδειγμα αυτής της σχέσης είναι εκείνη του κατασκευαστή πρωτότυπου εξοπλισμού (OEM), ο οποίος αναπτύσσει απαιτήσεις σε επίπεδο παραγωγής προϊόντων από την πλευρά της τεχνολογικής λειτουργίας και της υλοποίησης (προδιαγραφές και σχέδια για παράδειγμα). Οι απαιτήσεις αυτές εφαρμόζονται στη συνέχεια βάση σύμβασης σε υποπρομηθευτή, ο οποίος μπορεί στη συνέχεια να αναθέσει τμήματα του έργου σε προμηθευτές υπο-επίπεδο με βάση τη

φύση των εργασιών και των βασικών ικανοτήτων τους. Ενώ συχνά αυτές οι σχέσεις μπορούν να είναι καρποφόρες για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη, η ευκαιρία να ενισχυθεί η καταναλωτική εμπειρία (μείωση του κόστους, βελτίωση της ποιότητας, κ.λπ.) περιορίζεται σοβαρά από την άκαμπτη φύση τους. Επιπλέον, όταν παραδοσιακές σχέσεις προμηθευτών γίνουν ανεπιθύμητες, μπορεί συχνά να αποδειχθεί πολύ δαπανηρό και δύσκολο να διαλυθούν.



Διάγραμμα 4 : Σύγκριση παραδοσιακής αλυσίδας εφοδιασμού και cloud manufacturing

Στο περιβάλλον του cloud manufacturing το ότι οι σχέσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι πελατοκεντρικές, ορίζεται από την ενισχυμένη αποδοτικότητα, το μειωμένο κόστος, την αυξανόμενη ευελιξία, και βελτιωμένες ικανότητες για το χρήστη. Αυτά τα οφέλη θα μεταφερθούν από την δημιουργία ευέλικτων αλληλουχιών κατασκευής ενεργοποιημένες από την συγκέντρωση πόρων από πολλούς διαφορετικούς παρόχους. Οι λύσεις θα είναι ο πελάτης, ή ακόμα και ένας συγκεκριμένος στόχος, καθώς η συγκεκριμένη εφαρμογή βασισμένη στο cloud μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει πολλές επιλογές για τους χρήστες με βάση τις προδιαγραφές (θα επιτραπεί στο χρήστη να καθορίσει τις βασικές πτυχές της επιθυμητής εργασίας, όπως το κόστος, το χρόνο, και την ποιότητα, και διαφορετικές επιλογές που θα πρέπει να παρέχονται ώστε να ταιριάζει στις κλίμακες που θα παρέχονται για να λαμβάνονται υπόψη).

Ο βασικός στόχος ενός περιβάλλοντος CM συνδέει τους χρήστες, με τις ανάγκες για να βρθούν οι προμηθευτές που μπορούν να εκπληρώσουν τις ανάγκες αυτές λαμβάνοντας υπόψη το κόστος, το χρονοδιάγραμμα, και τους ποιοτικούς στόχους του χρήστη. Βλέπε Διάγραμμα 4 για τη σύγκριση των εφοδιαστικών αλυσίδων παραδοσιακά και σε CM περιβάλλον.

Ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του CM είναι η δυναμική, ευέλικτη φύση των προβλέψεων των πόρων. Οι γραμμές παραγωγής CM προορίζονται να είναι προσωρινού χαρακτήρα, επιτρέποντας έτσι την παραγωγή των παρτίδων μικρού μεγέθους χωρίς να αποκλείεται η δυνατότητα για μεγαλύτερες ποσότητες παραγωγής. Η ικανότητα γρήγορης αναγνώρισης και επαναπροσδιορισμού της κατασκευής των πόρων επιτρέπει υψηλή απόδοση, ελαχιστοποιεί τον χρόνο διακοπής, και ανταποκρίνεται άμεσα στη ζήτηση.

Η ευελιξία του συστήματος θα βασίζεται στην ικανότητα ταχέως ανοικοδόμησης της εικόνας και επαναπροσδιορισμού του εξοπλισμού κατασκευής πολλών διεσπαρμένων τόπων παραγωγής, με ελαχιστοποίηση του χρόνου. Για να επιτευχθεί ένα τέτοιο έργο, ένα υψηλό επίπεδο αυτοματοποίησης απαιτείται έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι η κατανομή των καθηκόντων να είναι σωστή και να διανέμεται με ελάχιστη προσπάθεια. Η ενσωμάτωση της αυτοματοποίησης, η οποία σε πολλές βιομηχανίες, είναι ήδη σήμερα, δεν σημαίνει απαραίτητα την απουσία του ανθρώπου. Ανάλογα με την εφαρμογή, το σύνολο της παραγωγικής διαδικασίας μπορεί να αυτοματοποιηθεί, και σε άλλες περιπτώσεις οι άνθρωποι θα εξακολουθούν να αλληλοεπιδρούν ως μέτρο της διασφάλισης της ποιότητας και της πρόληψης σφαλμάτων

Προκειμένου να υπάρχει ροή των απαιτήσεων κατασκευής από το νέφος στους αυτοματοποιημένους πόρους, βιομηχανικά συστήματα ελέγχου (ΠΕΕ) θα πρέπει επίσης να απαιτούνται. Αυτά τα συστήματα ελέγχου θα λειτουργούν ως ένα κεντρικό νευρικό σύστημα, παρακολουθώντας και ελέγχοντας τους πόρους στο επίπεδο του καταστήματος για να εξασφαλίσει τη συνεργασία πολλών πόρων. Οι ICS θα συντονίζει και θα κατανέμει εργασίες στις περιοχές κατασκευής, εξασφαλίζοντας συμβατότητα των προσπαθειών και τελικά προϊόντα.

2.4.2 Ευρεία εφαρμογή

Λόγω του ευρέος φάσματος των συνδεδεμένων PRPs, θέσεις εργασίας, που κάποτε ήταν οικονομικά ασύμφορες, θα ενεργοποιηθούν μέσω της ευελιξίας του περιβάλλοντος CM. Cloud-based εφαρμογές μπορούν να αναπτύξουν πολλαπλό κόστος και να δημιουργήσουν σενάρια για εξέταση από τον καταναλωτή, αξιοποιώντας την πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα πόρων που θα παρέχει ευκαιρίες εξοικονόμησης, κάτι που δεν θα ήταν πραγματοποιήσιμο στις παραδοσιακές απομονωμένες ρυθμίσεις παραγωγής.

Σε περίπτωση που η μεταφορά είναι ένας παράγοντας κόστους, για παράδειγμα, το επίπεδο εφαρμογή cloud based μπορεί να ξεκινήσει έρευνες για εναλλακτικά πρωτόκολλα παραγωγής που θα οδηγήσουν σε χαμηλότερο κόστος. Το περιβάλλον CM μπορεί να βελτιστοποιήσει το περιβάλλον παραγωγής μέχρι το σημείο όπου δεν θα υπάρχει δουλειά θα πρέπει να μετατραπεί μακριά. Επιπλέον, το περιβάλλον CM ταιριάζει με τα καθήκοντα PRPs, βασιζόμενα στη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού και της συνολικής ικανότητας, επιτρέποντας για αποτελεσματική επεξεργασία των μικρών εργασιών, χωρίς διακοπή των μεγαλύτερων θέσεων εργασίας. Αυτή η αυξημένη αποδοτικότητα θα πρέπει να αυξήσει την ικανότητα και την προθυμία των PRPs να αναλάβουν τις μικρές εργασίες που κάποτε ήταν πάρα πολύ δαπανηρές..

2.4.3 Παραγωγή καθοδηγούμενη από τη ζήτηση και την νοημοσύνη

Όπως κάθε κατασκευαστική οντότητα σήμερα, ο βαθμός στον οποίο θα ασκείται το περιβάλλον CM θα καθοδηγείται από τη ζήτηση των χρηστών. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεταποιητικές επιχειρήσεις, το περιβάλλον CM θα είναι «η ευφυής ζήτηση» στο ότι η εγγενής ευελιξία του συστήματος θα πρέπει να χρησιμοποιείται για να εξασφαλιστεί ισορροπημένη κατανομή φορτίου σε όλη την ισοδύναμη ή σε ανταλλάξιμες κατασκευαστικές πηγές. Για παράδειγμα, εάν πηγές παραγωγής "A" χρησιμοποιούνται από τους άλλους περισσότερο στο δίκτυο, αλλά η επιθυμητή διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί με το συνδυασμό παραγωγής πόρων "B" και "C", το περιβάλλον CM θα πραγματοποιήσει αυτόματα και θα κεφαλαιοποιηθεί αυτή την εναλλακτική λύση για την αποφευχθεί η υπερβολική φόρτωση των πηγών παραγωγής "A". Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου σεναρίου θα ήταν η απαίτηση για μια 6- axis CNC μηχανή, όταν ένας συνδυασμός κατακόρυφων και οριζόντιων μύλων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την ίδια δουλειά.

2.4.4 Κοινόχρηστος φόρτος, κοινόχρηστα οφέλη

Παραδοσιακές επιχειρηματικές οργανώσεις και σχέσεις βασίζονται σε μία κλιμακωτή δομή ελέγχου, οι οποίες δρουν μαζί για να δημιουργήσουν αξία. Οι επιχειρηματικές οργανώσεις συχνά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των βιομηχανιών, και μπορεί ακόμη και να είναι διαφορετικές και μεταξύ των εταιρειών εντός του ίδιου κλάδου. Η οργάνωση μιας επιχείρησης συχνά καθορίζει μια εταιρεία όσο το προϊόν ή η υπηρεσία που προσφέρει. Για παράδειγμα, η Amazon δεν είναι απλώς μια αγορά εκπτώτικων προϊόντων, είναι μια online εκπτώτικη αγορά προϊόντων. Η Mari Sako εξηγεί ότι τα επιχειρηματικά μοντέλα καθορίζουν τη λειτουργία των επιχειρήσεων: "ένα επιχειρηματικό μοντέλο είναι η διατυπωμένη πρόταση αξίας των πελατών. Καθορίζει ένα τμήμα της αγοράς και τη διάρθρωση της αλυσίδας αξιών, περιγράφει τους μηχανισμούς παραγωγής

εσόδων και την τοποθέτηση εντός του δικτύου αξίας ή του οικοσυστήματος, επεξεργάζεται επίσης την ανταγωνιστική στρατηγική με την οποία η εταιρεία κερδίζει και πλεονεκτεί έναντι των αντιπάλων». [3] Ένα επιχειρηματικό μοντέλο είναι το επιχείρημα για το οποίο η εταιρεία θα πετύχει - εξηγεί κρίσιμα πράγματα, όπως ποιοι είναι οι πελάτες, γιατί νοιάζονται για το προϊόν ή την υπηρεσία, πώς θα έχει την ευκαιρία να προσθέσει αξία στο προϊόν, και πώς θα κάνει χρήματα.

