

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

ΤΡΙΣΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

**ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΤΗΝ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΩΝ**

από

ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΦΑΝΙΟΥΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ, 2019

ΔΗΛΩΣΗ

«Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου».

«Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού ΜΔΕ ανήκουν στο μεταπτυχιακό φοιτητή και το επιβλέπον μέλος ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους ΜΔΕ ανήκουν στον μεταπτυχιακό φοιτητή και τον επιβλέποντα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο (ή των τριών σε περίπτωση συνεπιβλέποντα) ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του μη συμμετέχοντα στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο».

Περίληψη

Η τεχνολογική επανάσταση και η ωρίμανση των τεχνολογιών εκτύπωσης και υλικών οδήγησε τους κατασκευαστές σε νέα πεδία έρευνας και ανάπτυξης. Η τριδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μία καινοτόμο τεχνολογία που υπόσχεται πλήθος εφαρμογών (αυτοκινητοβιομηχανία, αρχιτεκτονική, αεροδιαστημική, μηχανική, κόσμημα, γαστρονομία, ιατρική κ.α.) με γρηγορότερο, οικονομικότερο και ευκολότερο τρόπο, αντικαθιστώντας σταδιακά τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής. Υπάρχει πληθώρα τεχνολογιών που μπορούν να εφαρμοστούν (π.χ. SLM, FDM, SLA, SLS, EBM κ.α.) καθώς επίσης και πολλοί τύποι υλικού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (π.χ. κεραμικά, πλαστικά, πολυμερή κ.α.).

Στο εμπόριο υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες τριδιάστατης εκτύπωσης μεγάλης κλίμακας (π.χ. BAAM, EBAM, WAAM κ.α.) που βρίσκουν εφαρμογές σε διάφορους τομείς της επιστήμης αλλά και της καθημερινής ζωής μας. Πολλοί ερευνητές, τόσο από κατασκευαστικές εταιρείες όσο και από τεχνολογικά ινστιτούτα, έχουν ασχοληθεί σε βάθος με τις τεχνολογίες αλλά και εφαρμογές της τριδιάστατης εκτύπωσης μεγάλης κλίμακας και έχουν δημοσιεύσει τις μελέτες τους ώστε να γνωρίσουμε καλύτερα την εν λόγω τεχνολογία. Το ενδιαφέρον των ερευνητών παρουσιάζει ανοδική πορεία στο πέρασμα των χρόνων και εναλλάσσεται σε διαφορετικά θεματικά πεδία (ανάλογα με τις τρέχουσες ανάγκες).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα γίνει προσπάθεια διερεύνησης του βαθμού του ενδιαφέροντος αυτού ώστε να διαπιστωθούν τυχόν ελλείψεις από την επιστημονική κοινότητα.

Ευχαριστίες

Ως την ελάχιστη δυνατή μνεία, με την παρούσα παράγραφο οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνησή της και ιδιαίτερα: Τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κο Γιαννασή Ιωάννη, για την πολύτιμη υποστήριξή του, τις παραγωγικές υποδείξεις του και το πολύ καλό κλίμα συνεργασίας που διαμόρφωσε συμβάλλοντας τα μέγιστα για την κατάρτιση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να απευθύνω στην Μοσχανδρέου Ελένη για την καθοριστική της βοήθεια.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την κατανόηση που έδειξε όλο αυτό το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Ευχαριστίες	ii
Λίστα Γραφημάτων/Εικόνων	iv
Λίστα Πινάκων	vii
Γλωσσάριο	ix
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	4
2.1. Ορισμός της προσθετικής κατασκευής (additive manufacturing) ή τριδιάστατης εκτύπωσης (3D Printing).....	4
2.2. Ιστορική αναδρομή της προσθετικής κατασκευής / τριδιάστατης εκτύπωσης	6
2.3. Διαφορετικές τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής / τριδιάστατης εκτύπωσης.....	9
2.4. Εφαρμογές της προσθετικής κατασκευής / τριδιάστατης εκτύπωσης.....	16
Κεφάλαιο 3: Μεγάλης κλίμακας τριδιάστατη εκτύπωση	21
3.1. Τι είναι η μεγάλης κλίμακας τριδιάστατη εκτύπωση;	21
3.2. Τεχνολογίες τριδιάστατης εκτύπωσης μεγάλης κλίμακας.....	21
3.3. Βιομηχανικοί τομείς που μπορούν να επωφεληθούν από την μεγάλης κλίμακας τριδιάστατη εκτύπωση.....	25
Κεφάλαιο 4: Επιστημονικές έρευνες	30
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Προτάσεις	62
Βιβλιογραφικές Αναφορές	73

Λίστα Γραφημάτων/Εικόνων

Γράφημα 4.1.: Ερευνητική τάση για την προσθετική κατασκευή παγκοσμίως και η χρηματοδότηση της έρευνας στο Ηνωμένο Βασίλειο.....	33
Γράφημα 4.2.: Συνολικός αριθμός δημοσιεύσεων για την προσθετική κατασκευή παγκοσμίως ανά έτος	33
Γράφημα 4.3.: Οι 20 πρώτες χώρες που ασχολούνται με την έρευνα της προσθετικής κατασκευής παγκοσμίως.....	34
Γράφημα 4.4.: Οι 20 κορυφαίοι οργανισμοί (Πανεπιστήμια) που ασχολούνται με την έρευνα της προσθετικής κατασκευής παγκοσμίως	37
Γράφημα 4.5.: Ο συνολικός αριθμός των δημοσιεύσεων παγκοσμίως των διαφόρων τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής.....	38
Γράφημα 4.6.: Συνολικός Αριθμός δημοσιεύσεων των 10 κορυφαίων χωρών για κάθε πεδίο	38
Γράφημα 4.7.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά έτος (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	40
Γράφημα 4.8.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα για τους 10 κορυφαίους (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	43
Γράφημα 4.9.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά χώρα για τις 10 κορυφαίες (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	46
Γράφημα 4.10.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	47
Γράφημα 4.11.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	48
Γράφημα 4.12.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής για τους 15 κορυφαίους (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	51
Γράφημα 4.13.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά έτος (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	52
Γράφημα 4.14.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα για τους 10 κορυφαίους (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	55
Γράφημα 4.15.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά χώρα (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	57
Γράφημα 4.16.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	58

Γράφημα 4.17.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	59
Γράφημα 4.18.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής για τους 15 κορυφαίους (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	61
Γράφημα 4.19.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού παραπομπών ανά έτος δημοσιεύσεων (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	62
Γράφημα 4.20.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού των 10 κορυφαίων δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο με βάση τον αριθμό των παραπομπών (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	65
Γράφημα 4.21.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού παραπομπών ανά έτος δημοσιεύσεων (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	66
Πίνακας 4.19.: Οι κορυφαίες 30 δημοσιεύσεις με τον μεγαλύτερο αριθμό παραπομπών και το θεματικό πεδίο αναφοράς τους (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing). 67	
Γράφημα 4.22.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού των 6 κορυφαίων δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο με βάση τον αριθμό των παραπομπών (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	69
Εικόνα 2.1.: Ιστορική αναδρομή των 3D εκτυπωτών.....	6
Εικόνα 2.2.: Απεικόνιση της μεθόδου SLA.....	10
Εικόνα 2.3.: Απεικόνιση της μεθόδου DLP.....	11
Εικόνα 2.4.: Απεικόνιση της μεθόδου FDM.....	12
Εικόνα 2.5.: Απεικόνιση της μεθόδου SLS.....	12
Εικόνα 2.6.: Απεικόνιση της μεθόδου SLM.....	13
Εικόνα 2.7.: Απεικόνιση της μεθόδου EBM.....	14
Εικόνα 2.8.: Απεικόνιση της μεθόδου LOM.....	22
Εικόνα 2.9.: Απεικόνιση της μεθόδου BJ.....	15
Εικόνα 2.10.: Απεικόνιση της μεθόδου MJ.....	16
Εικόνα 2.11.: Τριδιάστατη εκτύπωση μεταλλικών πρωτότυπων.....	17
Εικόνα 2.12.: Τριδιάστατο προστατευτικό τροχού στο εργοστάσιο της Volkswagen Autoeuropa.....	17
Εικόνα 2.13.: Παραγωγή μικρών παρτίδων.....	18
Εικόνα 2.14.: Τριδιάστατα σχέδια σύμφωνα με την αρχική ιδέα.....	18

<i>Εικόνα 2.15.: Τα τριδιάστατα μοντέλα από τα δεδομένα σάρωσης βοηθούν στο σχεδιασμό της χειρουργικής επέμβασης.....</i>	19
<i>Εικόνα 2.16.: Τριδιάστατη εκτυπωμένη οδοντοστοιχία</i>	19
<i>Εικόνα 2.17.: Τριδιάστατα εκτυπωμένα κοσμήματα.....</i>	20
<i>Εικόνα 3.1.: Μηχανή BAAM του Εθνικού Εργαστηρίου του Oak Ridge για την εκτύπωση μεγάλων τμημάτων πολυμερών σε 3D.....</i>	22
<i>Εικόνα 3.2.: Το Strati της Local Motors, το πρώτο αυτοκίνητο 3D που τυπώθηκε από την Local Motors, χρησιμοποίησε την τεχνολογία BAAM της ORNL και παρουσιάστηκε στο IMTS το 2014.....</i>	22
<i>Εικόνα 3.3.: Ο μεγάλος 3D εκτυπωτής EBAM της Sciaxy.....</i>	23
<i>Εικόνα 3.4.: Ρομποτικός 3D εκτυπωτής WAAM που αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο Cranfield ..</i>	24
<i>Εικόνα 3.5.: 3D Εκτυπωτής Voxeljet's VX400.....</i>	24
<i>Εικόνα 3.6.: Η Lockheed Martin 3D εκτυπώνει μεγάλους θόλους τιτανίου για διαστημόπλοια χρησιμοποιώντας την τεχνολογία EBAM του Sciaxy</i>	25
<i>Εικόνα 3.7.: 3D-τυπωμένα εργαλεία λεπίδων για τα ελικόπτερα Bell.....</i>	26
<i>Εικόνα 3.8.: Χρησιμοποιώντας την εκτύπωση 3D για την αποκατάσταση της πρόσοψης του εργοστασίου ζάχαρης του Domino στη Νέα Υόρκη</i>	28
<i>Εικόνα 3.9.: Ένας 3D τυποποιημένος τύπος πτερυγίου προπέλας και το έτοιμο τμήμα</i>	29

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 4.1.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος σχετικές με την 3D εκτύπωση.....	30
Πίνακας 4.2. : Οι κορυφαίες εννέα επιστημονικές εργασίες συνεδρίων.....	31
Πίνακας 4.3: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	40
Πίνακας 4.4: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα.....	42
Πίνακας 4.5.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά χώρα (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	45
Πίνακας 4.6.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	46
Πίνακας 4.7.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	47
Πίνακας 4.8.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	48
Πίνακας 4.9.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	51
Πίνακας 4.10.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	53
Πίνακας 4.11.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά χώρα (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	56
Πίνακας 4.12.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	57
Πίνακας 4.13.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	59
Πίνακας 4.14.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	60
Πίνακας 4.16.: Οι κορυφαίες 30 δημοσιεύσεις με τον μεγαλύτερο αριθμό και το θεματικό πεδίο αναφοράς τους (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	63
Πίνακας 4.17.: Ο αριθμός των κορυφαίων δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο με βάση τον αριθμό των παραπομπών (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing).....	64
Πίνακας 4.18.: Αριθμός παραπομπών ανά έτος δημοσιεύσεων (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	66

Πίνακας 4.19.: Οι κορυφαίες 30 δημοσιεύσεις με τον μεγαλύτερο αριθμό και το θεματικό πεδίο αναφοράς τους (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	67
Πίνακας 4.20.: Ο αριθμός των κορυφαίων δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο με βάση τον αριθμό των παραπομπών (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing).....	68

Γλωσσάριο

AM	-	Additive Manufacturing
BAAM	-	Big Area Additive Manufacturing
BJ	-	Binder Jetting
CAD	-	Computer-Aided Design
CNC	-	Computer Numerical Control
DLP	-	Digital Light Processing
EBAM	-	Electron Beam Additive Manufacturing
EBM	-	Electronic Beam Melting
FDM	-	Fused Deposition Modeling
LOM	-	Laminated Object Manufacturing
MJ	-	Material Jetting
RP	-	Rapid Prototyping
SLA	-	Stereolithography
SLM	-	Selective laser melting
SLS	-	Selective Laser Sintering
WAAM	-	Wire Arc Additive Manufacturing

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

Πολλές αλλαγές έχουν πραγματοποιηθεί τους τελευταίους αιώνες. Τον 19^ο αιώνα η ανθρωπότητα έζησε τη βιομηχανική επανάσταση με εφευρέσεις που άλλαξαν σημαντικά τη ζωή των ανθρώπων, όπως είναι η ατμομηχανή και ο τηλεγράφος. Ο 20^{ος} αιώνας, με τη ραγδαία ανάπτυξη του διαδικτύου οδήγησε στον εκμηδενισμό των αποστάσεων ανάμεσα στις ηπείρους με αποτέλεσμα να είναι ταχύτητη η μεταφορά της πληροφορίας και γενικά κάθε μορφή επικοινωνίας. Ο 21^{ος} αιώνας, έφερε επίσης σημαντικές καινοτομίες και επιτεύγματα που άλλαξαν τη ζωή των ανθρώπων, ανάμεσα στα οποία είναι και η τεχνική της **τριδιάστατης εκτύπωσης**, μία τεχνική που έχει ραγδαία ανάπτυξη και μείωσε σημαντικά τον χρόνο και το κόστος κατασκευής αντικειμένων, ανατρέποντας έτσι πολλά δεδομένα των επιστημών. Η τεχνική αυτή βασίζεται στη μέθοδο της προσθετικής κατασκευής βάσει της οποίας μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα οποιοδήποτε αντικείμενο σε μικρό χρόνο μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορα είδη πρώτων υλών και ειδικούς τριδιάστατους εκτυπωτές.