Τα οργανωτικά επιχειρηματικά μοντέλα που κάποια μέρα θα καθορίσουν τα CM, ενώ δεν είναι εντελώς χωρίς προηγούμενο, θα απαιτήσουν μια στροφή από τα παραδοσιακά επιχειρηματικά μοντέλα του σήμερα σε αυτά που βασίζονται στην φιλοσοφία της μετοχής προς κέρδη. Αλυσίδες αξιών, οι οποίες περιγράφουν την προστιθέμενη αξία σε ένα προϊόν, θα είναι εξαιρετικά ευέλικτες στην CM. Η τιμή θα προστεθεί από τους παρόχους των πηγών, ανταλλάσσοντας τεχνογνωσία και η συνεργασία θα παρέχει στους χρήστες τα προϊόντα που επιθυμούν, χρησιμοποιώντας λιγότερους πόρους μέσω επιτυχών διαδικασιών. Η CM θα απαιτήσει τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων συνολικά (από όλα τα κατεστημένα τμήματα), και θα απαιτήσει προτάσεις ως προς το ποια τιμή θα λάβει ο πελάτης, τι αγορά υπάρχει για μια τέτοια επιχείρηση και ούτω καθεξής

Το κατάλληλο επιχειρηματικό μοντέλο για CM μπορεί να είναι δύσκολο να προσδιορίσει όταν πρόκειται για την αλυσίδα αξιών και τα μοντέλα εσόδων. Στο παραδοσιακό επιχειρηματικό μοντέλο, η αλυσίδα αξίας και τα μοντέλα εσόδων είναι καλά προσδιορισμένα - κάθε αθροιστή αξία διαχωρίζεται από τις υπόλοιπες, και θα αποζημιωθεί με βάση την αξία που μπορεί να προσθέσει στο προϊόν. Σε ένα περιβάλλον CM, η συνεργασία μεταξύ των προμηθευτών θα πρέπει να ολοκληρώνει με επιτυχία ένα έργο. Πώς θα καθοριστεί μία προστιθέμενη αξία όταν 3 διαφορετικοί κατασκευαστές συνδυάζουν τους πόρους για να ολοκληρωθεί ένα κτίσιμο - εκτύπωση μιας παραγγελίας; Θα πρέπει η συνολική αξία των τελικών τμημάτων να κατανέμεται ομοιόμορφα μεταξύ των προμηθευτών, ή θα πρέπει να βασίζεται στο χρόνο και τους πόρους που χρησιμοποιήθηκαν; Αυτά είναι τα ερωτήματα που θα καθορίσουν πώς οι αλυσίδες αξίας θα δομηθούν και πώς θα πραγματοποιηθεί ο καταμερισμός του πλούτου.

Το cloud manufacturing διαφέρει από τον παραδοσιακό σχεδιασμό κατανεμημένων και συνεργαζόμενων συστημάτων όπως είναι τα συστήματα με βάση το διαδίκτυο, σε πολλά σημεία συμπεριλαμβανομένου της υπολογιστικής αρχιτεκτονικής, της αποθήκευσης δεδομένων, της τεχνολογικής υποδομής επικοινωνιών και πληροφοριών του επιχειρηματικού μοντέλου, του προγραμματιστικού μοντέλου και της επικοινωνίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΝΕΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

3.1 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.



Το τελευταίο είναι αυτό το οποίο τραβάει αυτή την εποχή το ενδιαφέρον όλων και μέσω αυτής της διπλωματικής εργασίας θα γίνει μία σύγκριση της κλασσικής γραμμής παραγωγής και της τοπικής παραγωγής στα σπίτια των καταναλωτών κάνοντας χρήση της 3D ταχείας προτοτυποποίησης ή στα αγγλικά 3D rapid prototyping.

3.1.1 Πλεονεκτήματα για τη βιομηχανία

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. [1] [2] Τα ψηφιακά δίκτυα σε συνδυασμό με παραγωγής όπως η τριασδιάσταση εκτύπωση, επιτρέπουν στις εταιρείες μια αποκεντρωμένη και γεωγραφικά ανεξάρτητη κατανεμημένη παραγωγή.

3.1.2 Πλεονεκτήματα για τον καταναλωτή

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. (θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά παρακάτω)

3.1.3 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 [6] .

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» [6] . Το παγκόσμιο εμπόριο δεν πρόκειται φυσικά να εξαφανιστεί, ωστόσο η σημασία της τοπικής παραγωγής θα αυξηθεί.

3.1.4 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 [10] , 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 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 [10] . 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).

3.2 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 φαντασιακό που συνδέει κατευθείαν και χωρίς διαμεσολάβηση την ιδέα του σχεδιαστή με την παραγωγή [8] .

Στο τεχνολογικό αυτό φαντασιακό όλοι οι ενδιάμεσοι παράγοντες μεταξύ σχεδιασμού και παραγωγής μοιάζει να εξαφανίζονται. Συγχρόνως, ένας φαντασιακός 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 φαντασιακού 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 φαντασιακό 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 αντικειμένων με προσθήκη υλικού. Το αντικείμενο «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.

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.

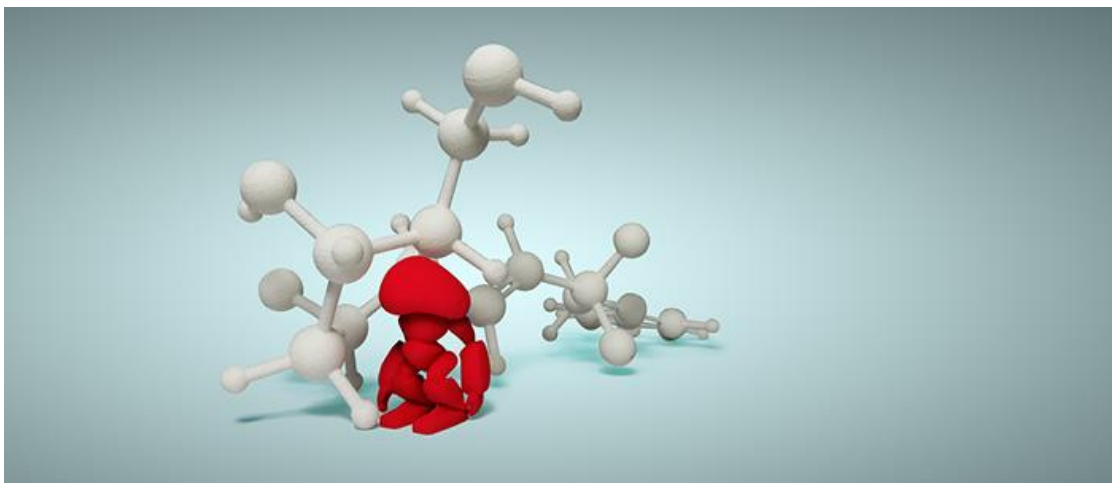
Παραδείγματος χάριν, με την τρισδιάστατη εκτύπωση, είναι δυνατό να τυπωθούν οι σύνθετες γεωμετρικές μορφές και τα συναρμολογούμενα μέρη δεν απαιτούν καμία περαιτέρω εργασία. Είναι επίσης δυνατό να παραχθούν τα ενιαία αντικείμενα, σε μικρές ποσότητες, με χαμηλό κόστος και γρήγορη παράδοση. Αυτή η τεχνολογία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

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.



3.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

3.3.1 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 αλληπάλληλων 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.

3.3.2 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 κοκ.

3.4 ΥΛΙΚΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

3.4.1 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 αντικείμενο φτιαγμένο από PLA μπορεί να γίνει επεξεργασία με γυαλόχαρτο αλλά και μηχανουργική κατεργασία όπως τρύπημα, τόννευση 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

3.4.2 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

3.5 ΑΝΑΛΥΣΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Η 3D εκτύπωση γίνεται μέσω εναπόθεσης αλληπάλλληλων 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.

3.5.1 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.

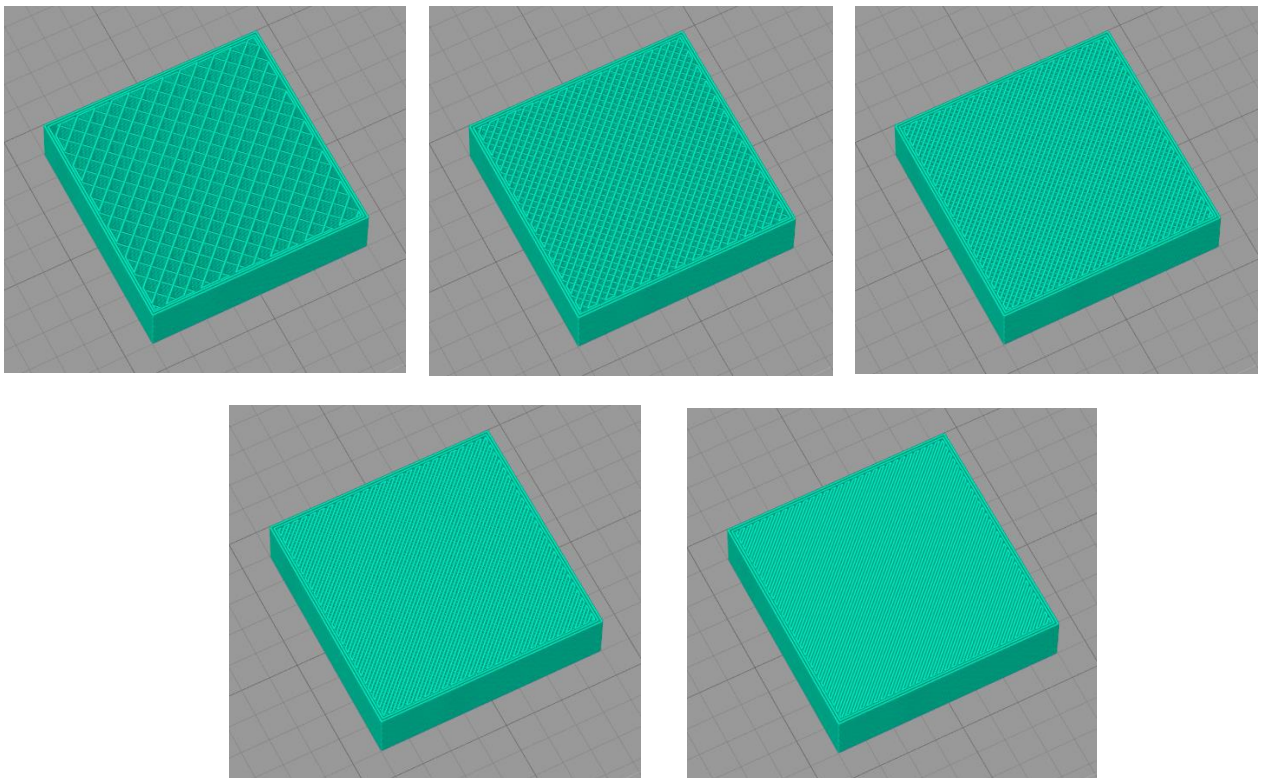
3.5.2 Stereolithography

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

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

3.6 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.



Διαφορετικά ποσοστά γεμίματος στη τρισδιάστατη εκτύπωση ενός προϊόντος

3.7 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

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



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

3.8 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.

Sampling of Companies in 3D Printing Value Chain

	Printer/Application Type				Service Type		Other	
	Personal / Desktop	Concept Modeling	Professional Prototyping	Production	On-Demand Real Parts	On-Demand Personal	3D Scanners	Software
Public								
3D Systems (DDD)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Arcam (ARCM)			✓	✓	✓			
ExOne (XONE)			✓	✓	✓			
Stratasys (SSYS)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
voxeljet (VJET)			✓	✓	✓			
Private								
Beijing Tiertime	✓	✓	✓		✓			
CMET		✓	✓	✓				
EnvisionTEC	✓	✓	✓	✓				
EOS GmbH		✓	✓	✓	✓			
Materialise				✓	✓	✓		✓
Mcor Technologies		✓	✓					
Optomec			✓	✓				
Ponoko						✓		
Sculpteo					✓	✓		
Shapeways						✓		

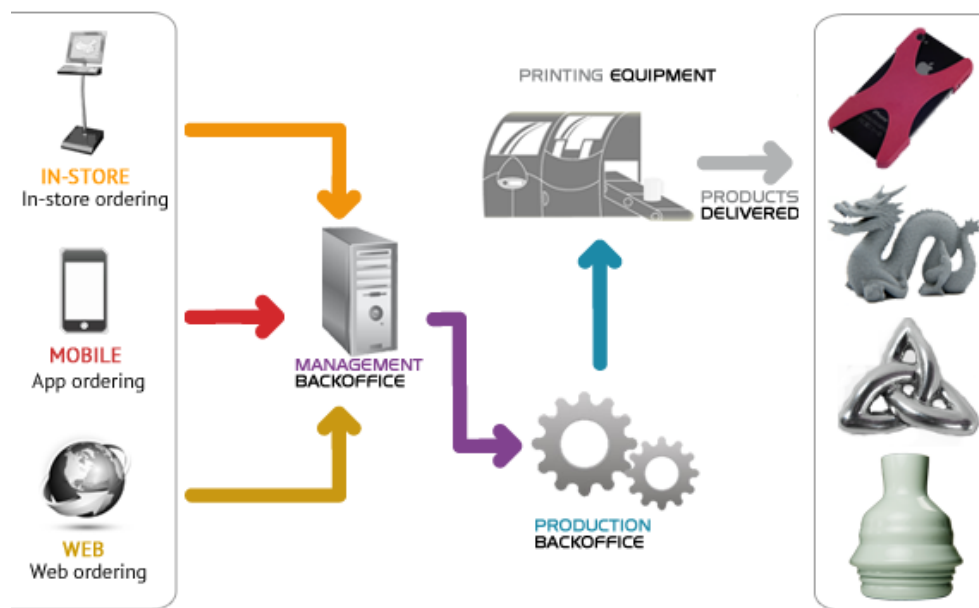
Source: Pacific Crest Securities estimates

Πίνακας 4 : Εταιρείες ψηφιακής τρισδιάστασης εκτύπωσης

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 βάλαμε τον πίνακα 4 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.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Αρχικά δημιουργημένη ως μέθοδος για τη γρήγορη διαμόρφωση πρωτοτύπου, η τρισδιάστατη εκτύπωση, που αναφέρεται επίσης ως την πρόσθετη κατασκευή, έχει αυξηθεί σε μια αληθινή διαδικασία παραγωγής. η τρισδιάστατη εκτύπωση δίνει στους μηχανικούς και στις επιχειρήσεις τη δυνατότητα και στα προϊόντα τελικής χρήσης πρωτοτύπων και κατασκευής και προσφέρει τα σημαντικά πλεονεκτήματα πέρα από τις παραδοσιακές διαδικασίες παραγωγής. Αυτά τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν τη διευκόλυνση της μαζικής προσαρμογής, που αυξάνει την ελευθερία σχεδίου, που επιτρέπει τη μείωση της συνέλευσης, και μπορούν να χρησιμεύσουν ως μια οικονομικώς αποδοτική διαδικασία παραγωγής μικρής ποσότητας.

4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης από τις οποίες οι 2 σημαντικότερες έχουν αναλυθεί σε προηγούμενη παράγραφο. Ενδεικτικά αναφέρουμε και εδώ μερικές όπως:

- Selective Laser Sintering (SLS),
- Binder Jetting,
- Stereolithography (SLA),
- Poly-Jet, Fused Deposition Modelling/Fused Filament Fabrication (FDM/FFF)

4.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες τυποποιημένων παραδοσιακών μεθόδων κατασκευής οι οποίες είναι οι εξής:

- injection molding,
- machining,
- forming,
- joining

Απέναντι στην 3D εκτύπωση, κάθε διαδικασία κατασκευής έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της αντίστοιχα και σε αυτά θα αναφερθούμε παρακάτω.

4.2.1 Injection Molding (IM) (χύτευση με έγχυση υλικού)

Είναι μία διαδικασία κατασκευής, που αποτελείται από ένα πλαστικό μαλακό υλικό που εγχύεται μέσα σε ένα καλούπι. Όταν στο καλούπι, το υλικό ψύχεται και στερεοποιείται ένας άλλος μηχανισμός εξάγει το κομμάτι από το καλούπι. Αυτός ο τρόπος κατασκευής χρησιμοποιείται για ένα ευρύ φάσμα χρήσεων (είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος κατασκευής για πλαστικά προϊόντα) και χρησιμοποιείται για μία επιφάνεια υψηλής ποιότητας.

Ωστόσο, το κόστος εκκίνησης είναι συχνά πολύ υψηλό, και αυτός ο τρόπος κατασκευής δεν είναι ιδανικό για μικρές σειρές.

4.2.2 CNC Machining (Κατεργασία CNC)

Αναφέρεται ως διάτρηση, φρεζάρισμα, ή στροφή, και σχεδόν οποιοδήποτε υλικό μπορεί να κατασκευαστεί σε ένα μέρος. Στην μηχανική κατεργασία CNC, ένα κομμάτι του υλικού συσφίγγεται μέσα στο μηχάνημα, και ένα εργαλείο αφαιρεί υλικό μέχρι το τμήμα να ολοκληρωθεί. Παρόμοια της χύτευσης με έγχυση, η επιλογή του υλικού είναι πολύ ευρεία και μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση την επιθυμητή εφαρμογή. Οι ανοχές της κατεργασίας είναι πολύ υψηλές (25 μm) που σημαίνει μπορούν να κατασκευαστούν πολύ ακριβή μέρη.

Ωστόσο, μπορεί να είναι πολύ δύσκολο (αν όχι αδύνατο) να κατασκευάζονται υποκοπές ή εσωτερικά χαρακτηριστικά με μηχανική κατεργασία. Καθώς το υλικό αφαιρείται επιλεκτικά, η CNC κατεργασία χρησιμοποιείται συχνά εφάπαξ και για λειτουργικές μονάδες πρωτοτύπων, καθώς και για τη μηχανή και τα εξαρτήματα της.

4.2.3 Plastic Forming (PF) (Πλαστική διαμόρφωση)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μεθόδων σχηματισμού για πλαστικά: θερμοδιαμόρφωση, διαμόρφωση εν κενώ, και υπό πίεση. Υπάρχουν ιδιαιτερότητες για κάθε τύπο, αλλά ο καθένας με κάποιο τρόπο θερμαίνει ένα φύλλο από πλαστικό και το χύνει πάνω σε ένα καλούπι, χρησιμοποιώντας πίεση αέρα και αρσενικά βύσματα για να δώσουν στο φύλλο ένα σχήμα.

Σχεδόν όλα τα θερμοπλαστικά μπορούν να βρεθούν ως ένα φύλλο και να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία διαμόρφωσης. Ωστόσο, ο σχηματισμός είναι μία διαδικασία μονής όψης, που σημαίνει ότι μόνο μία πλευρά του πλαστικού φύλλου μπορεί να ελέγχεται από την επιφάνεια του εργαλείου. Το κόστος εργαλείων για τη διαδικασία σχηματισμού είναι γενικά φθηνότερο από τη χύτευση με έγχυση, ειδικά για τα μεγαλύτερα αντικείμενα με χαμηλότερη πολυπλοκότητα

4.2.4 Plastic Joining (Ένωση πλαστικών)

Η ένωση των πλαστικών αφορά την ένταξη των ημιτελών μερών. Αυτό περιλαμβάνει στερέωση και συγκόλληση με κόλλα. Η Στερέωση αναφέρεται στην ενσωμάτωση μανδάλων, μεντεσέδων και θραύση ταιριάζοντας στο σχεδιασμό του τμήματος, ή με τη χρήση των εξωτερικών συνδετήρων, όπως κοχλίες και βίδες. Οι συγκολλήσεις αναφέρονται στην εφαρμογή μιας κόλλας ώστε να ενωθούν τα μέρη μαζί. Η συγκόλληση αναφέρεται στην ένωση των δύο τμημάτων μέσω της εφαρμογής θερμότητας και πίεσης.

Δεδομένου ότι τα μέρη είναι ήδη ημιτελή όταν είναι έτοιμα να ενωθούν, πολλές από τις προδιαγραφές της διαδικασίας για την ένταξή τους εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο έγιναν τα ημιτελή μέρη. Αν και η ένωση εξαρτάται από το σχήμα εν μέρει, αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι χρονοβόρα και να συνεπάγεται υψηλό κόστος εργασίας

Process	Description	Details	Advantages	Disadvantages	Applications
Selective Sintering	Laser Laser fusion in a powder bed	Layers : 0.06-0.15 mm Features : 0.3mm Surface : rough Print speed : fast	Strong Complex parts Large build volume Parts can be stacked in build volume Living hinges and snap features possible	Grainy surface finish	Electronics housing Mounts Custom consumer products Aerospace hardware
Stereolithography	UV laser scanning vat polymerization	Layers : 0.06-0.15 mm Features : 0.1mm Surface : smooth Print speed : average	Fine detail Smooth surface finish	Weak parts Susceptible to sunlight and heat	Medical/dental products Electronics casings Investment casting patterns Art
Binder Jetting	Particle binding in a powder bed	Layers : 0.089-0.12 mm Features : 0.4mm Surface : rough Print speed : very fast	Multicolor prints Fast print speed	Very weak parts Rough surface finish	Full color prototypes and objects Figurines
Poly-jet	Jetted droplets of UV cross-linked polymer	Layers : 0.016-0.032 mm Features : 0.2mm Surface : smooth Print speed : fast	Fine detail High accuracy Multi-material capabilities	Low material strength Susceptible to sunlight and heat	Medical devices Complex and multi-material prototypes and objects Assembled prototypes
Fused Deposition	Extruded layers of	0.1-0.3 mm layers Surface : very rough	High part strength	Poor surface finish	Electronics housing Mounts

Modeling	thermoplastic	finish Print speed : slow	Low cost	Slow printing	Custom consumer products
Injection Molding	Material mixed and forced into a mold	Surface : excellent finish Tolerance : 50 um	Broad material selection High volume High tolerance Great surface finish	High start-up cost Long lead time Thin walled parts only	Automotive Aerospace Electronics Packaging Containers
CNC Machining	Material removal	Surface : smooth Tolerance : 25 um	All materials compatible Very high tolerances Reasonable turnaround	Difficulty with complexity High equipment cost Lot of scrap	Jigs and fixtures Automotive Aerospace
Plastic Forming	Stretched and formed plastic sheets	Surface : smooth Tolerance : typical 1mm	Very large parts Affordable price	Thermoplastics only Limited shape complexity Thin walled parts only One sided control	Packaging Containers Panels
Plastic Joining	Welded or adhered plastic parts	Dependent on semi-finished products	All materials	Time consuming High labor cost	Automotive Electronics Medical