Η εν λόγω τεχνολογία βρίσκει εφαρμογήσε πολλούς τομείς όπως ο βιομηχανικός σχεδιασμός, η μηχανική, η αρχιτεκτονική, η ιατρική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική, η εκπαίδευση κ.α. Οι τριδιάστατοι εκτυπωτές μπορούν να κατασκευάσουν αντικείμενα από διάφορα είδη υλικών όπως μέταλλα, πλαστικά, κεραμικά κ.α. σε γεωμετρικά σχήματα τα οποία είναι αδύνατο να επιτευχθούν με άλλες τεχνικές κατασκευής. Υπάρχουν πέντε κοινά στάδια που ακολουθούν όλες οι τεχνικές της τριδιάστατης εκτύπωσης: α) δημιουργία αρχικού ψηφιακού μοντέλου CAD, β) μετατροπή του μοντέλου CAD σε αρχείο της μορφής STL, γ) τεμαχισμός του αρχείου STL σε διατομές ελάχιστου πάχους, δ) κατασκευή του αντικειμένου με αλληλαπόθεση των διατομών και ε) καθαρισμός και τελικό φινίρισμα του μοντέλου.

Με τους 3D εκτυπωτές επαγγελματικής χρήσης μπορούμε να εκτυπώσουμε μεγάλη γκάμα διαφορετικών αντικειμένων, από εξαρτήματα αυτοκινήτων και αεροπλάνων μέχρι διαστημικούς σταθμούς σε συνθήκες μηδενικής βαρύτητας. Εφαρμογές έχουν επίσης στην ιατρική και στη βιοτεχνολογία όπως για παράδειγμα η εκτύπωση μοσχεύματος ήπατος και καρδιάς. Πολλές είναι και οι εφαρμογές σε ενδύματα, υποδήματα, κοσμήματα και αξεσουάρ.

Με τους καταναλωτικούς ή οικιακούς 3D εκτυπωτές μπορούμε να κατασκευάσουμε πάρα πολλά αντικείμενα όπως παιδικά παιχνίδια, θήκες για κινητά, μουσικά όργανα και

οτιδήποτε άλλο σκεφτούμε και σχεδιάσουμε με το ειδικό λογισμικό που συνοδεύει τους 3D εκτυπωτές.

Η τεχνολογία αυτή δεν είναι καινούρια μιάς και έχουμε την εμφάνιση της τριδιάστατης εκτύπωσης στη δεκαετία του 1990. Λόγω του αρκετά μικρού κόστους των καταναλωτικών ή οικιακών 3D εκτυπωτών, η χρήση τους απογειώθηκε και πλέον μπορεί ο καθένας σπίτι του να κατασκευάζει τα επιθυμητά αντικείμενα. Οι προοπτικές της χρήσης των 3D εκτυπωτών, μοιάζουν ανεξάντλητες, καθώς τα αντικείμενα που μπορούμε να τυπώσουμε δεν έχουν όρια όσο αφορά το σχέδιο, το σχήμα και τη λειτουργικότητά τους.

Το να μετατρέψουμε μία ιδέα σε ένα σχέδιο και στη συνέχεια σε αντικείμενο είναι μία διαδικασία αρκετά σύνθετη με ενδιάμεσα στάδια για τα οποία απαιτείται παλαιότερα απαιτείτο η μεσολάβηση αρκετών τεχνικών και εργατών, οι οποίοι προσπαθούσαν να δώσουν μορφή και υλική υπόσταση στο σχέδιο βασιζόμενοι στην πείρα, τις δεξιότητες και διάφορα εργαλεία. Η κατασκευή ενός αντικειμένου με τις νέες μεθόδους απαιτεί συνήθως λίγες ώρες (ο χρόνος συχνά είναι συνάρτηση του τύπου, της ταχύτητας και ακρίβειας εκτύπωσης του μηχανήματος, το μέγεθος του αντικειμένου αλλά και του αριθμού των αντικειμένων που θέλουμε να παράξουμε ταυτόχρονα).

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μία εισαγωγική αναφορά της εξέλιξης της τεχνολογίας της 3D εκτύπωσης στο πέρασμα των αιώνων και των διαφόρων τομέων που βρίσκει εφαρμογή η τεχνική αυτή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται διάφοροι ορισμοί για την τριδιάστατη εκτύπωση ή προσθετική κατασκευή όπως συνηθίζεται να ονομάζεται. Στη συνέχεια ακολουθεί μία ιστορική αναδρομή της προσθετικής κατασκευής / τριδιάστατης εκτύπωσης στο πέρασμα των δεκαετιών. Επίσης γίνεται αναφορά στις διαφορετικές τεχνολογίες και τέλος περιγράφονται οι εφαρμογές των εν λόγω τεχνολογιών.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός της μεγάλης κλίμακας τριδιάστατης εκτύπωσης και παρουσιάζονται μερικές από τις διαθέσιμες στο εμπόριο τεχνολογίες. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στους βιομηχανικούς τομείς που μπορούν να επωφεληθούν από την μεγάλης κλίμακας τριδιάστατη εκτύπωση όπως η αεροδιαστημική, ο κατασκευαστικός τομέας κ.α.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται διερεύνηση του αριθμού των επιστημονικών μελετών που έχουν γίνει και αφορούν την τεχνολογία της τριδιάστατης εκτύπωσης ή προσθετικής κατασκευής. Θα κάνουμε νέα αναζήτηση στη βάση δεδομένων Scopus με λέξεις κλειδιά το large scale additive manufacturing και το big area additive manufacturing ώστε να διαπιστώσουμε το βαθμό μελέτης των εν λόγω θεμάτων στη διεθνή επιστημονική

κοινότητα, για το ποιοί έχουν ασχοληθεί περισσότερο αλλά και ποιά είναι τα θεματικά πεδία μεγαλύτερου ενδιαφέροντος.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται σχόλια και συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 2^ο: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1. Ορισμός της προσθετικής κατασκευής (*additive manufacturing*) ή τριδιάστατης εκτύπωσης (*3D Printing*)

Συχνά γίνεται συζήτηση για την τριδιάστατη εκτύπωση ή την προσθετική κατασκευή. «Προσθετική κατασκευή» είναι ένας επίσημος όρος που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία, ενώ ο όρος «τριδιάστατη εκτύπωση» (3d printing) είναι ένα συνώνυμο που χρησιμοποιείται ευρέως (Τράντζας, 2016).

Με την **προσθετική κατασκευή (additive manufacturing)** αναφερόμαστε στη διαδικασία σύνδεσης διαφόρων υλικών προκειμένου να κατασκευάσουμε αντικείμενα από δεδομένα τριδιάστατων μοντέλων (συνήθως με προσθήκη διαδοχικών στρωμάτων) σε αντίθεση των μεθοδολογιών κατασκευής που βασίζονται στην αφαίρεση υλικού ή τη χύτευση (Κωστίδη & Νικητάκος, 2016; Μασούρα, 2016). Είναι δηλαδή το «χτίσιμο» στρώση-στρώση του αρχικού μας υλικού, μέχρις ότου κατασκευάσουμε το τελικό επιθυμητό μας αντικείμενο (Νικητάκος & Κωστίδη, 2017).

«Προσθετική κατασκευή» είναι ο καθιερωμένος πλέον όρος αυτού που τα προηγούμενα χρόνια αποκαλείτο «ταχεία πρωτοτυποποίηση» (Rapid Prototyping – RP) και σήμερα είναι γνωστή στο ευρύ κοινό ως τριδιάστατη εκτύπωση (3D printing). Άλλοι όροι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ίδια ουσιαστικά τεχνολογία, είναι αυτοματοποιημένη κατασκευή (Automated Fabrication – Autofab), κατασκευή ελεύθερης μορφής ή κατασκευή ελεύθερης μορφής στερεού (FreeformFabrication or Solid Freeform Fabrication), στρωματική κατασκευή (Layer-Based Manufacturing), στερεολιθογραφία (Stereolithography).

Οι περισσότεροι που εργάζονται στη βιομηχανία προτιμούν τον όρο «manufacturing» αντί του «fabrication», θέλοντας να αποφύγουν τον ελαφρώς αρνητικό συνειρμό του «fabrication», ότι δηλαδή το κατασκευαζόμενο κομμάτι είναι κάποιο «πρωτότυπο» και όχι το τελικό αντικείμενο. Έτσι η χρήση του όρου «προσθετική κατασκευή» «Additive Manufacturing» κερδίζει συνεχώς έδαφος.

Ο όρος Προσθετική Κατασκευή ή εναλλακτικά Στρωματική Κατασκευή (Layer Manufacturing) έχει καθιερωθεί σταδιακά στο χώρο της βιομηχανίας προκειμένου να περιγράψει μία ομάδα νέων κατασκευαστικά τεχνολογιών αλλά και παραγωγικών μεθόδων που κοινό τους χαρακτηριστικό είναι η κατασκευή αντικειμένων μέσω διαδικασιών ελεγχόμενης πρόσθεσης υλικού (Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά

Συγγράμματα και Βοηθήματα, χ.χ.). Ο ψηφιακός προγραμματισμός και έλεγχος των μηχανών (CNC – Computer Numerical Control) αρχικά εφαρμόστηκε σε κατεργασίες κοπής ή αφαίρεσης υλικού. Η τεχνολογική επανάσταση οδήγησε στην εξέλιξη της τεχνολογίας CNC η οποία σε συνδυασμό και με την εξέλιξη των συστημάτων σχεδίασης CAD δημιούργησαν πολλές εφαρμογές λογισμικού CAD/CAM και κατά συνέπεια αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη της Προσθετικής Κατασκευής (Additive Manufacturing). Στην εν λόγω τεχνολογία είναι εφικτή η χρήση διαφόρων υλικών (μέταλλα, θερμοπλαστικά πολυμερή, κεραμικά, φωτοπολυμερή κ.α.) σε ποικίλες μορφές (κόκκοι, υγρή, φύλλα) τα οποία προστίθονται σταδιακά σε λεπτά στρώματα μέχρι να «χτιστεί» το αντικείμενο (και για το λόγο αυτό συχνά γίνεται αναφορά της τεχνολογίας με τον όρο Στρωματική Κατασκευή).

Το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT) χρησιμοποίησε αρχικά τον όρο Τριδιάστατη Εκτύπωση (3D printing), όπου και επινοήθηκε η συγκεκριμένη τεχνολογία, η οποία στηρίζεται σε αρχή παρόμοια με εκείνη των εκτυπωτών ψεκασμού μελάνης (ink-jet), προκειμένου να περιγράψει την τεχνική της Προσθετικής Κατασκευής και με το πέρασμα των χρόνων καθιερώθηκε ως συνώνυμος όρος της Προσθετικής Κατασκευής (είναι πιο οικείος στο άκουσμα για το ευρύ κοινό). Συνέπεια αυτού είναι να χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως εναλλακτικός όρος για την περιγραφή όλων των τεχνολογιών πρόσθεσης υλικού. Επιστημονικάωστόσο, ο όρος Προσθετική Κατασκευή είναι πιο έγκυρος. Πολλοί θεωρούν ότι ο όρος «τριδιάστατη εκτύπωση» θα επικρατήσει τελικά για την περιγραφή των τεχνολογιών της προσθετικής κατασκευής, καθώς έχει προτιμηθεί διεθνώς από τα μέσα ενημέρωσης, με αποτέλεσμα το ευρύ κοινό να γνωρίζει καλύτερα τον όρο 3D εκτύπωση παρά προσθετική κατασκευή.

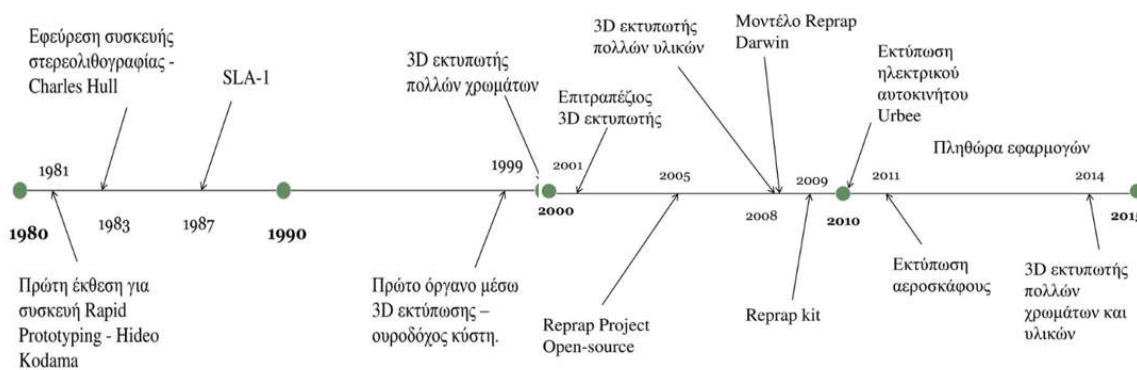
Το βασικό χαρακτηριστικό της προσθετικής τεχνολογίας είναι ότι ένα μοντέλο που αρχικά δημιουργείται με τη χρησιμοποίηση ενός τριδιάστατου συστήματος Computer-Aided Design (3D-CAD), μπορεί πια να κατασκευαστεί απευθείας, χωρίς να απαιτείται προηγουμένως ο προγραμματισμός της διαδικασίας παραγωγής του.

Σε κάθε περίπτωση, η νέα τεχνολογία έχει ήδη φέρει επανάσταση στην ανάπτυξη και στην παραγωγή προϊόντων – και το μέλλον είναι δικό της. Κάποιοι αναλυτές εκτιμούν μάλιστα ότι η παραγωγή προϊόντων, όπως τη γνωρίζουμε σήμερα, σταδιακά θα πάψει να υπάρχει και θα αντικατασταθεί από παραλλαγές των τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής.

2.2. Ιστορική αναδρομή της προσθετικής κατασκευής / τριδιάστατης εκτύπωσης

Για πολλούς τα πρώτα βήματα της τριδιάστατης εκτύπωσης βρίσκονται στα 1983 όπου Chuck Hull είχε την λαμπρή ιδέα ότι αν ήταν σε θέση να τοποθετήσει επάλληλα χιλιάδες λεπτά στρώματα πλαστικού, χτίζοντας στην ουσία το ένα στρώμα επάνω από το άλλο και στη συνέχεια να χαράξει το σχήμα τους, χρησιμοποιώντας το φως, τότε θα ήταν σε θέση να σχηματίσει τριδιάστατα αντικείμενα (Nathan, 2014).

Υπάρχουν αρκετοί επιστήμονες που θεωρούν ότι η προέλευση της τριδιάστατης εκτύπωσης προηγήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1900 μέσω της αυτόματης μηχανής δείκτη που χρησιμοποίησε ο Γερμανός γλύπτης Max Kruse. Ο πρώτος τριδιάστατος εκτυπωτής παρουσιάστηκε το 1984 από την “3D Systems Corporation” (Lindstrom, 2014). Από τότε η τεχνολογία και σε αυτόν τον τομέα έχει σημειώσει αξιοθαύμαστα άλματα (Manyika et al., 2013). Ωστόσο, μόλις γύρω στο 2010, ένας αυξανόμενος αριθμός επιχειρήσεων και νοικοκυριών άρχισε να διερευνά τη νέα δυναμική αυτής της νέας τεχνολογίας, κυρίως λόγω της εισαγωγής λιγότερο δαπανηρών μοντέλων τριδιάστατων εκτυπωτών (3D printers). Από το 2007 έως το 2011, οι πωλήσεις τριδιάστατων εκτυπωτών αυξάνονται κατά 200-400% κάθε χρόνο (Manyika et al., 2013).



Εικόνα 2.1: Ιστορική αναδρομή των 3D εκτυπωτών
(Πηγή: Συσούρκα, 2015)

Αυτό που πολλοί άνθρωποι δεν γνωρίζουν πραγματικά είναι ότι η τριδιάστατη εκτύπωση δεν είναι μια νέα τεχνολογία. Στην πραγματικότητα, το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για εκτύπωση 3D εκδόθηκε με επιτυχία το 1986. Πιο αναλυτικά:

Η δεκαετία του 1980:

Ιαπωνία: Η ιστορία της τριδιάστατης εκτύπωσης αρχίζει το 1981 με την αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας του Dr. Hideo Kodama για μια συσκευή ταχείας κατασκευής πρωτοτύπων (αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στην οποία περιγράφεται το σύστημα σκλήρυνσης ρητίνης με λέιζερ). Δυστυχώς, η αίτηση του Ιάπωνα γιατρού δεν εγκρίθηκε ποτέ γιατί λόγω προβλημάτων με τη χρηματοδότηση, δεν ήταν σε θέση να ολοκληρώσει τη διαδικασία πριν από τη λήξη της προθεσμίας ενός έτους.

Γαλλία: Η ιδέα των «συσκευών ταχείας παραγωγής πρωτοτύπων» συνέχισε να αναπτύσσεται και οι επόμενοι άνθρωποι που γνωρίζουμε πως είχε αντίκτυπο η ιδέα ήταν ο Jean-Claude André, ο Olivier de Witte και ο Alain le Méhauté. Ο Méhauté εργαζόταν στην Alcatel για την έρευνα μερών fractal geometry. Διαπληκτίστηκε με τους συναδέλφους του επειδή θεώρησαν ότι η σκέψη του ήταν «εκτός δρόμου» και αποφάσισε να αποδείξει τον εαυτό του και στους άλλους ότι αυτός έχει έχει δίκιο και έτσι άρχισε να σκέφτεται πώς να παράγει τέτοια σύνθετα μέρη. Ο Le Méhauté μοιράστηκε το πρόβλημά του με τον de Witte, ο οποίος εργαζόταν για θυγατρική της Alcatel. Έχοντας εργαστεί με λέιζερ, ο De Witte γνώριζε για τα υγρά μονομερή που θα μπορούσαν να σκληρυνθούν σε στερεά με ένα λέιζερ. Αυτό άνοιξε τον δρόμο για την κατασκευή μιας συσκευής ταχείας κατασκευής πρωτοτύπων. Οι δύο έφεραν τη νέα ιδέα στον André, ο οποίος εργαζόταν στο Γαλλικό Εθνικό Κέντρο Έρευνας (CNRS). Αν και ενδιαφερόταν για την ιδέα, το CNRS τελικά δεν το ενέκρινε. Εκτός από την έλλειψη εξισώσεων, ισχυρίστηκαν ότι απλά δεν υπήρχαν αρκετοίτομείς εφαρμογής. Ο τρίτος κατέθεσε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1984, αλλά χωρίς την κατάλληλη χρηματοδότηση, η ομάδα αναγκάστηκε να εγκαταλείψει το έργο. Ταυτόχρονα, ο Charles Hull ενδιαφέρθηκε επίσης για την τεχνολογία και κατέθεσε ένα πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη στερεολιθογραφία (SLA) το 1986. Ίδρυσε το 3D Systems Corporation και ένα χρόνο αργότερα κυκλοφόρησε το SLA-1. Το 1988, στο Πανεπιστήμιο του Τέξας, ο Carl Deckard έφερε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την τεχνολογία SLS, μια άλλη τεχνική τριδιάστατης εκτύπωσης στην οποία οι κόκκοι σκόνης συντήκονται μαζί τοπικά με ένα λέιζερ. Εν τω μεταξύ, ο Scott Crump, συνιδρυτής της Stratasys Inc., κατέθεσε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη μέθοδο Fused Deposition Modeling (FDM) η οποία είναι η τρίτη από τις κύριες τεχνολογίες 3D εκτύπωσης.

Η δεκαετία του 1990: Η εμφάνιση των κύριων κατασκευαστών τριδιάστατων εκτυπωτών και εργαλείων CAD.

Στην Ευρώπη ιδρύθηκε η EOS GmbH και δημιουργήθηκε το πρώτο σύστημα "Stereos"

της EOS για βιομηχανικές εφαρμογές πρωτοτύπων και παραγωγής τριδιάστατης εκτύπωσης. Η βιομηχανική του ποιότητα αναγνωρίζεται σήμερα παγκοσμίως στην τεχνολογία SLS για πλαστικά και μέταλλα. Το 1992, το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Fused Deposition Modeling χορηγήθηκε στην Stratasys, η οποία ανέπτυξε πολλούς 3D εκτυπωτές τόσο για επαγγελματίες όσο και για ιδιώτες.

Από το 1993 έως το 1999, προέκυψαν οι διάφορες τεχνικές όπως:

- ZCorp και εναπόθεση συνδετικού υλικού
- Τεχνολογία Arcam MCP και επιλεκτική τήξη με λέιζερ.

Ταυτόχρονα, τα εργαλεία CAD για 3D εκτύπωση έγιναν όλο και περισσότερο διαθέσιμα και αναπτύχθηκαν, με τη δημιουργία, για παράδειγμα, του πρωτοτύπου Sanders (σήμερα γνωστού ως Solidscape), ενός από τους πρώτους φορείς για την ανάπτυξη ειδικών εργαλείων για την παρασκευή προσθέτων. Η δεκαετία του 1990 ήταν επίσης η δεκαετία της πρώτης εφαρμογής της 3D εκτύπωσης από ιατρικούς ερευνητές, οι οποίοι άρχισαν να συνδυάζουν ιατρική και 3D εκτύπωση, ανοίγοντας το δρόμο για πολλές χρήσεις.

Το 2000: Η τριδιάστατη εκτύπωση κερδίζει την προβολή των μέσων ενημέρωσης

Το 2000 έχουμε το πρώτο 3D τυπωμένο εργαστηριακό νεφρό. Οι τριδιάστατοι τυπωμένοι νεφροί είναι πλέον απόλυτα λειτουργικοί και οι ερευνητές πειραματίζονται σε επιταχυνόμενη ανάπτυξη ώστε να μεταμοσχεύσουν όργανα πολύ γρήγορα. Το 2004 ήταν η χρονιά έναρξης του RepRap, το οποίο συνίσταται σε έναν αυτο-αντιγραφόμενο 3D εκτυπωτή. Αυτό οδήγησε στην εξάπλωση των 3D εκτυπωτών 3D FDM και της δημοτικότητας της τεχνολογίας στην κοινότητα των κατασκευαστών. Το 2005, η ZCorp ξεκίνησε το Spectrum Z510, τον πρώτο υψηλής ποιότητας εκτυπωτή 3D υψηλής ευκρίνειας. Το 2008, η τριδιάστατη εκτύπωση είχε ακόμη μεγαλύτερη παρουσία χάρη σε μια άλλη ιατρική εφαρμογή: το πρώτο τριδιάστατο προσθετικό άκρο. Ενσωμάτωσε όλα τα μέρη ενός βιολογικού άκρου, τυπώθηκε «ως έχει», χωρίς να χρειάζεται οποιαδήποτε μεταγενέστερη συναρμολόγηση. Σήμερα, σε συνδυασμό με την τριδιάστατη σάρωση, η ιατρική προσθετική είναι μια υπηρεσία αρκετά οικονομική και εξαιρετικά γρήγορη. Το 2009 ήταν το έτος κατά το οποίο οι ευρεσιτεχνίες του FDM βρήκαν εφαρμογή στο δημόσιο τομέα, ανοίγοντας το δρόμο για ένα ευρύ κύμα καινοτομίας σε 3D εκτυπωτές FDM αλλά και στην πτώση της τιμής των επιτραπέζιων 3D εκτυπωτών δεδομένου ότι η τεχνολογία ήταν πιο προσιτή. Το 2009 ήταν επίσης η χρονιά που δημιουργήθηκε οSculpteo, ένας από τους πρωτοπόρους των πλέον ανθηρών ηλεκτρονικών υπηρεσιών 3D

εκτύπωσης, ένα ακόμη βήμα προς την προσβασιμότητα στην 3D εκτύπωση.

Το 2010: Χρόνια Ορατότητας, Καινοτομίας και Ελπίδες για την 3D Εκτύπωση

Τα τελευταία χρόνια ήταν πολύ σημαντικά για την τριδιάστατη εκτύπωση. Με την εκπονή του διπλώματος ευρεσιτεχνίας της FDM, τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας έχουν γίνει τα χρόνια της τριδιάστατης εκτύπωσης. Η τεχνολογία επιτραπέζιων υπολογιστών εισέβαλε στην αγορά και έκανε τον βιομηχανικό τομέα να επανεξετάσει την παραγωγή προσθέτων ως αξιόπιστη τεχνική παραγωγής. Η παραγωγή προσθέτων θα μπορούσε να φέρει επανάσταση στο καταναλωτικό κοινό και παρόλο που αυτή η ολική μετατόπιση των καταναλωτικών συνηθειών δεν έχει συμβεί ακόμα, η τριδιάστατη εκτύπωση εισβάλλει στη σκέψη των καταναλωτών και στις τεχνολογικές πρακτικές. Η τεχνολογία συνεχώς εξελίσσεται, όπως και οι χρήσεις αυτής της τεχνολογίας. Όλο και περισσότερες μικρές και μεγάλες εταιρείες επωφελούνται από την χαμηλή τιμή πρωτοτύπων που προσφέρει η 3D εκτύπωση και την έχουν ενσωματώσει πλήρως στις διαδικασίες παραγωγής τους.