Πίνακας 5 : σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων παρασκευής πλαστικών

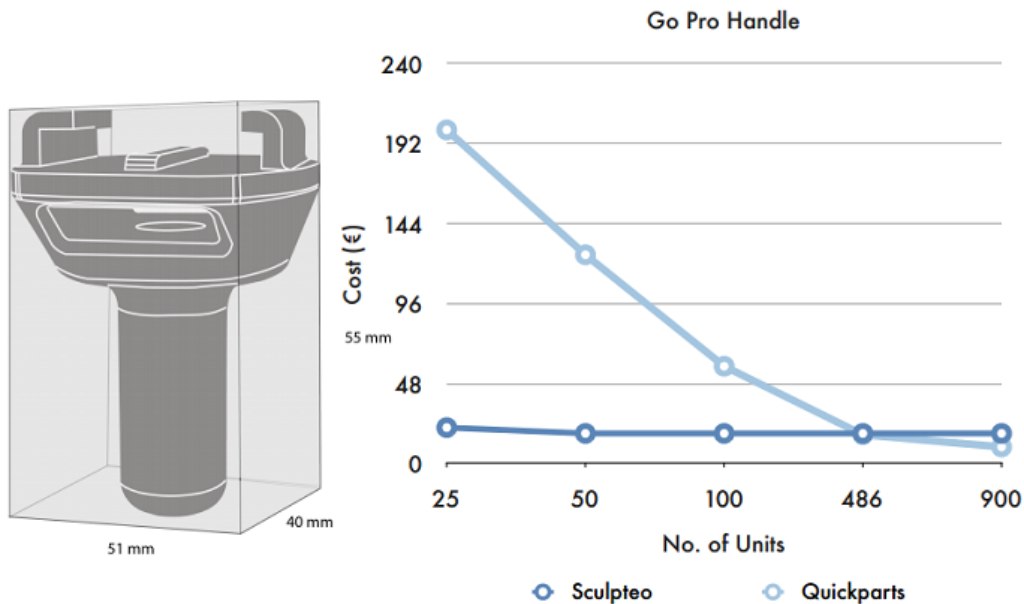
4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Για την επιλογή της μεθόδου κατασκευής κατασκευής που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες της εφαρμογής, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν πρώτα οι απαιτήσεις. Υπάρχουν πολλά σημαντικά ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν για την επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας τα οποία αναφέρονται στην παρακάτω παράγραφο. Οι σημαντικότερες απαιτήσεις που πρέπει να προσδιοριστούν είναι:

4.3.1 Ποσότητα παραγωγής

Παραδοσιακές διεργασίες κατασκευής, όπως η διαμόρφωση και χύτευση με έγχυση είναι πιο κατάλληλες για παραγωγή μεγάλης κλίμακας, ενώ η 3D εκτύπωση μπορεί να είναι πιο οικονομική για μικρούς όγκους. Το παρακάτω διάγραμμα 6 συγκρίνει το εκτιμώμενο κόστος ανά μονάδα μιας λαβής GoPro όταν κατασκευάζεται μέσω έγχυσης (Quickparts) σε σύγκριση με

Selective Laser Sintering (Sculpteo). Σε αυτήν την περίπτωση, η 3D εκτύπωση παραμένει οικονομικά έγκυρη επιλογή για τα πρώτα 486 μονάδες.



Διάγραμμα 6 : Σύγκριση κόστους και αριθμού προϊόντων

4.3.2 Απαιτούμενος χρόνος παραγωγής

Οι παραδοσιακές τεχνολογίες παραγωγής απαιτούν να κατασκευάζονται καλούπια και τα εργοστάσια να πραγματοποιήσουν την παραγωγή με ταχύτητα για να μην επηρεαστεί το τελικό προϊόν. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να χρειαστεί 15-60 ημέρες (και μερικές φορές περισσότερο) ώστε το αρχικό μέρος να κατασκευαστεί και να σταλεί. Στην 3D εκτύπωση, το ίδιο προϊόν μπορεί να εκτυπωθεί ανάλογα με τη ζήτηση και να αποσταλεί χωρίς συσκευασία ή εξοπλισμό, με αποτέλεσμα να χρειάζεται 2 ή 3 ημέρες το πολύ.

Στην περίπτωση της λαβής της Go Pro που είδαμε προηγουμένως, από την εταιρεία Quickparts απαιτείται χρόνος 15 εργάσιμων ημερών για κάθε όγκο 25-1000 μονάδων, ενώ υπολογίζεται ότι στη τρισδιάστατη εκτύπωση (Sculpteo) για 25 μονάδες, απαιτείται ένας χρόνος 3 ημερών και για 1000 μονάδες ο χρόνος αυτός αυξάνεται στις 7 ημέρες.

4.3.3 Σχήμα και πολυπλοκότητα αντικειμένου

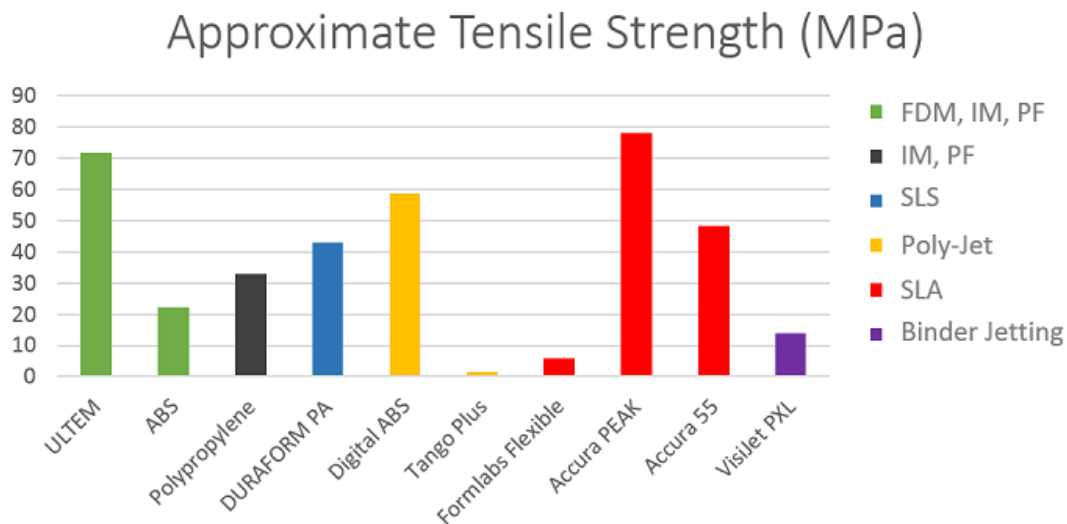
Για αντικείμενα υψηλής πολυπλοκότητας, τελείως συναρμολογημένα μέρη ή στοιχεία που χρειάζονται προσαρμογή η μέθοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης με έναν επαγγελματικό εκτυπωτή 3 διαστάσεων είναι η καλύτερη επιλογή. Πράγματι, η τιμή τέτοιων προϊόντων μπορεί να είναι πολύ υψηλή αλλά μερικές φορές είναι αδύνατο να κατασκευαστούν αυτά, χρησιμοποιώντας τις παραδοσιακές μεθόδους που αναφέραμε νωρίτερα.

4.3.4 Υλικό κατασκευής

Οι παραδοσιακές μέθοδοι κατασκευής στις οποίες αναφερθήκαμε νωρίτερα προσφέρουν μια ευρεία γκάμα υλικών κατασκευής που μπορεί να επιλέξει ο χρήστης. Όταν ερχόμαστε όμως στην κατασκευή με τρισδιάστατους εκτυπωτές η επιλογή των υλικών είναι πολύ περιορισμένη. Η μέθοδος FDM περιορίζεται σε θερμοπλαστικά που μπορούν να εξαχθούν, η μέθοδος SLS απαιτεί θερμοπλαστικό σκόνη που χρησιμοποιείται από ειδική μηχανή ενώ η μέθοδος SLA και Poly-jet εφαρμογές περιορίζονται σε φωτοευαίσθητη acrylate και σε εποξειδικές ρητίνες.

4.3.5 Τεχνικές προδιαγραφές

Καθώς ωριμάζει η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης, εισάγονται περισσότερα υλικά με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει ποικίλα υλικά και τα συγκρίνει σύμφωνα με την αντοχή τους.



Όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα, θερμοπλαστικά όπως το ULTEM και ABS δουλεύονται με τη μέθοδο εκτύπωσης FDM, αλλά και χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους όπως injection molding, δείχνοντας την ικανότητα της τρισδιάστατης εκτύπωσης να επεξεργάζεται υψηλής αντοχής πλαστικά υλικά.

Ωστόσο η μέθοδος SLA και poly-jet προϋποθέτουν ρητίνες φωτοπολυμερισμού και δεν μπορούν να επεξεργαστούν τέτοιου είδους υλικά.

Για να αντισταθμιστεί αυτό πολλοί κατασκευαστές ψηφιακών εκτυπωτών έχουν αναπτύξει υλικά που μπορούν να πιάσουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την απόδοση ορισμένων πλαστικών όπως το ψηφιακό ABS, και μας παρουσιάζουν υλικά που παρέχουν ιδιότητες υψηλής αντοχής και ελαστικότητας. Ωστόσο είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πως επειδή αυτές οι ρητίνες είναι φωτοευαίσθητες, έχουν την τάση να είναι ευαίσθητες στο φως του ήλιου και στη ζέστη.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μία διαδικασία που προσθέτει στρώματα, το οποίο σημαίνει πως το τελείωμα της επιφάνειας περιορίζεται με βάση το πάχος της κάθε στρώσης. Σύμφωνα με την κάθε μέθοδο κατασκευής τα στρώματα μπορούν να κυμαίνονται σε πάχος μεταξύ 0,06 μμ και 0,3 μμ κάτι που κάνει την επιφάνεια να δείχνει άγρια ή με ραβδώσεις κυρίως σε καμπύλες επιφάνειες. Ορισμένοι υψηλής ποιότητας τρισδιάστατοι εκτυπωτές τείνουν να εκτυπώνουν λεπτότερα στρώματα έχοντας σαν αποτέλεσμα το πολύ καλύτερο τελείωμα στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος. Οι συμβατικές μέθοδοι όπως η έγχυση σε καλούπι είναι πολύ πιο καλές και μπορούν να παράγουν την επιθυμητή επιφάνεια σχεδόν τέλεια.

Όπως διαπιστώθηκε και προηγουμένως για μικρού μεγέθους παραγωγές, για πολύ πολύπλοκα μέρη, πλήρως συναρμολογημένα αντικείμενα ή προϊόντα που χρειάζονται τροποποίηση ή αν απλά πρέπει το προϊόν να παραχθεί γρήγορα, τότε η τρισδιάστατη εκτύπωση και ειδικά με εκτυπωτή επαγγελματικών προδιαγραφών είναι η καλύτερη επιλογή.

Παρόλα αυτά αν οι ιδιότητες του υλικού και το τελείωμα της επιφάνειας του προϊόντος δεν αποτελούν σημαντικούς παράγοντες όπως επίσης αν η πολυπλοκότητα του μοντέλου είναι μικρή όπως και το μέγεθος της παραγωγής τότε η παραγωγή με τη συμβατική μέθοδο CNC μπορεί να αποτελεί καλύτερη επιλογή. Για μεγαλύτερα μεγέθη παραγωγής σχετικών προϊόντων τότε η παραγωγή με τη συμβατική μέθοδο της έγχυσης σε καλούπι είναι μονόδρομος.

Ακολουθεί ένας συγκριτικός πίνακας με όλες τις μεθόδους παραγωγής:

	SLA	SLS	Poly-Jet	FDM/FFF	Binder Jetting	CNC	Injection Molding	Forming	Joining
Cost- Low Volume	✓	✓	✓	✓	✓	—	✗	✗	✗
Cost- High Volume	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	—
Lead Time	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Material Selection	—	—	—	—	✗	✓	✓	✓	✓
Surface Finish	—	—	—	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Tolerance	✓	—	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Integrated Assembly	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Complexity	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	✗	✗
Customizability	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗

✓ is good, — is fair, ✗ is poor

Πίνακας 7 Συγκεντρωτικά οι μέθοδοι παραγωγής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Η συγκεντρωτική μαζική παραγωγή με βάση τα πολυμερή έχει μειωμένο οικονομικό κόστος, δημιουργώντας παράλληλα την ανάγκη να μετριαστεί η περιβαλλοντική επιβάρυνση. Τα οφέλη της μαζικής παραγωγής περιλαμβάνουν μείωση του κόστους λόγω των οικονομιών κλίμακας που δημιουργούνται από (i) την αγορά (χύμα υλικών και συστατικών μέσω μακροπρόθεσμων συμβάσεων), (ii) αυξημένη εξειδίκευση των εργαζομένων και των ανώτατων στελεχών, (iii) ευνοϊκή χρηματοδότηση από άποψη επιτοκίου, πρόσβαση σε αγορές κεφαλαίου, και ποικιλία των χρηματοοικονομικών μέσων, (iv) marketing και (v) ξεκάθαρο τεχνολογικό πλεονέκτημα απόδοσης από άποψη κλίμακας στην παραγωγή. Το τελευταίο πλεονέκτημα οφείλεται εν μέρει στην χαμηλότερη δαπανώμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια της κατασκευής λόγω της κλίμακας. Τα πλεονεκτήματα αυτά έχουν δημιουργήσει μία τάση προς τις κατασκευές μεγάλης κλίμακας σε χώρες όπου το εργατικό κόστος είναι χαμηλό, ειδικά για φθηνά πλαστικά προϊόντα. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση των πλαστικών είναι μεγάλη λόγω της βραδείας τους αποσύνθεσης και της ρύπανσης του εδάφους, του νερού και του αέρα.[1]

Με ετήσια παγκόσμια παραγωγή 245 εκατομμυρίων τόνων, αύξηση κατά περίπου 6% ανά έτος, υπάρχει σαφής ανάγκη για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πλαστικών. Μία νέα μέθοδος για τη μείωση της περιβαλλοντικής επίδρασης των πλαστικών προϊόντων είναι να χρησιμοποιούνται στο distributed manufacturing 3D εκτυπωτές με χαμηλό λειτουργικό κόστος. Η φύση της 3D εκτύπωσης επιτρέπει την κατασκευή εξαιρετικά πολύπλοκων σχημάτων, παραμετροποίηση και την ελαχιστοποίηση των παραγόμενων απόβλητων σε σύγκριση με την αφαιρετική παραγωγή μεγιστοποιώντας παράλληλα την χρησιμοποίηση της πρώτης ύλης. Η τεχνολογική ανάπτυξη της 3D εκτύπωσης υπήρξε ουσιαστική σε κλάδους όπως την βιοϊατρική, με τη δυνατότητα εκτύπωσης τεχνητών οστών και την αεροδιαστημική για την παραγωγή ελαφρύτερων, όλο και πιο περίπλοκων ανθεκτικών μερών. Ωστόσο, το κόστος των 3D εκτυπωτών ήταν πάντα πάρα πολύ ακριβό για να είναι εφικτή η 3D εκτύπωση για κάθε είδους κατασκευών.

Η κατακόρυφη τοπικοποίηση κάθε μικρής μονάδας παραγωγής, που εφαρμόζει την ανοικτή παραγωγή (open manufacturing) είναι δυνατόν να υποστηριχτεί από την οριζόντια διασύνδεση των μονάδων με πλατφόρμες ανοιχτού σχεδιασμού (open design) [6].

Στούς στόχους της διασυνδεδεμένης μικρής παραγωγής είναι δυνατόν να περιλαμβάνονται:

- Η συνεργασία μεταξύ κοινοτήτων ανοικτού σχεδιασμού και μικρο – εργοστασίων.
- Η ανάπτυξη δικτύων μικρών μονάδων κατανεμημένης παραγωγής, που εντάσσουν ανοιχτή παραγωγή και υποστηρίζονται από οριζόντιες αναπτύξεις ανοικτού σχεδιασμού.
- Η διασύνδεση των μικρο-εργοστασίων με την ευρύτερη διεθνή κοινότητα ανοικτού σχεδιασμού.
- Η αυτονομία των μικρο – παραγωγών απέναντι στην Πνευματική Ιδιοκτησία αγαθών γνώσης και απέναντι στα κλειστά συστήματα παραγωγής.

Οι επιχειρήσεις που θα συμμετέχουν:

- Μπορεί να είναι συγκεντρωμένες στον γεωγραφικό χώρο ή κατανεμημένες σε μια περιοχή.
- Είναι επιθυμητό να γειτνιάζουν χωρίς όμως να είναι απαραίτητο να συγκροτούν ένα ενιαίο κτιριακό σύνολο.
- Θεωρούνται μικρο-εργοστάσια (micro-factories).
- Έχουν εντάξει στην διαδικασία παραγωγής ή σκοπεύουν να εντάξουν ψηφιακές εργαλειομηχανές
- Κάνουν χρήση ψηφιακού σχεδιασμού των προϊόντων τους ή τμημάτων προϊόντων τους ή λαμβάνουν ψηφιακά αρχεία για την παραγωγή προϊόντων ή αναθέτουν σε τρίτους τον ψηφιακό σχεδιασμό προϊόντων ή τμημάτων προϊόντων.

Είναι προφανές ότι το σχήμα αναφέρεται σε εκείνο το κομμάτι της μεταποίησης που δεν ανήκει στην μεγάλη βιομηχανία και που φυσικά μένει να οριστεί. Στην περίπτωση του κατασκευαστικού κλάδου, για παράδειγμα, δεν μπορεί να περιλαμβάνει την βιομηχανία αλουμινίου, μπορεί ωστόσο να εφαρμοστεί στις μικρές μονάδες επεξεργασίας ημιδιαμορφωμένων προϊόντων για την κατασκευή.

Σε αυτή την λογική, μια ενιαία δραστηριότητα μπορεί να κατανέμεται σε ένα πλήθος τόπων κατανεμημένων στον μητροπολιτικό χώρο, που συνεργάζονται για την επίτευξη ενός κοινού στόχου. Τα δίκτυα μικροεπεμβάσεων προτείνουν έναν νέο τρόπο αντίληψης και επέμβασης στον αστικό ιστό, που αντιτίθεται στις μεγάλες, ριζικές επεμβάσεις έντασης κεφαλαίου, ιδιαίτερα στην σημερινή περίοδο κρίσης.

Η ελαχιστοποίηση του μεγέθους της κάθε τοπικής επέμβασης συνδυάζεται με την μεγιστοποίηση της συνολικής επιρροής που προσφέρει η δικτυακή τους συνεργασία. Οι τοπικές μικρές μονάδες

παραγωγής, υποστηριζόμενες από δίκτυα κοινών (commons) σχεδιασμού είναι δυνατόν να εξυπηρετήσουν αυτή την κατεύθυνση επέμβασης στον αστικό χώρο μέσα από δίκτυα μικρο – επεμβάσεων, που συνδέονται με τοπικές συλλογικές αποφάσεις διαμόρφωσης του κοινού χώρου.

Πρόσφατα, αρκετά open-source (OS) μοντέλα έχουν αναπτυχθεί, τα οποία προσφέρουν ένα εναλλακτικό μοντέλο παραγωγής με χαμηλό κόστος. Η περισσότερο επιτυχημένη από αυτές είναι η αυτοαναπαραγόμενος ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων (RepRap), η οποία μπορεί να κατασκευαστεί από απλά υλικά, open-source ηλεκτρονικά, και κοινό hardware για κάτω από \$ 500. Η RepRap, έχει ανοίξει την πόρτα της πρόσθετης κατασκευής επιπέδων σε ένα ευρύ φάσμα πιθανών χρηστών, λόγω του χαμηλού κόστους και της απλότητας κάνοντας το distributed manufacturing μικρής κλίμακας τεχνικά εφικτό. Η δυνατότητα αλλαγής σύνθεσης επιτρέπει περισσότερο περίπλοκα σχήματα να παράγονται με δομική ακεραιότητα και παράλληλη ελαχιστοποίηση της χρήσης πρώτων υλών.

Αυτό σε συνδυασμό με τη δυνατότητα μείωσης της ενσωματωμένης ενέργειας κινήσεων το οποίο είναι δυνατό να επιτευχθεί από το distributed manufacturing καθιστά δυνατό να είναι λιγότερο ενεργοβόρο από τις συμβατικές κατασκευές αφαίρεσης υλικού. Ωστόσο, το συνολικό περιβαλλοντικό όφελος από το distributed manufacturing δεν είναι ακόμα ξεκάθαρα λόγω π.χ. θερμοδυναμικοί περιορισμοί όταν επεξεργάζονται μικρότεροι όγκοι.

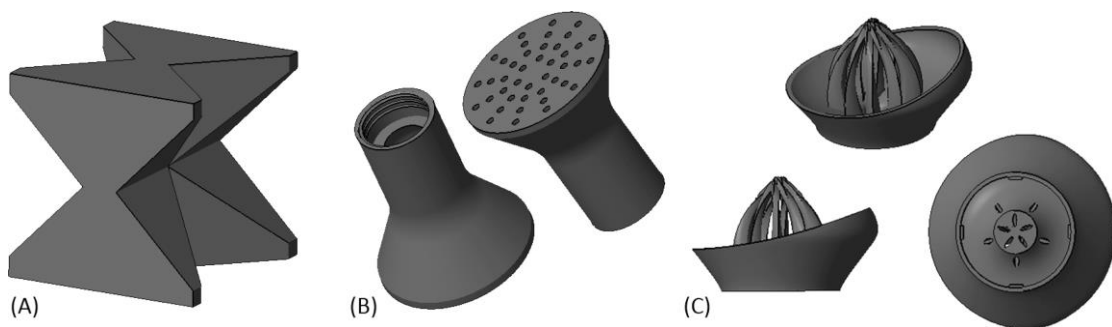
Η μελέτη αυτή αξιολογεί το δυναμικό της χρησιμοποίησης ενός κατανεμημένου δικτύου 3D εκτυπωτών να παράγουν τρία είδη από πλαστικά εξαρτήματα και προϊόντα. Μια προκαταρκτική ανάλυση του κύκλου ζωής (AKZ) της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) γίνεται για το distributed manufacturing χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους open-source 3D εκτυπωτές και σύγκριση με τα συμβατικά μέσα παραγωγής στο εξωτερικό. Αυτή η σύγκριση γίνεται για να παρουσιαστεί μια ρεαλιστική προσέγγιση της κατασκευής, καθώς το distributed manufacturing έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στο σπίτι για προϊόντα που παράγονται συνήθως στο εξωτερικό. Για να αξιολογηθεί περαιτέρω το distributed manufacturing ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί φωτοβολταϊκά έχει ποσοτικοποιηθεί καθώς οι εκπομπές ρύπων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση του πλέγματος εκπομπών και τα Φ/Β συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δράσουν από άποψη κλίμακας σαν φορτία ρεύματος των κατασκευών. Τα αποτελέσματα αξιολογούνται και χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη βιωσιμότητα και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις του distributed manufacturing.