Το 2010, το Urbee ήταν το πρώτο πρωτότυπο τριδιάστατο αυτοκίνητο. Το σασσί του εκτυπώθηκε πλήρως χρησιμοποιώντας ένα πολύ μεγάλο 3D εκτυπωτή. Το 3D τυπωμένο αυτοκίνητο είναι περισσότερο ένα όνειρο από μια πραγματικότητα αλλά στη διαδικασία κατασκευής πολλοί ηθοποιοί το θεωρούν ως μια καλή εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μεθόδους.

Το 2011, το Πανεπιστήμιο Cornell άρχισε να κατασκευάζει έναν τριδιάστατο εκτυπωτή τροφίμων. Εκ πρώτης όψεως θα μπορούσε να φαίνεται ασήμαντο αλλά η NASA ερευνά πώς οι αστροναύτες θα μπορούσαν να εκτυπώσουν τριδιάστατα τρόφιμα στο διάστημα.

Το 2014, η NASA μετέφερε έναν 3D εκτυπωτή στο διάστημα για να φτιάξει το πρώτο 3D εκτυπωμένο αντικείμενο μακριά από τη γη.

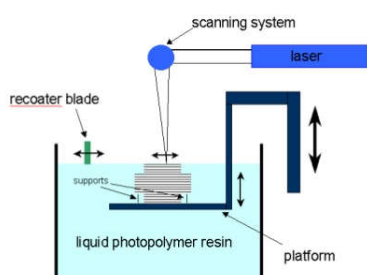
Έχουμε πολλές ιατρικές εκτυπώσεις τριδιάστατης εκτύπωσης: ιστούς, όργανα και χαμηλού κόστους προθετικά μέλη. Νέοι εκτυπωτές 3D διατίθενται τακτικά, είναι πιο αποδοτικοί, εκτυπώνουν ταχύτερα, δίνουν πρόσβαση σε νέα υλικά 3D εκτύπωσης. (Bensoussan, 2016).

2.3. Διαφορετικές τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής / τριδιάστατης εκτύπωσης

Stereolithography (SLA): είναι η πρώτη μέθοδος στην ιστορία της τριδιάστατης εκτύπωσης. Είναι η παλαιότερη μέθοδος αλλά εξακολουθεί να χρησιμοποιείται

έωςσήμερα. Οι περισσότερες τεχνικές εκτύπωσης χρησιμοποιούν ένα αρχείο CAD για την επεξεργασία του αντικειμένου, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε μορφή που μπορεί να κατανοήσει μια μηχανή εκτύπωσης. Σε αυτή την τεχνολογία, ένα λογισμικό επεξεργάζεται το μοντέλο CAD και παράγει το αρχείο STL που περιέχει τις πληροφορίες για κάθε στρώμα. Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει ένα επακόλουθο στρώμα εκτύπωσης. Μπορεί να υπάρχουν έως και δέκα στρώματα ανά χιλιοστόμετρο. Μόλις εκτυπωθούν όλα τα στρώματα, το αντικείμενο πρέπει να ξεπλυθεί με διαλύτη και να τοποθετηθεί σε φούρνο υπεριώδους για να ολοκληρωθεί η διαδικασία.

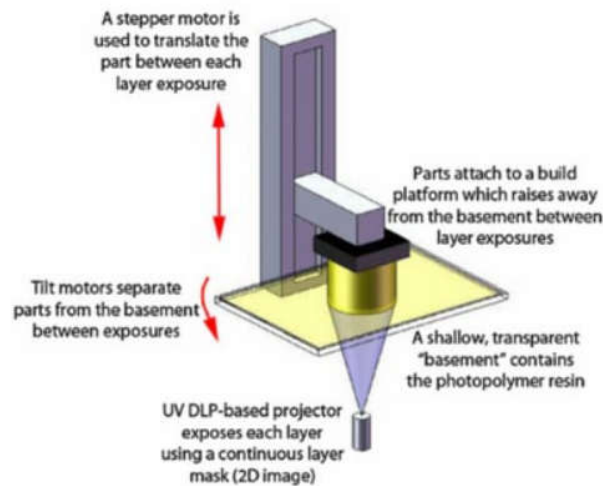
Stereolithography (SLA)



Εικόνα 2.2.: Απεικόνιση της μεθόδου SLA

(Πηγή : Venkateshan2014)

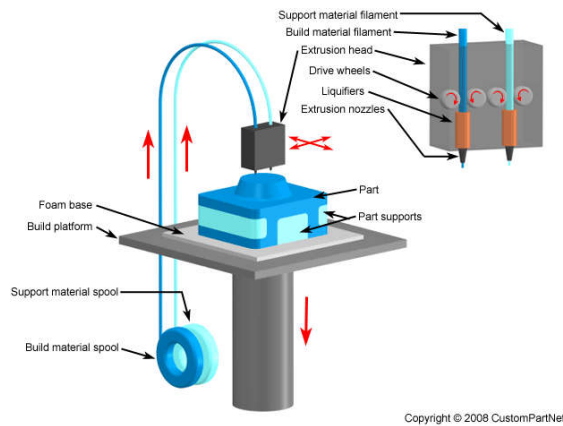
DigitalLightProcessing (DLP): είναι παρόμοια μεθοδος με τη στερεολιθογραφία. Ο Larry Hornbeck της Texas Instruments δημιούργησε την τεχνολογία αυτή το 1987. Χρησιμοποιεί ψηφιακούς μικροκαθρέπτες που βρίσκονται σε τσιπ ημιαγωγών. Αν και τα DLP και SLA λειτουργούν με φωτοπολυμερή, χρησιμοποιούν διαφορετικές πηγές φωτός. Η DLP χρησιμοποιεί πιο συμβατικές πηγές, όπως λαμπτήρες τόξου και ένα πάνελ οθόνης υγρών κρυστάλλων που εφαρμόζεται σε ολόκληρη την επιφάνεια του δομικού υλικού. Το υλικό για εκτύπωση είναι μια υγρή πλαστική ρητίνη τοποθετημένη στο δοχείο διαφανούς ρητίνης. Η ρητίνη σκληραίνει γρήγορα όταν εκτίθεται σε μεγάλη ποσότητα φωτός. Η ταχύτητα εκτύπωσης είναι γρήγορη. Σε σύγκριση με το SLA, το DLP παράγει πιο ανθεκτικά 3D αντικείμενα με εξαιρετική ανάλυση. Χρησιμοποιεί επίσης λιγότερο υλικό που έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος και μειωμένο απόβλητο.



Εικόνα 2.3.: Απεικόνιση της μεθόδου DLP

(Πηγή : Wallaceetal., 2014)

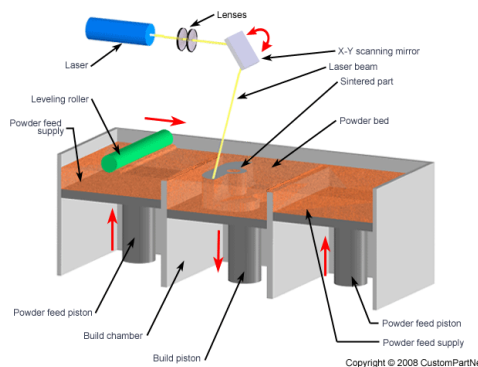
Fuseddepositionmodeling (FDM): είναι η πιο δημοφιλής τεχνολογία στην τριδιάστατη εκτύπωση. Είναι η μόνη τεχνολογία 3D εκτύπωσης που κατασκευάζει εξαρτήματα με θερμοπλαστικά προϊόντα παραγωγής που παράγουν εξαιρετικές μηχανικές, θερμικές και χημικές ιδιότητες καθιστώντας το πολύ χρήσιμο και ελκυστικό για τους κατασκευαστές και τους μηχανικούς. Δημιουργεί ένα στρώμα 3D αντικειμένου με στρώμα από κάτω προς τα πάνω με θέρμανση και εξώθηση θερμοπλαστικού νήματος. Η όλη διαδικασία είναι παρόμοια με τη στερεολιθογραφία αλλά πιο αργή. Υπάρχει ένα ειδικό λογισμικό για να «κόψει» το μοντέλο CAD σε στρώματα και να υπολογίσει τον τρόπο με τον οποίο ο εξωθητής του εκτυπωτή θα κατασκευάσει κάθε στρώμα. Ο εκτυπωτής θερμαίνει το θερμοπλαστικό μέχρι το σημείο τήξης του και εξωθείται σε όλο το ακροφύσιο πάνω στη βάση για να χτίσει την πλατφόρμα κατά μήκος της υπολογισμένης διαδρομής. Ένας υπολογιστής μεταφράζει τη διάσταση του αντικειμένου στις συντεταγμένες X, Y και Z και ελέγχει το ακροφύσιο και τη βάση, έτσι ώστε να ακολουθεί την υπολογισμένη διαδρομή κατά την εκτύπωση. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σε εταιρείες αυτοκινήτων όπως η Hyundai και η BMW και εταιρείες τροφίμων όπως η Nestle και η Dial. Η τεχνολογία FDM είναι απλή στη χρήση και μπορεί να χτίσει σύνθετες γεωμετρίες και κοιλότητες. Επιπλέον, είναι φιλική προς το περιβάλλον.



Εικόνα 2.4.: Απεικόνιση της μεθόδου FDM

(Πηγή: FusedDepositionModelingn.d.)

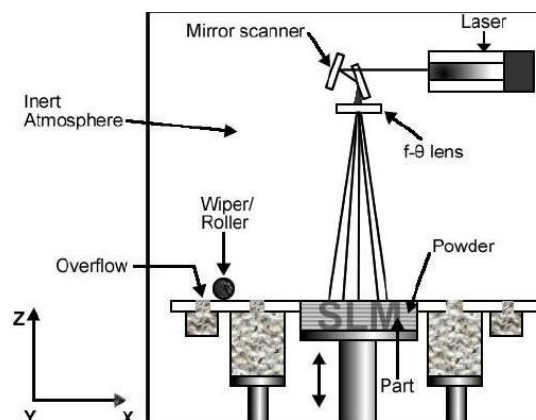
SelectiveLaserSintering (SLS): αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί ένα λέιζερ ως πηγή ενέργειας για τη δημιουργία τριδιάστατων αντικειμένων. Ο Carl Deckard, φοιτητής του Πανεπιστημίου του Τέξας και ο καθηγητής Joe Beaman, ανακάλυψαν αυτή την τεχνολογία το 1980. Η SLS έχει κάποια ομοιότητα με τηSLA, αλλά διαφέρει στο υλικό που χρησιμοποιείται. ΗSLSχρησιμοποιείκονιοποιημένουλικόαντίγιαυγρήρητηνη. Επιπλέον, δεν χρησιμοποιεί δομές υποστήριξης επειδή το τυπωμένο αντικείμενο περιβάλλεται ήδη από μη προδιαγεγραμμένη σκόνη. Παρόμοια με άλλες τεχνολογίες, η SLS ξεκινάει με τη δημιουργία του αρχείου CAD, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε μορφή .stl χρησιμοποιώντας ειδικό λογισμικό. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί νάιλον, κεραμικά, γυαλί και μέταλλα όπως αλουμίνιο, χάλυβα ή ασήμι. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των υλικών της η SLS είναι δημοφιλής για την παραγωγή 3D αντικειμένων.



Εικόνα 2.5.: Απεικόνιση της μεθόδου SLS

(Πηγή: SelectiveLaserSinteringn.d.)

Selectivelasermelting (SLM): Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί επίσης δεδομένα CAD και δημιουργεί ένα 3D αντικείμενο μέσω μιας δέσμης λέιζερ υψηλής ισχύος που λιώνει μεταλλικές σκόνες. Πολλοί θεωρούν την SLM ως υποκατηγορία της SLS αλλά οι δύο τεχνολογίες έχουν μεγάλες διαφορές. Η SLM επεξεργάζεται πλήρως το μέταλλο σε στερεά 3D μέρη, σε αντίθεση με την SLS. Η SLM χρησιμοποιεί επίσης ένα αρχείο CAD και ένα ειδικό λογισμικό για να κόψει το αρχείο CAD σε 2D στρώματα. Όταν φορτώνεται το αρχείο, το λογισμικό της μηχανής εκτύπωσης θα εκχωρήσει παραμέτρους και τιμές για την κατασκευή της διαδρομής. Η λεπτή μεταλλική σκόνη κατανέμεται ομοιόμορφα πάνω στην πλάκα και μια υψηλής ενέργειας δέσμη λέιζερ θα κατευθύνεται μέσα σε αυτήν για να συγχωνεύσει κάθε "φέτα" της 2D εικόνας. Η ενέργεια είναι τόσο δυνατή που η μεταλλική σκόνη λιώνει και σχηματίζει ένα στερεό αντικείμενο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το επόμενο στρώμα μέχρι να ολοκληρωθεί το προϊόν. Η SLM χρησιμοποιεί τα παρακάτω μέταλλα: ανοξείδωτο χάλυβα, τιτάνιο, χρώμιο κοβαλτίου και αλουμίνιο. Χρησιμοποιείται ευρέως σε αντικείμενα με σύνθετες γεωμετρίες και δομές με λεπτούς τοίχους και κρυφά κενά ή κανάλια. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται στην αεροδιαστημική βιομηχανία και την ορθοπεδική, αλλά δεν διανέμεται ευρέως στα νοικοκυριά.

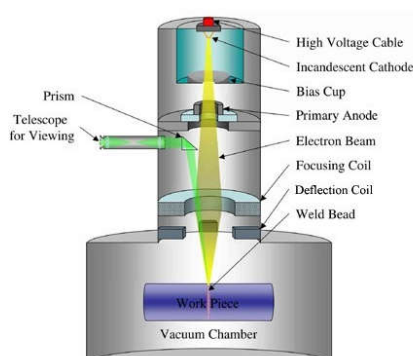


Εικόνα 2.6.: Απεικόνιση της μεθόδου SLM

(Πηγή: Sidambe, 2014)

Electronic Beam Melting (EBM): Αυτή η τεχνολογία είναι ένας άλλος τύπος παρασκευής προσθέτων για μεταλλικά μέρη. Είναι παρόμοια με τη SLM καθώς χρησιμοποιεί επίσης μια τεχνική σύντηξης κλίνης σκόνης. Ωστόσο, αντί να χρησιμοποιεί μια δέσμη λέιζερ υψηλής ισχύος ως πηγή ενέργειας, χρησιμοποιεί μια δέσμη ηλεκτρονίων. Αυτή είναι η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο, η υπόλοιπη διαδικασία είναι η ίδια. Η EBM είναι αργή και ακριβή σε σύγκριση με το SLM. Επίσης, τα υλικά είναι περιορισμένα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το εμπορικά καθαρό τιτάνιο, Inconel 718 και Inconel

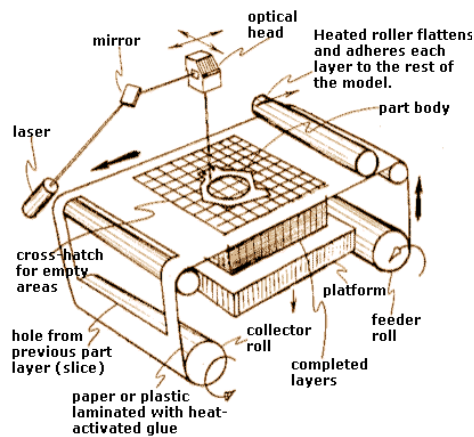
625. Αυτή η τεχνολογία επικεντρώνεται στα ιατρικά εμφυτεύματα και την αεροδιαστημική περιοχή.



Εικόνα 2.7.: Απεικόνιση της μεθόδου EBM

(Πηγή: ElectronicBeamMeltingn.d.)

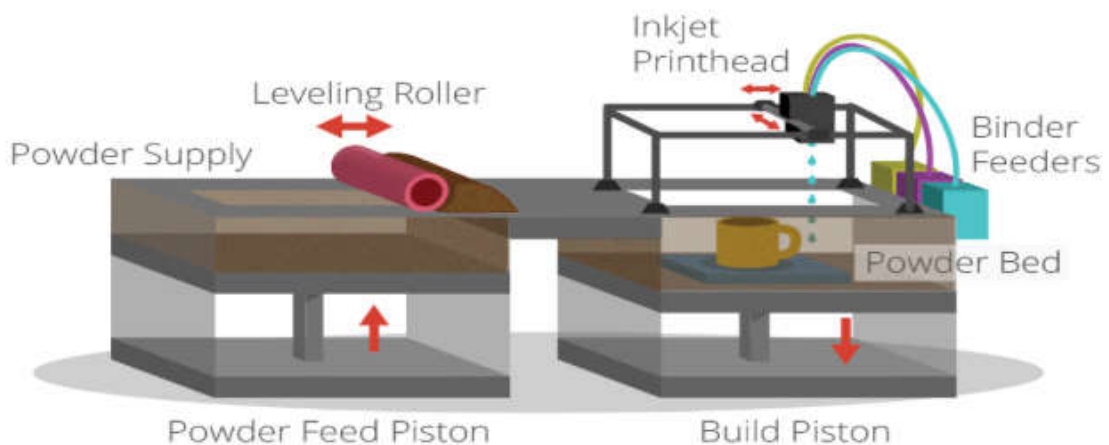
Laminated Object Manufacturing (LOM): Η Helisys Inc., μια εταιρεία με έδρα την Καλιφόρνια, ανέπτυξε αυτό το σύστημα γρήγορων πρωτοτύπων. Κατά τη διάρκεια των στρωμάτων επεξεργασίας χαρτιού επικαλυμμένου με κόλλα, πλαστικά ή μεταλλικά φύλλα συντήκονται μεταξύ τους με θερμότητα και πίεση. Στη συνέχεια, κόβονται σε σχήματα με λέιζερ ή μαχαίρι ελεγχόμενα από υπολογιστή. Η μετα-επεξεργασία τριδιάστατων τυπωμένων μερών περιλαμβάνει μηχανική κατεργασία και διάτρηση. Αυτή η τεχνολογία ξεκινά επίσης με ένα αρχείο CAD που αργότερα μετατρέπεται σε μορφή STL ή 3DS. Οι εκτυπωτές LOM χρησιμοποιούν συνεχές φύλλο επικαλυμμένο με κολλητική ουσία και τοποθετείται σταυροειδές υπόστρωμα με θερμαινόμενο κύλινδρο. Ο θερμαινόμενος κύλινδρος περνάει πάνω από τα φύλλα υλικού πάνω στο υπόστρωμα που λιώνει την κόλλα και το λέιζερ ή το μαχαίρι θα το ανιχνεύσει στην επιθυμητή του διάσταση. Όταν ολοκληρωθεί η στρώση, θα μετακινηθεί προς τα κάτω και θα γίνει επεξεργασία ενός νέου φύλλου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η εκτύπωση του αντικειμένου 3D. Η LOM δεν είναι τόσο δημοφιλής αλλά είναι μία από τις πιο προσιτές και ταχύτερες τεχνολογίες 3D εκτύπωσης. Επιπλέον, η εκτύπωση είναι χαμηλού κόστους επειδή δεν χρησιμοποιεί ακριβά υλικά.



Εικόνα 2.8.: Απεικόνιση της μεθόδου LOM

(Πηγή: Laminated Object Manufacturing n.d.)

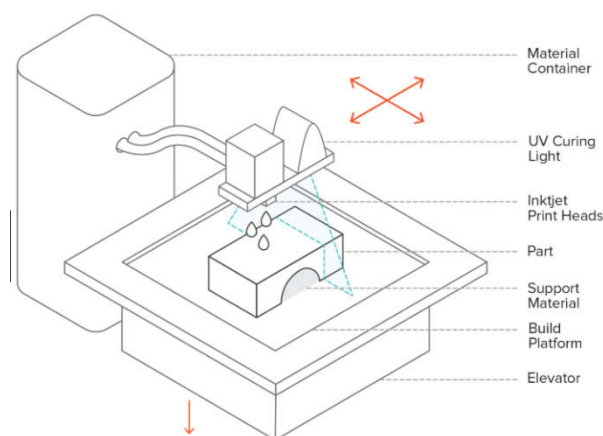
BinderJetting (BJ) Technology: εφευρέθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης. Χρησιμοποιεί δύο τύπους υλικών με βάση το υλικό σε σκόνη και τον παράγοντα συγκόλλησης. Ο "συγκολλητικός" παράγων ενεργεί ως ένα ισχυρό συγκολλητικό που συγκρατεί τα στρώματα σκόνης μαζί. Τα ακροφύσια του εκτυπωτή εξωθούν το συνδετικό υλικό σε υγρή μορφή όπως συμβαίνει και με έναν κανονικό εκτυπωτή 2D inkjet. Μετά την ολοκλήρωση κάθε στρώματος, η πλάκα κατασκευής χαμηλώνει ελαφρά για να επιτρέψει την επόμενη. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Αυτή η τεχνολογία 3D εκτύπωσης δεν δίνει υψηλής ανάλυσης ή υπερβολικά ανθεκτικά 3D αντικείμενα αλλά επιτρέπει την εκτύπωση αντικειμένων σε πλήρες χρώμα. Χρησιμοποιείται στις αεροδιαστημικές, ιατρικές βιομηχανίες καθώς και στην αυτοκινητοβιομηχανία.



Εικόνα 2.9.: Απεικόνιση της μεθόδου BJ

(Πηγή: Binder Jetting 3D Printing Technology 2016)

Material Jetting (MJ) Polyjet and Wax Casting Technology: τουλικό Jetting καλείται επίσης κεριχύτευση. Σε αντίθεση με τις άλλες τεχνολογίες 3D εκτύπωσης κανείς δεν εφεύρε το MJ. Αυτό θεωρείται περισσότερο ως μια τεχνική παρά μια πραγματική διαδικασία εκτύπωσης. Οι κοσμηματοπωλεία έχουν χρησιμοποιήσει αυτή την τεχνική εδώ και αιώνες για να παράγουν υψηλής ποιότητας προσαρμόσιμα κοσμήματα. Η MJ ξεκινάει με ένα 3D μοντέλο (αρχείο CAD). Αφού φορτωθεί στον εκτυπωτή, το σύστημα κάνει τα υπόλοιπα. Ο εκτυπωτής προσθέτει κρύο (θερμαινόμενο) κέρι στην πλατφόρμα κατασκευής αλουμινίου σε ελεγχόμενες στρώσεις το οποίο θα απλωθεί μοιόμορφα σε όλη την περιοχή κατασκευής. Μόλις τοποθετηθεί στην πλάκα δημιουργίας, αρχίζει να κρυνώνει και να στερεοποιείται (το υπεριώδες φως βοηθά στη θεραπεία των στρωμάτων). Καθώς δημιουργούνται τα τριδιάστατα τμήματα, ένα υλικό που μοιάζει με πηκτή, το βοηθά να στηρίζεται. Αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή, το αντικείμενο μπορεί εύκολα να αφαιρεθεί με το χέρι ή χρησιμοποιώντας νερό υπό πίεση. Μόλις ολοκληρωθεί το κομμάτι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμέσως. Δεν υπάρχει ανάγκη περαιτέρω μετεπεξεργασίας επειδή παράγονται αντικείμενα με καλή ανάλυση. Οι εκτυπωτές Polyjet MJ 3D χρησιμοποιούνται κυρίως στην οδοντιατρική και τη βιομηχανία κοσμημάτων.



Εικόνα 2.10.: Απεικόνιση της μεθόδου MJ

(Πηγή: BourriasVarotsisn.d.)

2.4. Εφαρμογές της προσθετικής κατασκευής / τριδιάστατης εκτύπωσης

Η ενσωμάτωση ενός 3D εκτυπωτή στη ροή εργασίας μπορεί να αποδώσει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Οι ιδέες και τα πρωτότυπα μπορούν να εκτυπωθούν σε λίγες ώρες, πολλαπλές επαναλήψεις, παράγονται γρήγορα και φτηνά, και πολύπλοκες ιδέες μεταφέρονται μέσω ενός φυσικού μοντέλου που μπορούν να το δουν και να το αγγίξουν

τα μέλη της ομάδας και τα ενδιαφερόμενα μέρη. Ποιές είναι οι βιομηχανίες που πρώτες «αγκαλιάσαν» αυτήν την ισχυρή τεχνολογία; Μερικές από αυτές παρουσιάζονται κάτωθι(Bhavnagarwala, 2018) :

➤ **Ανάπτυξη νέων προϊόντων**

Είναι ζωτικής σημασίας να εισαχθεί το νέο προϊόν στην αγορά το συντομότερο δυνατό. Ωστόσο, η βιασύνη μπορεί να οδηγήσει σε λάθη ή να μην ανταποκριθεί στις προσδοκίες των πελατών. Ένας 3D εκτυπωτής επιτρέπει δοκιμές με γρήγορο, οικονομικό τρόπο ώστε να προσαρμόζονται τα σχέδια χωρίς σχεδόν κανένα επιπλέον κόστος σε λίγες ώρες.



Εικόνα 2.11.: Τριδιάστατη εκτύπωση μεταλλικών πρωτότυπων

➤ **Βιομηχανικά βοηθήματα**

Η αποδοτικότητα της παραγωγής είναι ζωτικής σημασίας σε ένα επιχειρηματικό περιβάλλον - και ο χρόνος ισούται με χρήματα. Η τριδιάστατη εκτύπωση διευκολύνει την παραγωγή εργαλείων, εξαρτημάτων και άλλων εργαλείων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες παραλλαγές κατά τη συναρμολόγηση και τοποθέτηση, ταχύτερες ρυθμίσεις μηχανών και μια ομαλότερη διαδικασία παραγωγής.