5.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι μέθοδοι παραγωγής που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη αντιπροσωπεύουν τα πιο συχνά πρωτόκολλα 3D εκτύπωσης. Η RepRap με ένα x 200 mm 200 × 140 χιλιοστά (ύψος) φακέλου χρησιμοποιείται για την εκτύπωση όλων των προϊόντων – συστατικά των προϊόντων χρησιμοποιώντας τα θερμοπλαστικά: κρυλονιτρίλιο, βουταδιενίου στυρολίου (ABS) και πολυγαλακτικό οξύ (PLA). Το PLA είναι ένα πολυεστερικό θερμοπλαστικό που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως άμυλο αραβοσίτου, καθιστώντας το μια καλή εναλλακτική λύση λόγω της χαμηλής του περιβαλλοντικής επίπτωσης. Η θερμοκρασία ABS του εξωθητή ήταν 230 ° C και η θερμοκρασία της κλίνης ήταν 110 ° C. Το PLA έχει εκτυπωθεί με θερμοκρασία εξωθητήρα 185 ° C, με θερμοκρασία πρώτης στρώσης 63 ° C για να διασφαλιστεί η πρόσφυση, ακολουθούμενη από την θερμοκρασία κλίνης εκτύπωσης 60 ° C.

Οι μετρήσεις ενέργειας έγιναν χρησιμοποιώντας ένα πολύμετρο ($\pm 0,005$ kW h). Κατά τη διάρκεια της αρχικής θέρμανσης (για να αυξηθεί η θερμοκρασία για την εκτύπωση τόσο στο κρεβάτι εκτύπωσης όσο και στο ακροφύσιο του εξωθητή) και κατά την εκτύπωση κάθε μεμονωμένου αντικειμένου.

Τρία προϊόντα επιλέχθηκαν με βάση την αυξανόμενη πολυπλοκότητα, την εμπορικής διαθεσιμότητα, συχνή εκτύπωση από την 3D κοινότητα και τη διαθεσιμότητα ελεύθερων STL αρχείων. Τα παρακάτω εκτυπώθηκαν με 3D εκτύπωση με γωνία πλήρωσης 45 ° χρησιμοποιώντας ένα ευθύγραμμο σχήμα στο ABS και στο PLA: ένα block , ένα "σύστημα παροχής νερού", και έναν "αποχυμωτή» (Εικόνα 1).



Εικόνα 1

5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής που χρησιμοποιείται εδώ για να ποσοτικοποιηθεί η διαφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μεταξύ conventional και συμβατικών κατασκευών. Παρόμοιες μελέτες σύγκρισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων παραγωγικών μεθόδων έχουν γίνει και για άλλα αγαθά όπως καύσιμα, λιπαντικά και το τσιμέντο. Οι επιπτώσεις του κύκλου ζωής των προϊόντων εφαρμόστηκαν στην Ecoinvent v2.0 βάση δεδομένων χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SimaPro 7.2. Κάθε καταχώρηση στο Ecoinvent v2.0 είναι αθροιστική και περιέχει όλες οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις μέχρι την είσοδο στη παραγωγή του προϊόντος. Μία «cradle-to-gate» ανάλυση έγινε (από την εξαγωγή των πρώτων υλών μέχρι την αποστολή του τελικού προϊόντος από το εργοστάσιο), με το εργοστάσιο να βρίσκεται στις Ηνωμένες Πολιτείες (συμπεριλαμβανομένου της αποστολής στις ΗΠΑ, εάν βρίσκεται το εξωτερικό, η συσκευασία δεν περιλαμβάνεται). η λειτουργική μονάδα θεωρείται ότι είναι 1:1 και σημαίνει ότι για κάθε ένα κιλό υλικού παράγεται ένα τελικό προϊόν. Οι καταχωρήσεις του του LCIA φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 8 . Εισαγωγή για την ανάλυση κύκλου ζωής της μελέτης

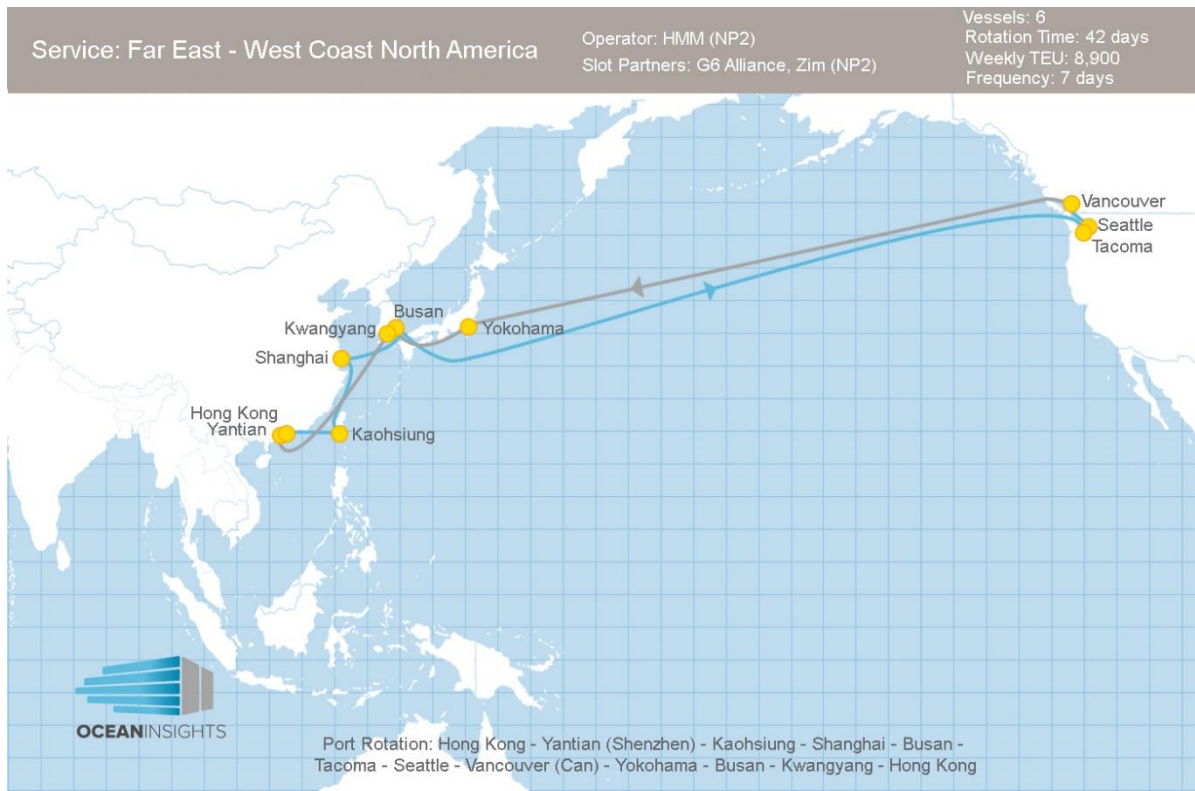
distributed manufacturing electricity, production mix U.S./U.S.
OR
electricity, PV, at 3 kWp slanted-roof, a-Si, panel, mounted/CH polylactide, granulate, NatureWorks Nebraska, U.S.
OR
acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant/RER conventional manufacturing electricity, production mix U.S./U.S.
OR
electricity, PV, at 3 kWp slanted-roof, a-Si, panel, mounted/CH polylactide, granulate, NatureWorks Nebraska, U.S.
OR
acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant/RER injection molding/RER transoceanic freight ship/international

5.3 ΜΕΘΟΔΟΙ DISTRIBUTED MANUFACTURING

Το Distributed manufacturing προσδιορίστηκε ποσοτικά χρησιμοποιώντας την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της RepRap και την κατά βάρος χρησιμοποίηση των υλικών ABS ή PLA.

5.4 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Οι συμβατικές μέθοδοι προσδιορίστηκαν ποσοτικά χρησιμοποιώντας χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 1, υποθέτοντας ένα γέμισμα 100% και με βάση τη μάζα ενός λειτουργικά δοκιμαζόμενου αντικειμένου που λήφθηκε πειραματικά. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ήταν PLA ή ABS, όπως έγινε και στο Distributed manufacturing με παραγωγή στη Κίνα, χύτευση με έγχυση (Ελβετικό ecoprofile) και θαλάσσια μεταφορά 9.213 χιλιόμετρα από Σαγκάη στο Σιάτλ. Η χύτευση με έγχυση έγινε με το ευρωπαϊκό οικολογικό προφίλ, λόγω των περιορισμών στις εισαγωγές από τη Κίνα. Αυτό θα υποτιμούσε τη τη χρήση ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα λόγω των αυστηρότερων κανονισμών στην Ε.Ε και την μεγάλη εξάρτηση της Κίνας από τη καύση του άνθρακα για τη παραγωγή ενέργειας. Η χύτευση με έγχυση αναφέρει ότι το τελικό προϊόν είναι 99,3% των εισροών του, αυτό θεωρήθηκε στην ανάλυση τόσο για το υλικού εισροής όσο και το εκχυνόμενο καλούπι. Μια πρόσθετη εκδοχή της συμβατικής κατασκευής έγινε για την περίπτωση του "μπλοκ" ώστε να εξεταστεί η χρησιμοποίηση ξύλου χρησιμοποιώντας ξύλινο κύβο με πλευρές 2 ιντσών , θαλάσσια μεταφορά 6.275 χιλιομέτρων από τη Βέρνη, στη Νέα Υόρκη. Πρόσθετη επεξεργασία είναι άγνωστη για την περίπτωση του μπλοκ ξυλείας και συνεπώς υποτιμάται σε αυτή τη μελέτη.



5.5 ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Για καθεμία από αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να θεωρηθεί ότι υποτιμούμε συνολικής αθροιστικής ζήτησης ενέργειας και εκπομπών, καθώς πρόσθετη επεξεργασία μπορεί να απαιτείται για χρήση από τους τελικούς καταναλωτές (δηλαδή, λείανση, φινίρισμα, κλπ). Οι θαλάσσιες αποστάσεις υποτιμούνται καθώς έχουν υπολογιστεί σαν ευθεία γραμμή. Οι οδικές μεταφορές, υποδομές, καλούπια, συσκευασία και τα απόβλητα δεν περιλαμβάνονται στην παρούσα ανάλυση, υποτιμώντας έτσι η ενσωματωμένη ενέργεια της παραδοσιακής παραγωγής και μένουν για τις μελλοντικές εργασίες. Τα υλικά PLA και ABS χρησιμοποιήθηκαν ως παράδειγμα για κάθε προϊόν, αλλά μπορεί να μην είναι τα ιδανικά υλικά για αυτά τα προϊόντα ή μπορούν να απαιτούν πρόσθετες επενδύσεις για να μπορούν να γίνουν πιο ασφαλή για χρήση τροφίμων ή χρήση από μικρά παιδιά.