Εικόνα 2.12.: Τριδιάστατο προστατευτικό τροχού στο εργοστάσιο της Volkswagen Autoeuropa

➤ **Εξαρτήματα τελικής χρήσης**

Η τριδιάστατη εκτύπωση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή εξαρτημάτων τελικής χρήσης με μικρό όγκο. Αυτό προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να τρέχουν μικρές παρτίδες μερών χωρίς τους κινδύνους

που συνεπάγεται η κατασκευή μεγαλύτερης παρτίδας. Υπάρχει επίσης περιθώριο για «εκτύπωση επιτόπου» και δημιουργία προϊόντων για τον πελάτη όσο αυτός περιμένει.



Εικόνα 2.13.: Παραγωγή μικρών παρτίδων

➤ Αρχιτεκτονική

Η μεταφορά σύνθετων αρχιτεκτονικών εννοιών στους πελάτες μπορεί να αποτελέσει πρόκληση. Η τριδιάστατη εκτύπωση σημαίνει ότι μπορούν να αξιολογηθούν τα πρόωρα σχέδια, να μεταδοθούν πολύπλοκες ιδέες και να αποτυπωθούν εύκολα οι εντυπωσιακές αρχιτεκτονικές έννοιες. Οι χρόνοι κατασκευής μοντέλων συρρικνώνονται από μήνες σε ημέρες, ενώ μπορούν να εκτυπωθούν ακόμη και σύνθετες γεωμετρίες, προσφέροντας στους αρχιτέκτονες ακόμη μεγαλύτερο δημιουργικό πεδίο.



Εικόνα 2.14.: Τριδιάστατα σχέδια σύμφωνα με την αρχική ιδέα

➤ Ιατρική

Τα τριδιάστατα μοντέλα σημαίνουν ότι οι επαγγελματίες του ιατρικού κλάδου μπορούν να παράξουν χρήσιμα κομμάτια για τη ζωή των ασθενών προσδιορίζοντας ακριβώς τι απαιτείται πριν από την εκτέλεση μιας εγχείρισης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα λιγότερο χρόνο του ασθενή σε κατάσταση αναισθησίας και μειωμένο κόστος που σχετίζεται με τη λειτουργία.



Εικόνα 2.15.: Τα τριδιάστατα μοντέλα από τα δεδομένα σάρωσης βοηθούν στο σχεδιασμό της χειρουργικής επέμβασης

➤ **Οδοντιατρική**

Η τριδιάστατη εκτύπωση αρχίζει σιγά σιγά να διαταράσσει την οδοντιατρική βιομηχανία. Ο σαρωτής δημιουργεί ένα ψηφιακό σχέδιο των δοντιών και οι πληροφορίες αυτές αποστέλλονται σε ένα 3D εκτυπωτή που εκτυπώνει το μοντέλο. Ένα άλλο μεγάλο όφελος που έχουν οι οδοντίατροι είναι η αποθήκευση αυτών των μοντέλων, όλα τα μοντέλα των σημερινών ασθενών πρέπει να αποθηκευτούν για περαιτέρω αναφορά, αλλά τώρα μόνο το ψηφιακό αρχείο χρειάζεται να αποθηκευτεί στον υπολογιστή και αυτό βοηθά στην εξοικονόμηση χώρου. Υπάρχουν πολλές περισσότερες εφαρμογές στην οδοντιατρική βιομηχανία όπως οι τριδιάστατες οδοντοστοιχίες, οι οδοντιατρικοί χειρουργικοί οδηγοί, οι κορώνες κ.α.



Εικόνα 2.16.: Τριδιάστατη εκτυπωμένη οδοντοστοιχία

➤ **Κοσμήματα**

Τα περισσότερα κοσμήματα που κατασκευάζονται σήμερα εφαρμόζουν τη διαδικασία της τριδιάστατης εκτύπωσης. Ο παραδοσιακός τρόπος κατασκευής κοσμημάτων χρησιμοποιεί τη διαδικασία της χύτευσης. Το σχέδιο που είναι συνήθως κατασκευασμένο από κερί είναι ένα μακέτο του πραγματικού προϊόντος, χρειάζεται πολλές ώρες και ειδικευμένο άτομο να το χειριστεί καθώς επίσης οι ανοχές του σχεδίου είναι πολύ μεγαλύτερες, για την αποφυγή λαθών και αναδιατύπωση. Η έλευση της τριδιάστατης εκτύπωσης βοήθησε αυτά τα μοτίβα να εκτυπώνονται σε χυτά υλικά και με πολύ αυστηρότερες ανοχές που καταλήγουν στο να εξοικονομούν ποσότητα του πολύτιμου υλικού που σε άλλη περίπτωση θα χάνονταν.



Εικόνα 2.17.: Τριδιάστατα εκτυπωμένα κοσμήματα

➤ **Εκπαιδευτικά βοηθήματα**

Η διδασκαλία σύνθετων αντικειμένων μπορεί να είναι πραγματικά πρόκληση καθώς απαιτεί μερικές φορές πολλές ικανότητες επικοινωνίας από την πλευρά ενός καθηγητή για να μπορέσει να σχεδιάσει μια νοητή εικόνα σε ολόκληρη την τάξη. Χρειάζεται μερικές φορές χρόνος για να κατανοήσουν οι μαθητές σε ποια μέρη του σχεδίου γίνεται η αναφορά και είναι εξαιρετικά δύσκολο να ακολουθηθούν από όλους. Ένα τριδιάστατο εκτυπωμένο μοντέλο καθιστά την οπτικοποίηση πολύ πιο εύκολη και βοηθά στην κατανόηση δυσκολότερων ιδεών.



Εικόνα 2.18.: Τριδιάστατο εκπαιδευτικό βοήθημα

Κεφάλαιο 3^ο: Μεγάλης κλίμακας τριδιάστατη εκτύπωση

3.1. Τι είναι η μεγάλης κλίμακας τριδιάστατη εκτύπωση;

Ως τεχνολογία κατασκευής, η τριδιάστατη εκτύπωση βρίσκει όλο και περισσότερο τη θέση της. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται σε εφαρμογές τόσο διαφορετικές όπως εξαρτήματα αυτοκινήτων, ιατρικά εμφυτεύματα και υποδήματα. Ωστόσο αυτές οι εφαρμογές έχουν το κοινό σημείο ότι τα μέρη που παράγονται είναι σχετικά μικρού μεγέθους. Αν και η τριδιάστατη εκτύπωση μεγάλης κλίμακας εξακολουθεί να είναι μια εξειδικευμένη τεχνολογία, έχει τη δυνατότητα να λύσει πολλές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές όταν παράγουν μεγαλύτερα εξαρτήματα.

Τα εξαρτήματα μεγάλου μεγέθους, όπως τα φτερά του αεροσκάφους, είναι βαριά και δυσκίνητα και απαιτούν μεγαλύτερες ρυθμίσεις και μεγαλύτερα εργαλεία για παραγωγή. Αυτό τελικά μεταφράζεται σε υψηλότερο κόστος κατασκευής και μεγαλύτερους χρόνους παράδοσης.

Η τριδιάστατη εκτύπωση μπορεί να βοηθήσει τους κατασκευαστές να παράγουν μεγάλα κομμάτια ταχύτερα και οικονομικά. Με την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού που προσφέρει η τριδιάστατη εκτύπωση, τέτοια εξαρτήματα θα μπορούσαν επίσης να επωφεληθούν από βασικά πλεονεκτήματα όπως το μικρό βάρος και η βελτιωμένη απόδοση. Τελικά, αν τα μεγάλα εξαρτήματα μπορούν να εκτυπωθούν σε μια ενιαία εκτύπωση, σε αντίθεση με την εκτύπωση σε μέρη που στη συνέχεια συναρμολογούνται, αυτό έχει επίσης το πρόσθετο πλεονέκτημα της μείωσης των χρόνων συναρμολόγησης.

3.2. Τεχνολογίες τριδιάστατης εκτύπωσης μεγάλης κλίμακας

Παρακάτω είναι μερικές από τις διαθέσιμες στο εμπόριο τεχνολογίες τριδιάστατης εκτύπωσης μεγάλης κλίμακας (AMFG, 2019):

✓ *Big Area Additive Manufacturing (BAAM)*



Εικόνα 3.1.: Μηχανή BAAM του Εθνικού Εργαστηρίου του Oak Ridge για την εκτύπωση μεγάλων τμημάτων πολυμερών σε 3D

Μία από τις μεγαλύτερες τεχνολογίες 3D εκτύπωσης που διατίθενται σήμερα είναι το Big Area Additive Manufacturing (BAAM). Αναπτύχθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Oak Ridge (ORNL) σε συνεργασία με την Cincinnati Inc. Η BAAM εμφανίστηκε για πρώτη φορά στο IMTS 2014, όπου χρησιμοποιήθηκε για να εκτυπώσει τριδιάστατα ένα ολόκληρο αυτοκίνητο. Ο τριδιάστατος εκτυπωτής, ο οποίος χρησιμοποιεί ένα εξωθητή τοποθετημένο σε ένα σύστημα γεφυρών, μπορεί να δημιουργήσει τμήματα έως 6 x 2,4 x 2 m χρησιμοποιώντας θερμοπλαστικά υλικά όπως ABS, PPS, PC, PLA και PEI. Από την εισαγωγή του, η BAAM έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, από πρωτότυπα πλήρους μεγέθους υποβρύχιας γάστρας μέχρι αυτοδίδακτα οχήματα με 3D εκτύπωση.



Εικόνα 3.2.: Το Strati της Local Motors, το πρώτο αυτοκίνητο 3D που τυπώθηκε από την Local Motors, χρησιμοποίησε την τεχνολογία BAAM της ORNL και παρουσιάστηκε στο IMTS το 2014

✓ *Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM)*

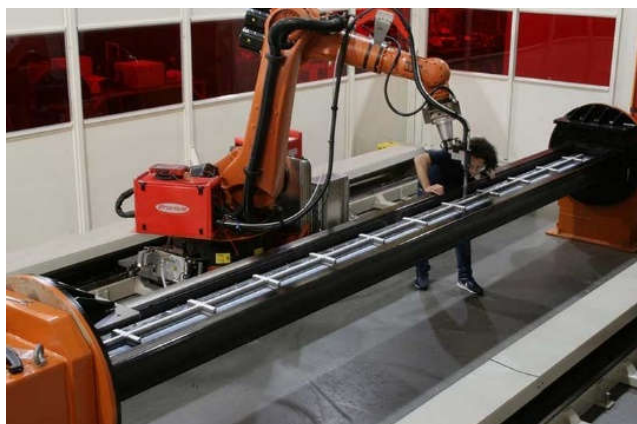
Στον κόσμο της μεταλλικής 3D εκτύπωσης, η Sciaky προσφέρει μερικούς από τους μεγαλύτερους τριδιάστατους εκτυπωτές για μέταλλο που στηρίζονται στην τεχνολογία EBAM (Electron Beam Additive Manufacturing). Για παράδειγμα, το σύστημα EBAM 150 έχει εντυπωσιακό όγκο κατασκευής 3708 x 1575 x 1575 mm. Η τεχνολογία EBAM χρησιμοποιεί μια διαδικασία παρόμοια με τη συγκόλληση, όπου χρησιμοποιείται μια δέσμη ηλεκτρονίων για να λιώσει το μέταλλο υπό σύρμα. Αυτό σημαίνει ότι η τεχνολογία είναι κατάλληλη για την επεξεργασία μιας ευρείας γκάμας συγκολλητικών υλικών, από τιτάνιο μέχρι Inconel και ανοξείδωτο χάλυβα. Η Sciaky τοποθετεί το σύστημα EBAM ως μια ταχύτερη, πιο προσιτή εναλλακτική λύση σε μεγάλα σφυρήλατα αντικείμενα χύτευσης. Το πατενταρισμένο σύστημα Closed-Loop Control της εταιρείας επιτρέπει την κατασκευή μεταλλικών εξαρτημάτων με βελτιωμένες ιδιότητες και μικροδομές για εφαρμογές στον στρατό, το ναυτικό και την αεροδιαστημική.



Εικόνα 3.3.: Ο μεγάλος 3D εκτυπωτής EBAM της Sciaky

✓ *Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)*

Ομοίως με το EBAM, η Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) χρησιμοποιεί επίσης καλώδια τροφοδοσίας, αλλά λιώνει τα υλικά με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού τόξου. Η WAAM μπορεί να κατασκευάσει εξαρτήματα μήκους έως και 10 μέτρων, χρησιμοποιώντας κράματα όπως τιτάνιο, νικέλιο, ανοξείδωτο χάλυβα, κράματα αλουμινίου και χαλκού. Η WAAM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μεγάλων μεταλλικών εξαρτημάτων όπως τα δοχεία πίεσης και τα πλαίσια της ατράκτου του αεροπλάνου. Εκτός από την τελική παραγωγή, η τεχνολογία αποτελεί την ιδανική επιλογή για εργασίες επισκευής και συντήρησης για συγκεκριμένα εξαρτήματα όπως περύγια στροβίλων, καθώς και καλούπια και μήτρες.