5.6 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι τιμές που μετρήθηκαν από τον εκτυπωτή RepRap που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης που αναφέρουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία, φαίνονται στην 5^η στήλη (μετρούμενη ενέργεια, CED) του πίνακα 2 και είναι αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του κύκλου ζωής και την σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους κατασκευής όπως

περιγράφηκε για την απαιτούμενη ενεργειακή ζήτηση και για τις εκπομπές CO₂ για τα επόμενα 100 χρόνια (GWP, πίνακας 9) .

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις περιπτώσεις της κατανεμημένης 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.

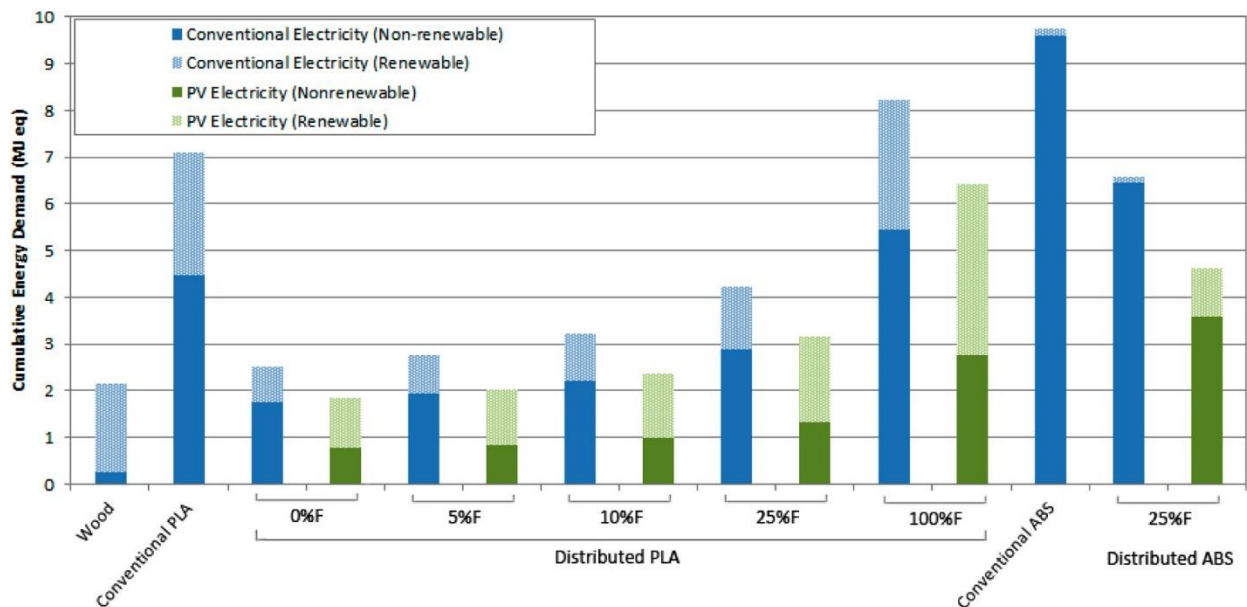
Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει τη δυνατότητα να αποτρέψει σημαντικό ποσοστό των εκπομπών του αερίου του διοξειδίου του άνθρακα, δεδομένου ότι παράγει λιγότερο από το 89% των αέριων εκπομπών που παράγουν οι πηγές της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 9. Πειραματικές τιμές (συνολική ενέργεια), συμβατική (conv), και διανεμημένες (distr) τιμές ζήτησης ενέργειας κατασκευής συνολικές συσσωρευτικές για τη χρησιμοποίηση SimaPro (Επιτροπή φόρου κατανάλωσης), τιμές εκπομπής στη δυνατότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP), και για τη διανεμημένη κατασκευή με και χωρίς τη χρήση του ηλιακού PV για να παρέχει τη χαμηλή ηλεκτρική ενέργεια έντασης εκπομπής

product	1 method	2 fill %	3 material (PLA/ ABS)	4 measured energy kWh	5 CED MJ eq	6 Δ from conv %	7 CED w/ PV MJ eq	8 Δ from conv %	9 GWP kg CO ₂ eq	10 Δ from conv %	11 GWP w/ PV kg CO ₂ eq	12 Δ from conv %
blocks	conv	100	PLA		7.09				0.26			
	distr	0	PLA	0.09	2.52	-64.5	1.84	-74.0	0.11	-57.7	0.05	-80.8
	distr	5	PLA	0.1	2.77	-60.9	2.02	-71.5	0.12	-53.8	0.06	-76.9
	distr	10	PLA	0.11	3.21	-54.7	2.38	-66.4	0.14	-46.2	0.07	-73.1
	distr	25	PLA	0.14	4.22	-40.5	3.16	-55.4	0.19	-26.9	0.09	-65.4
	distr	100	PLA	0.24	8.23	16.1	6.42	-9.4	0.35	34.6	0.19	-26.9
	conv	100	ABS		9.76				0.44			
spout	distr	25	ABS	0.26	6.58	-32.6	4.62	-52.7	0.34	-22.7	0.17	-61.4
	conv	100	PLA		1.93				0.07			
	distr	100	PLA	0.1	2.55	32.1	1.80	-6.7	0.12	71.4	0.05	-28.6
juicer	conv	100	ABS		2.38				0.11			
	distr	100	ABS	0.19	4.20	76.5	2.77	16.4	0.22	100	0.09	-18.2
	conv	100	PLA		11.58				0.43			
	distr	15	PLA	0.31	8.66	-25.2	6.32	-45.4	0.39	-9.3	0.18	-58.1
	distr	100	ABS		13.71				0.62			
distr	15	ABS	0.52	12.96	-5.5	9.03	-34.1	0.68	9.7	0.32	-48.4	

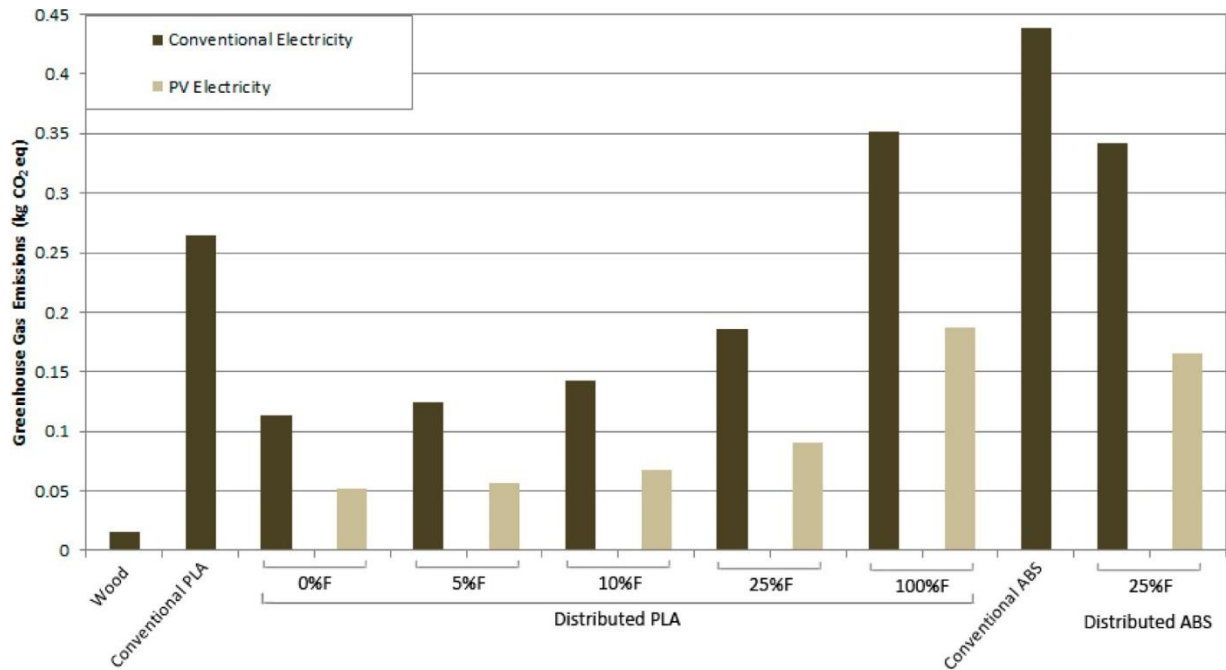
Παρόλο που δεν υπάρχουν στο εμπόριο εκτυπωτές 3 διαστάσεων τύπου RepRap που να λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια, οι έρευνες δείχνουν ότι είναι εφικτό και κάποια κόνσεπτ είναι ήδη ενεργά χρησιμοποιώντας την ανάπτυξη των ανοιχτών λογισμικών που υποστηρίζουν οι εκτυπωτές RepRap με τα οποία η κοινότητα των 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.

Πίνακας 10 Ενεργειακή ζήτηση για την παραγωγή του block



Πίνακας 10 CED of the blocks showing wood, conventional PLA, ABS at 100% fill, distributed PLA from 0 to 100% fill, and distributed ABS 25% fill, along with the effect of PV electricity.

Πίνακας 11: Εκπομπές CO₂ για την παραγωγή του block



Πίνακας 11. Greenhouse gas emissions in kg CO₂ eq (GWP 100a) for the block for wood, conventional PLA and ABS 100% fill, distributed PLA from 0 to 100% fill, and distributed ABS 25% fill, along with the effect of PV electricity.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΤΩΝ 2 ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ Η ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Συνολικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης περίπτωσης (προκαταρκτική ΑΚΖ) δείχνουν ότι η κατασκευή μέσω κατανεμημένων συστημάτων με ένα 3D εκτυπωτή RepRap έχει μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη συμβατική κατασκευή λόγω:

- (1) της δυνατότητας να προσαρμοστεί το ποσοστό εσωτερικής κάλυψης ενός προϊόντος,
- (2) της ευκολία προσαρμογής της μεθόδου εκτύπωσης στα φωτοβολταϊκά συστήματα,
- (3) της ικανότητας για να περαιτέρω μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων χρησιμοποιώντας βελτιώσεις στην ενεργειακή αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας εκτύπωσης αλλά και λόγω της ανακύκλωσης.

6.1 ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ.

Η συμβατική μέθοδος παραγωγής δεν έχει τη δυνατότητα να επέμβει στο εσωτερικό του προϊόντος αλλά με τη χρήση των τρισδιάστατων εκτυπωτών RepRap αυτό δεν αποτελεί πλέον φράγμα στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των υλικών. Η χρήση των τρισδιάστατων εκτυπωτών επιτρέπει την παραγωγή προϊόντων με σχήματα τα οποία με κάποια συμβατική μέθοδο ήταν αδύνατο να παραχθούν και μαζί με την ικανότητα να παρέμβει στο εσωτερικό του προϊόντος κατά τη διαδικασία κατασκευής επιτρέπει τη μείωση της επιπλέον επεξεργασίας αφού τρύπες και ότι άλλο χρειάζεται που ήταν αδύνατο να γίνουν με κάποια συμβατική μέθοδο, τώρα γίνονται από πριν κατά τη διαδικασία κατασκευής λαμβάνοντας την πληροφορία από το τρισδιάστατο μοντέλο.

Τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης που παρουσιάσαμε δείχνουν ότι η παραγωγή με κατανεμημένα συστήματα τρισδιάστατων εκτυπωτών απαιτεί λιγότερη κατανάλωση ενέργειας από ότι οι συμβατικές μέθοδοι όταν τα προϊόντα γίνονται με υλικά όπως PLA και ABS, πάντα για εσωτερικό ποσοστό πλήρωσης κάτω από 79%. Για πολλά προϊόντα ή μέρη τους που δεν έχουν την απαίτηση για μεγάλες μηχανικές αντοχές, είναι δυνατό να τυπώσουμε με ποσοστό πλήρωσης αρκετά κάτω από το 79%, κάτι που δείχνει πως η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει πολύ λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις απ' ότι οι συμβατικές μέθοδοι παραγωγής.

6.2 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ .

Στην περίπτωση που η παραγωγή μέσω κατανεμημένων συστημάτων συνδυάζεται με φωτοβολταϊκά συστήματα τότε η απαιτούμενη ενέργεια μειώνεται ακόμα πιο πολύ. Η χρήση φωτοβολταϊκών 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.

6.3 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 ανοικτού 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 κατανεμημένων 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.

6.4 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 [1]. 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Στη μελέτη [1] που παρουσιάστηκε ελέγχθηκε περιορισμένος αριθμός προϊόντων και σαν περαιτέρω έρευνα πρέπει να ελεγχθούν περισσότερα προϊόντα όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές αερίων των κατανεμημένων έναντι των παραδοσιακών μεθόδων κατασκευής διαφορετικών τύπων αντικειμένων. Μια ιδανική έρευνα θα αποτελούταν από μία λεπτομερέστατη ανάλυση και των δύο μεθόδων περιλαμβάνοντας όλες τις μεταβλητές όπως τη συσκευασία, τη μεταφορά και διανομή των τελικών προϊόντων.

Ακόμα πιο σημαντικό είναι ότι χρειάζεται μία πιο λεπτομερέστατη έρευνα για να εκτιμήσει την εσωτερική ενέργεια των 2 μεθόδων κατασκευής (τόσο της κατανεμημένης όσο και της συμβατικής) καθώς η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των 2 μεθόδων είναι η επένδυση σε εξοπλισμό.

Για την κατασκευή με κατανεμημένα συστήματα πρέπει να γίνει ανάλυση για εκτύπωση περισσότερων προϊόντων σε διαφορετικά είδη τρισδιάστατων εκτυπωτών έτσι ώστε να έχουμε μία πιο σφαιρική εικόνα για την ενέργεια που απαιτείται για την εκτύπωση και σε συνέχεια το ενεργειακό αποτύπωμα αυτών των εκτυπωτών.

Για τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής θα μπορούσε να γίνει μια επικοινωνία με τα εργοστάσια παραγωγής έτσι ώστε να καθοριστούν οι επιπλέον διεργασίες που χρειάζονται για την παραγωγή του τελικού προϊόντος από διάφορους κατασκευαστές.

Η συνεχής προσπάθεια μείωσης του κόστους κατασκευής αντιπροσωπεύει οικονομικά κίνητρα που οδηγούν την παραγωγή με κατανεμημένα συστήματα και δείχνουν ότι αυτή η ταχεία ανάπτυξη στους τρισδιάστατους εκτυπωτές ανοιχτού λογισμικού θα συνεχίσει για πολύ καιρό ακόμα.

Ωστόσο στην μελέτη που παρουσιάστηκε δεν συμπεριλαμβανόταν στο κατασκευαστικό κόστος (ή στο κόστος ανακύκλωσης) το κόστος του προσωπικού της λειτουργίας του εκτυπωτή κάτι που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε επόμενη έρευνα.

Επίσης σε μελλοντική μελέτη πρέπει να αναλυθεί η κοινωνική αποδοχή της παραγωγής μέσω των κατανεμημένων συστημάτων και να δοθεί μία πιο ολοκληρωμένη οικονομική ανάλυση του κόστους εκτύπωσης, εργασίας, συντήρησης / μέρος που κατασκευάζεται ή κατά τη διάρκεια ζωής του 3D εκτυπωτή.

Η 3D εκτύπωση έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τον τρόπο παραγωγής καθώς επιτρέπει σε μεμονωμένα άτομα να κάνουν υψηλής αξίας πολύπλοκα προϊόντα στο περιβάλλον του σπιτιού τους σε ελάχιστη ώρα και με ελάχιστο κόστος. Επιπλέον αυτά τα προϊόντα μπορούν να διαφοροποιηθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό και να είναι μοναδικά κάτι που προσδίδει αξία στο να τα αγοράσεις γιατί δεν είναι ίδια όπως βγαίνουν από την μαζική παραγωγή και τα αγοράζουμε από το ίντερνετ ή τα ράφια ενός μαγαζιού. Τα περισσότερα πλαστικά αγαθά μπορούν ήδη να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή RepRap ή αντίστοιχο και γίνονται έρευνες για καινούργια υλικά κατασκευής που θα χρησιμοποιηθούν από εκτυπωτές ανοιχτού λογισμικού από τον καθένα. Αυτή η λογική έχει ήδη μπει στην κοινότητα των RepRap.

Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι η δυνατότητα των εκτυπωτών να αλλάζουν το ποσοστό πλήρωσης έχει τη δυναμική να εξαλείφει την περιβαλλοντική επιβάρυνση πολλών προϊόντων. Επιπλέον είναι φανερό ότι η τεχνολογία RepRap συνεχίζει να βελτιώνεται και είναι σίγουρο πως η επίπτωση στο περιβάλλον που αφορά αυτού του είδους τους εκτυπωτές θα μειωθεί ακόμα περισσότερο.

Μπορούμε λοιπόν να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι από την μελέτη περίπτωσης που παρουσιάστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, η ανοιχτού τύπου παραγωγή μέσω κατανεμημένων συστημάτων είναι βιώσιμη και πλεονεκτεί σημαντικά από οικολογικής πλευράς απέναντι σε κάθε άλλη μέθοδο παραγωγής πλαστικών υλικών.

7.2 CLOUD MANUFACTURING

Με λίγα λόγια τα άμεσα πλεονεκτήματα της κατασκευής στο σύννεφο είναι η βελτιωμένη διανομή πόρων , η ταχεία προτυποποίηση, και η μείωση του κόστους.

Στα έμμεσα πλεονεκτήματα το cloud manufacturing επηρεάζει την κατασκευή μέσω κατανεμημένων συστημάτων. Αν και έχει γίνει αρκετή πρόοδος σε σχέση με την παραγωγή μέσω των κατανεμημένων συστημάτων, η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ακόμα δεν υποστηρίζει τις σύγχρονες εταιρείες παραγωγής καταναλωτικών αγαθών. Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι δεν έχει μεγάλη επεκτασιμότητα.

Παρακάτω αναφέρονται κάποια σημεία που θα πρέπει να γίνει περαιτέρω έρευνα:

- Με σκοπό να βελτιωθεί η ευελιξία της μεθόδου παραγωγής μέσω του σύννεφου είναι αναγκαίο να γίνει μία έρευνα στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης και των εφαρμογών αυτής στο cloud manufacturing.
- Ένας άλλος τομέας περαιτέρω έρευνας είναι η ανάπτυξη ανοιχτών προδιαγραφών επικοινωνίας.
- Ένα άλλο κομμάτι για έρευνα αντιστοιχεί στο πως μπορούμε να ερευνήσουμε τους διάυλους επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών και καταναλωτών με σκοπό να βελτιωθεί η μεταξύ τους συνεργασία στα δίκτυα της παραγωγής.
- Επίσης ένα άλλο σημείο είναι στο πως μπορούμε να πιάσουμε τη ροή των υλικών και να εκτιμήσουμε την ικανότητα της παραγωγής στα συστήματα cloud manufacturing
- Τέλος ένα σημείο για έρευνα είναι στο πώς θα μπορέσουμε να πετύχουμε την εξοικονόμηση κόστους από τα αρχικά στάδια της ανάπτυξης του προϊόντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Environmental Life Cycle Analysis of Distributed Three-Dimensional Printing and Conventional Manufacturing of Polymer Products* , Megan Kreiger† and Joshua M. Pearce*, Department of Materials Science & Engineering
2. *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, Georgia Institute of Technology, 813 Ferst Drive, NW, Atlanta, GA 30332-0405, United States
3. *Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers*, B.T. Wittbrodt a, A.G. Glover a, J. Laureto a, G.C. Anzalone b, D. Oppliger c, J.L. Irwin d, J.M. Pearce a,e,† a Department of Materials Science & Engineering, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA b Civil and Environmental Engineering, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA c Engineering Fundamentals, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA d Mechanical Engineering Technology, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA e Department of Electrical & Computer Engineering, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA
4. (42) Braanker, G. B.; Duwel, J. E. P.; Flohil, J. J.; Tokaya, G. E. Developing a plastics recycling add-on for the RepRap 3D-printer; Delft University of Technology: Delft, The Netherlands, 2010.
5. *P2P Foundation, Cognitive Capitalism*, http://p2pfoundation.net/Cognitive_Capitalism και Maurizio Lazzarato, « Immaterial Labour»
6. *F. Curtis and D. Ehrenfeld, “The New Geography of Trade: Globalization’s Decline May Stimulate Local Recovery”*, <http://www.thesolutionsjournal.com/node/1042>
7. www.phibetaiota.net/2013/02/michel-bauwens-the-inevitable-localization-of-globalization/,
8. *A Synthetic Overview of the Collaborative Economy* p2pfoundation.net/Synthetic_Overview_of_the_Collaborative_Economy.
9. *NEW WORLD-SYSTEM.* a conversation with immanuel wallerstein, <http://www.eurozine.com/articles/2013-02-08-wallerstein-en.html>,
10. *Βόφγκαγκ Φριτς ΧΑΟΥΓΚ* , *Παρέμβαση στη Διεθνή Συνάντηση που οργάνωσε το Espace Marx το 2000 στο Παρίσι με τίτλο «Πρέπει να αγωνιστούμε ενάντια στην παγκοσμιοποίηση;» Μετ. Ελένη Καλαφάτη, Αυγή, 9-2- 2011.*
11. *Michel Bauwens, « The Aims of the P2P Foundation»*,<http://blog.p2pfoundation.net/the-aims-of-the-p2pfoundation/2013/03/08> , 1.v 18-03-2013
12. *A SCULPTEO GUIDE TO COST EFFICIENCY THROUGH SHORT SERIES MANUFACTURING*, sculpteo.com
13. *MiniRecyclebot – RepRapWiki.* <http://reprap.org/wiki/MiniRecyclebot> (accessed March 27, 2013).
14. *Filabot Personal Filament Maker for 3D Printers.* <http://filabot.com/> (accessed March 27, 2013).

15. *Lyman Filament Extruder*. <http://www.thingiverse.com/thing:30642> (accessed March 27, 2013).

Ιστοσελίδες

- www.google.gr
- www.wikipedia.org
- www.sculpteo.com
- www.3dsolidforms.com
- www.thingiverse.com
- www.youmagine.com