Εικόνα 3.4.: Ρομποτικός 3D εκτυπωτής WAAM που αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο Cranfield

✓ *Large-format sand 3D printing*

Ισως πιο γνωστός κατασκευαστής τριδιάστατων εκτυπωτών μεγάλου μεγέθους είναι το Voxeljet, το οποίο δραστηριοποιείται στην περιοχή από το 2002. Το 2011, το Voxeljet εισήγαγε το VX4000, το οποίο είναι μέχρι σήμερα ένας από τους μεγαλύτερους 3D εκτυπωτές σκόνης με όγκο κατασκευής 4 x 2 x 1 m. Παράλληλα με το Voxeljet, το ExOne προσφέρει συστήματα επαγγελματικής εκτύπωσης σκόνης, με μέγιστο όγκο κατασκευής που φθάνει τα 2,2 x 1,2 x 0,7 m. Και οι δύο 3D εκτυπωτές Voxeljet και ExOne χρησιμοποιούν μια διαδικασία που ονομάζεται Binder Jetting, όπου ένας υγρός συνδετικός παράγοντας εναποτίθεται επιλεκτικά πάνω σε ένα στρώμα σκόνης για να ενώσει μαζί τα σωματίδια σκόνης. Η τριδιάστατη εκτύπωση με σκόνη είναι ιδιαίτερα επωφελής για τη βιομηχανία χυτηρίων, καθώς προσφέρει έναν ταχύτερο και οικονομικότερο τρόπο δημιουργίας μεγάλων και σύνθετων καλουπιών σκόνης και πυρήνων για χύτευση μετάλλων.



Εικόνα 3.5.: 3D Εκτυπωτής Voxeljet's VX4000

3.3. Βιομηχανικοί τομείς που μπορούν να επωφεληθούν από την μεγάλης κλίμακας τριδιάστατη εκτύπωση

Όπως έχουμε δει, η δυνατότητα εκτύπωσης τριδιάστατων μεγάλων μερών προσφέρει στις εταιρείες μια σειρά από οφέλη. Παρακάτω, θα ρίξουμε μια ματιά στο πώς τρεις διαφορετικές βιομηχανίες μπορούν να εκμεταλλευτούν την μεγάλης κλίμακας τριδιάστατη εκτύπωση για να επιταχύνουν την παραγωγή, να επιταχύνουν την παράδοση, να μειώσουν τα απόβλητα υλικών και να δημιουργήσουν νέες γεωμετρίες που δεν είναι εφικτές με την παραδοσιακή κατασκευή.

❖ Αεροδιαστημική

Για την αεροδιαστημική βιομηχανία, η τριδιάστατη εκτύπωση έχει χρησιμοποιηθεί γενικά για την παραγωγή μικρών και μεσαίων εξαρτημάτων και εργαλείων, βοηθώντας τους κατασκευαστές να εξοικονομήσουν χρόνο και να μειώσουν το κόστος. Ωστόσο, η τριδιάστατη εκτύπωση μεγάλης κλίμακας προσφέρει επίσης μερικές μοναδικές ευκαιρίες για τον τομέα. Τα οφέλη από αυτά περιλαμβάνουν τη μείωση των μεγάλων χρόνων παραγωγής και των αποβλήτων υλικών. Συνήθως, η παραγωγή μεγάλων δομικών μερών με παραδοσιακές μεθόδους όπως σφυρηλάτηση και μηχανική κατεργασία μπορεί να διαρκέσει έως και ένα χρόνο. Εκτός από τους μεγάλους χρόνους παράδοσης, οι παραδοσιακές αφαιρετικές μέθοδοι μπορούν επίσης να δημιουργήσουν πολλά απορρίμματα υλικών - έως και 80% σε ορισμένες περιπτώσεις. Η τριδιάστατη εκτύπωση μεγάλης κλίμακας, από την άλλη πλευρά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή εξαρτημάτων σε μικρό χρόνο και με μειωμένο απόβλητο υλικού. Το πιο σημαντικό είναι ότι η τεχνολογία μπορεί να εκτυπώσει συστατικά πολλών τμημάτων ως ένα ενιαίο τμήμα - μια τεχνική γνωστή ως ενοποίηση μέρους. Με αυτήν την προσέγγιση, οι χρόνοι συναρμολόγησης μπορούν να μειωθούν σημαντικά.



Εικόνα 3.6.: Η Lockheed Martin 3D εκτυπώνει μεγάλους θόλους τιτανίου για διαστημόπλοια χρησιμοποιώντας την τεχνολογία EBAM του Sciaky

Μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες τριδιάστατης εκτύπωσης μεγάλης κλίμακας στον κλάδο της αεροδιαστημικής είναι η τεχνολογία EBAM του Sciaky. Ένας βασικός λόγος για τη χρήση του στις εφαρμογές της αεροδιαστημικής είναι η ικανότητά του να παράγει εξαρτήματα υψηλής απόδοσης ύψους μέχρι 6 m και 1,2 m πολύ ταχύτερα απ' ό,τι θα ήταν δυνατό με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής. Η παγκόσμια εταιρεία αεροδιαστημικής και άμυνας, η Lockheed Martin, ήταν από τις πρώτες που χρησιμοποίησαν την τεχνολογία EBAM, έχοντας χρησιμοποιήσει την τεχνολογία από το 2014. Με αυτή τη δυνατότητα τριδιάστατης εκτύπωσης μεγάλης κλίμακας, η εταιρεία είναι σε θέση να εκτυπώνει τριδιάστατο τεράστιο θόλο από τιτάνιο, για τις δορυφορικές δεξαμενές καυσίμων. Οι τριδιάστατοι θόλοι αναπτύχθηκαν ως μέρος ενός πολυετούς προγράμματος ανάπτυξης για τη δημιουργία δεξαμενών υψηλής πίεσης για τη μεταφορά καυσίμων στους δορυφόρους. Η δορυφορική δεξαμενή καυσίμου αποτελείται από έναν παραδοσιακά κατασκευασμένο κύλινδρο τιτανίου που σχηματίζει το σώμα και δύο τριδιάστατα τυπωμένα τρούλους που χρησιμεύουν ως καπάκια. Τα τρία μέρη συγκολλούνται μεταξύ τους για να σχηματίσουν το τελικό δοχείο δεξαμενής. Αξιοποιώντας την ικανότητα της EBAM να αποθηκεύσει την ακριβή ποσότητα υλικού που απαιτείται, η Lockheed Martin μπόρεσε να μειώσει τα απόβλητα υλικών κατά 80%. Επιπλέον, η υψηλή ταχύτητα εναπόθεσης του συστήματος EBAM, η οποία μπορεί να φτάσει έως και 11 kg ανά ώρα, επέτρεψε στον κατασκευαστή να παραδώσει τους θόλους σε τρεις μήνες αντί για δύο χρόνια - μια επιβλητική μείωση κατά 87% του χρόνου παραγωγής. Η Lockheed Martin πιστεύει ότι τέτοιες δεξαμενές αποτελούν ένα βήμα προς τη μετατροπή του τρόπου με τον οποίο η εταιρεία σχεδιάζει και παραδίδει τη διαστημική τεχνολογία. Και η τριδιάστατη εκτύπωση μεγάλης κλίμακας παίζει καθοριστικό ρόλο βοηθώντας την εταιρεία να κινηθεί προς αυτή την κατεύθυνση.



Εικόνα 3.7.: 3D-τυπωμένα εργαλεία λεπίδων για τα ελικόπτερα Bell

Ενώ η Lockheed Martin βρήκε περιπτώσεις χρήσης για μεγάλης κλίμακας μεταλλικές 3D εκτυπώσεις στην παραγωγή τελικού μέρους, η 3D εκτύπωση πολυμερούς αλλάζει το παιχνίδι για την παραγωγή εργαλείων της Bell. Στη βιομηχανία αεροδιαστημικής, η παραγωγή εργαλείων μπορεί να είναι μια μακρά και δαπανηρή διαδικασία. Προκειμένου να ξεπεράσει αυτές τις προκλήσεις, η Bell στράφηκε στην τεχνολογία LSAM της Thermwood για να παράγει μεγάλα καλούπια για πτερύγια ελικοπτερόων. Οι βασικές απαιτήσεις για το εργαλείο ήταν τοκαλόφινιρισμα της επιφάνειας, οι αυστηρές ανοχές και η ικανότητα αντοχής στην επεξεργασία του αυτοκλείστου - μια τεχνική που συμβάλλει στην ενίσχυση σύνθετων εξαρτημάτων που θα εκτίθενται σε αυξημένη πίεση και θερμοκρασία. Η LSAM ήταν ιδανική για μια τέτοια εφαρμογή για δύο κύριους λόγους. Πρώτον, επέτρεψε το εργαλείο μήκους 6 μέτρων να κατασκευαστεί από υλικό PESU ενισχυμένο με άνθρακα υψηλής απόδοσης, το οποίο μπορεί να αντέξει σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Δεύτερον, δεδομένου ότι η τεχνολογία LSAM είναι μια υβριδική τεχνολογία, ένα τμήμα μπορεί να εκτυπωθεί και να ολοκληρωθεί χωρίς την ανάγκη για μια δεύτερη μηχανή - συμβάλλοντας έτσι στην περαιτέρω επιτάχυνση της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτά τα οφέλη επέτρεψαν στην Thermwood να παράγει το εργαλείο σε λίγες μόνο ημέρες σε αντίθεση με τους μήνες που θα χρειαζόταν με τις παραδοσιακές διαδικασίες. Επιπλέον, η τεχνολογία προσθέτων επέτρεψε να σχεδιαστούν εσωτερικές δομές στήριξης με τρόπο που να μην αγγίζουν την πίσω πλευρά της κοιλότητας του καλουπιού. Ως αποτέλεσμα, ο αέρας θα μπορούσε να ρέει ελεύθερα κάτω από ολόκληρο το σχηματισμένο τμήμα στο αυτόκλειστο - πράγμα που βοηθά στη στερεοποίηση του τμήματος πιο σταθερά. Αυτό το επίτευγμα υποδεικνύει τις νέες δυνατότητες σχεδίασης που ξεκλειδώνει η μεγάλης κλίμακας 3D εκτύπωση για μεγάλα και τεχνικά περίπλοκα αεροδιαστημικά εξαρτήματα.

❖ Κατασκευαστικός τομέας

Ενώ η 3D εκτύπωση στην κατασκευαστική βιομηχανία βρίσκεται ακόμη σε πολύ πρώιμο στάδιο της υιοθέτησης, η τεχνολογία προσφέρει πολλά υποσχόμενα δυναμικά για τον τομέα. Για παράδειγμα, μία από τις αναδυόμενες τάσεις για τριδιάστατη εκτύπωση μέσα στον κατασκευαστικό κλάδο είναι οι τριδιάστατα προκατασκευασμένοι ξυλότυποι. Στην κατασκευή, ο ξυλότυπος αναφέρεται σε ένα προσωρινό καλούπι στο οποίο χύνεται και σχηματίζεται σκυρόδεμα. Οι πλάκες χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν οτιδήποτε από τις γέφυρες στα θεμέλια και στους τοίχους ενός κτιρίου. Τυπικά, ο ξυλότυπος μπορεί να παραχθεί με το χέρι χρησιμοποιώντας ξύλο. Ωστόσο, ο ξύλινος ξυλότυπος δεν είναι

ιδιαίτερα ανθεκτικός και συχνά αρχίζει να σπάει μετά από 15 έως 20 χυτεύσεις. Επιπλέον, η χειρωνακτική διαδικασία περιορίζει αναπόφευκτα το εύρος των πιθανών σχημάτων και γεωμετριών στο ανθρώπινο δυναμικό που μπορεί να παραχθεί. Σε ένα τέτοιο σενάριο, η μεγάλης κλίμακας τριδιάστατη εκτύπωση μπορεί να απλοποιήσει σημαντικά τη διαδικασία δημιουργίας του ξυλότυπου, επιτρέποντας ταυτόχρονα μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και ανθεκτικότητα στις μεγάλες κατασκευές καλουπιού



Εικόνα 3.8.: Χρησιμοποιώντας την εκτύπωση 3D για την αποκατάσταση της πρόσοψης του εργοστασίου ζάχαρης του Domino στη Νέα Υόρκη

Ένα πρόσφατο παράδειγμα χρήσης του τριδιάστατου εκτυπωμένου ξυλότυπου περιλαμβάνει ένα μεγάλης κλίμακας έργο ανακαίνισης για ένα 42όροφο ιστορικό οικιστικό και εμπορικό κτίριο στη Νέα Υόρκη. Η Precast Gate, μια εταιρεία που εργαζόταν στη νέα πρόσοψη για το κτίριο, διαπίστωσε ότι η δημιουργία ξύλινων καλουπιών για το έργο θα ήταν μια σημαντική επιχείρηση που θα μπορούσε να διαρκέσει έως και 9 μήνες για να ολοκληρωθεί. Τα καλούπια που απαιτήθηκαν ήταν μεγάλα - μερικά από αυτά έφθασαν τα 2,6 x 1,7 x 0,5 m, προσθέτοντας περαιτέρω τους μακρούς χρόνους παραγωγής. Για να επιταχυνθεί η διαδικασία, η εταιρεία αποφάσισε να πειραματιστεί με 3D εκτύπωση και συνεργάστηκε με το Εθνικό Εργαστήριο Oak Ridge (ORNL) για να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία BAAM. Χάρη στην BAAM, η εταιρεία ήταν σε θέση να εκτυπώνει καλούπια μεταξύ 8 και 11 ωρών το καθένα, με επιπλέον 8 ώρες μηχανουργικής κατεργασίας για να επιτύχει το επιθυμητό τελείωμα επιφάνειας. Τα καλούπια κατασκευάστηκαν με ενισχυμένο με ίνες άνθρακα ABS (ένα κοινό θερμοπλαστικό αναμειγμένο με τεμαχισμένες ίνες άνθρακα για πρόσθετη αντοχή). Το αποτέλεσμα είναι ένα ισχυρό καλούπι που μπορεί να στηρίξει μέχρι και 200 μετόν κατά τη διάρκεια της ζωής του, σε σύγκριση με 15-20 χυτεύσεις για ένα ξύλινο καλούπι. Η εταιρεία πιστεύει ότι χωρίς τα 3D τυπωμένα καλούπια και τη BAAM, θα ήταν αδύνατο να

δημιουργηθούν τα έντυπα μέσα στο χρονοδιάγραμμα που απαιτείται για αυτό το έργο. Σε αυτή την περίπτωση, η εκτύπωση 3D παρείχε αξία στην παραγωγή πιο ανθεκτικών και πιο σύνθετων καλουπιών σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

❖ Χυτήριο

Η 3D εκτύπωση μεγάλης κλίμακας επικεντρώνεται όλο και περισσότερο στη βιομηχανία χυτηρίων. Μία επιχείρηση χυτηρίου περιλαμβάνει την παραγωγή μεταλλικών προϊόντων χύτευσης με τήξη και έκχυση μετάλλων σε ειδικά διαμορφωμένα καλούπια και πυρήνες. Όταν πρόκειται για διαδικασίες χύτευσης μετάλλων, η τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει στην παράκαμψη των δαπανηρών και χρονοβόρων πτυχών της δημιουργίας μοτίβων, πυρήνων και καλουπιών. Ας πάρουμε ως παράδειγμα τη συμβατική μεταλλική χύτευση. Για να μεταβούμε από ένα σχέδιο στην παραγωγή ακριβών καλουπιών και μοτίβων και, τέλος, στο έτοιμο τμήμα χύτευσης, μπορεί να διαρκέσει μήνες. Τα χυτήρια θα πρέπει επίσης συνήθως να αποθηκεύουν καλούπια σε αποθετήρια, τα οποία μπορεί να είναι ακριβά στην περίπτωση μεγαλύτερων ή σπάνια χρησιμοποιούμενων καλουπιών. Η έλλειψη εξειδικευμένου σχεδιαστή και κατασκευαστών καλουπιών είναι μια άλλη πρόκληση που συχνά αντιμετωπίζουν τα χυτήρια. Η 3D εκτύπωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο μέσα στη βιομηχανία χύτευσης μετάλλων για να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων. Δεδομένου ότι η τριδιάστατη εκτύπωση απαιτεί μόνο ένα αρχείο σχεδιασμού, μπορεί να εξαλειφθεί η διαδικασία χειροκίνητης κατασκευής καλουπιού και η συναρμολόγηση των πολύπλοκων πυρήνων. Η εξομάλυνση της παραγωγής με αυτόν τον τρόπο επιτρέπει σε ένα χυτήριο να δημιουργήσει καλούπια και σχέδια μέσα σε λίγες μέρες αντί για εβδομάδες και μήνες. Επιπλέον, η εκτύπωση 3D μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή καλουπιών κατά παραγγελία, βοηθώντας μια εταιρεία να ελαχιστοποιήσει το φυσικό της απόθεμα και συνεπώς το κόστος αποθήκευσης.



Εικόνα 3.9.: Ένας 3D τυποποιημένος τύπος πτερυγίου προπέλας και το έτοιμο τμήμα

Κεφάλαιο 4^ο: Επιστημονικές έρευνες

Η 3D εκτύπωση είναι ένας τομέας αρκετά ώριμος για έρευνα και μέχρι σήμερα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός επιστημονικών μελετών. Μιανέαμελέτημετίτλο "3D printing new direction and collaboration in scientific research. A scientometric study using Web of Science, Clarivate Analytics database" προσπάθησε με τη χρήση της βάσης δεδομένων Web of Science καθώς επίσης και της βάσης δεδομένων Clarivate Analytics να εξετάσει από που προέρχεται το μεγαλύτερο μέρος των μελετών αλλά και το ποιός τις διεξάγει. Πιο συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν δεδομένα εξετάζοντας μια περίοδο 35 ετών. Ελήφθησαν και αναλύθηκαν 11.529 βιβλιογραφικές εγγραφές και με τη βοήθεια του λογισμικού VOS Viewer κατασκευάστηκαν και οπτικοποιήθηκαν τα βιβλιογραφικά δίκτυα. Τα δίκτυα αυτά περιλαμβάνουν περιοδικά, ερευνητικές ή μεμονωμένες δημοσιεύσεις και μπορούν να κατασκευαστούν βάσει παραπομπής, βιβλιογραφικής σύζευξης, συν-παραπομπής ή συν-συγγραφικών σχέσεων.

Εκπληκτικό είναι το γεγονός ότι ο αριθμός των μελετών που αφορούσαν την 3D εκτύπωση αυξανόταν σταδιακά κάθε χρόνο. Ο μεγαλύτερος αριθμός δημοσιεύσεων ήταν το 2017, ακολουθούμενο από το 2016, το 2015 και το 2014 αντίστοιχα. Ο μικρότερος αριθμός δημοσιεύσεων ήταν το 1983 όπου έχουμε την πρώτη μελέτη για την 3D εκτύπωση: ένα έγγραφο με τίτλο " 3D – Profile Detection of Etched Patterns Using a Laser Scanner (3D – Scan Detection) for Automatic Inspection of Printed-Circuit Boards".

Πίνακας 4.1.:Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος σχετικές με την 3D εκτύπωση

Year	Records	Year	Records	Year	Records	Year	Records
2017	3275	2010	174	2004	56	1994	10
2016	3016	2009	164	2000	45	1996	8
2015	1860	2008	143	2002	41	1993	6
2014	1035	2007	135	2001	40	1995	5
2013	483	2005	86	1997	31	1991	2
2012	287	2006	81	1999	28	1992	2
2018	224	2003	66	1998	23	1983	1
2011	202						

Παρατηρούμε ότι ο αριθμός των μελετών διπλασιάστηκε για πρώτη φορά το 2014, σε 1.083 από το 483 του 2013. Δύο χρόνια αργότερα, ο αριθμός διπλασιάστηκε για άλλη μια φορά από 1.860 το 2015 σε 3.016 το 2016. Οι Ηνωμένες Πολιτείες αποδείχθηκαν παγκόσμιοι ηγέτες στη δημοσίευση των μελετών 3D εκτύπωσης. Ωστόσο, το ακαδημαϊκό ίδρυμα με τις υψηλότερες επιστημονικές επιπτώσεις είναι το Nanyang Technological University στη Σιγκαπούρη. Ο πιο παραγωγικός συγγραφέας στον τομέα μέχρι στιγμής

είναι ο C.K. Chua. Ο υψηλότερος επιστημονικός αντίκτυπος προήλθε από το έγγραφο του 2010 με τίτλο "Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing".

Μία από τις κύριες πηγές δημοσιεύσεων για την 3D εκτύπωση είναι και τα πρακτικά επιστημονικών συνεδρίων. Τα συνέδρια με την υψηλότερη επιστημονική επιρροή φαίνεται να είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 4.2. :Τα κορυφαία εννέα συνέδρια με την υψηλότερη επιστημονική επιρροή

Conference Title	Record Count	% of 44
Proceedings of the 2 nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing PRO AM 2016	12	27.273 %
Proceedings of the International Conference on Progress in Additive Manufacturing	12	27.273 %
Lasers in 3D Printing and Manufacturing	7	15.909 %
Proceedings of the 1 st International Conference on Progress in Additive Manufacturing	7	15.909 %
World Scientific Series in 3D Printing	7	15.909 %
Virtual and Physical Prototyping	6	13.636 %
3D Printing and Additive Manufacturing Principles and Applications	4	9.091 %
3D Printing and Additive Manufacturing Principles and Applications the 4 th Edition of Rapid Prototyping Principles and Applications	4	9.091 %
Innovative Developments on Virtual and Physical Prototyping	2	4.545 %

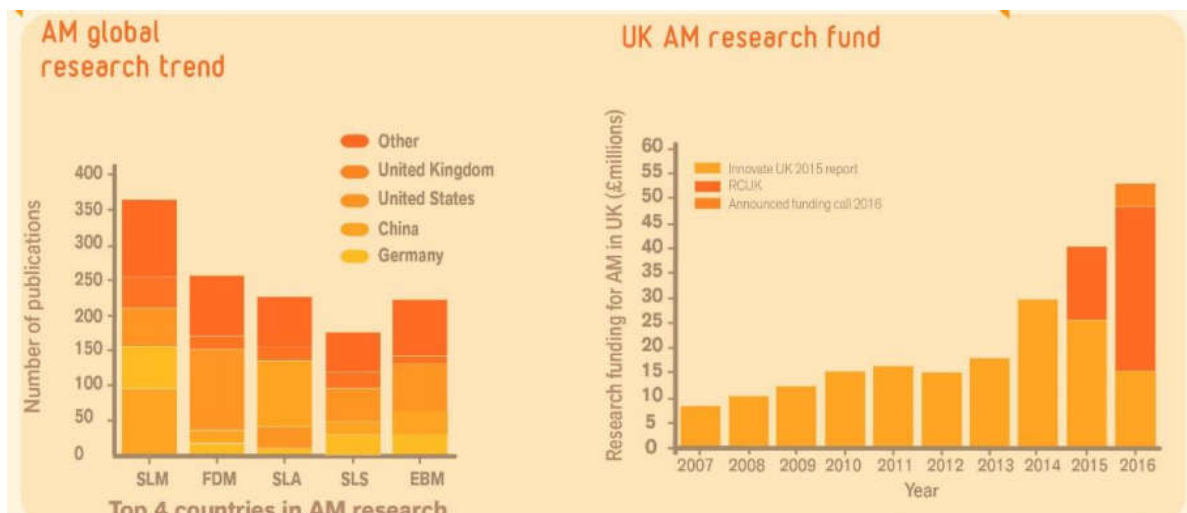
Όσον αφορά τα βιογραφικά έγγραφα, οι Ηνωμένες Πολιτείες ήταν και πάλι ηγέτης, ακολουθούμενη από την Κίνα και τη Γερμανία. "Αποδεικνύεται ότι η ακαδημαϊκή παραγωγικότητα αποτελεί συνάρτηση του πολυδιάστατου συνδυασμού των εργασιών του ακαδημαϊκού ερευνητή: το επιστημονικό έργο, την εκπαίδευση και τις εξωτερικές σχέσεις", καταλήγουν οι ερευνητές. "Η χαρτογράφηση της επιστήμης είναι μια χωρική αναπαράσταση του πώς οι κλάδοι, τα πεδία, οι ειδικότητες, τα έγγραφα και οι συγγραφείς σχετίζονται μεταξύ τους. Με τη χρήση επιστημομετρίας, οι ερευνητές μπορούν να εντοπίσουν νέες και συναφείς προκλήσεις στον τομέα της έρευνας"(Scott, 2018).

Η προσθετική κατασκευή (AM) καλύπτει ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών τεχνικών, ταξινομημένο με τα μέσα με τα οποία το υλικό εναποτίθεται και στερεοποιείται. Λόγω της ευκολίας κατασκευής, τα πολυμερή έχουν δει την πιο διαδεδομένη εφαρμογή, ωστόσο αυτό αυξάνεται ραγδαία ώστε να περιλαμβάνει περισσότερα υλικά όπως μέταλλα, κεραμικά και σύνθετα υλικά. Ωστόσο, ενώ η διείσδυση της τεχνολογίας σε τομείς όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία και η ιατρική έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, η διείσδυση της μαζικής αγοράς δεν έχει ακόμη επιτευχθεί λόγω ορισμένων

τεχνικών προκλήσεων. Συνεπώς, οι προκλήσεις της έρευνας και της βιομηχανίας περιλαμβάνουν:

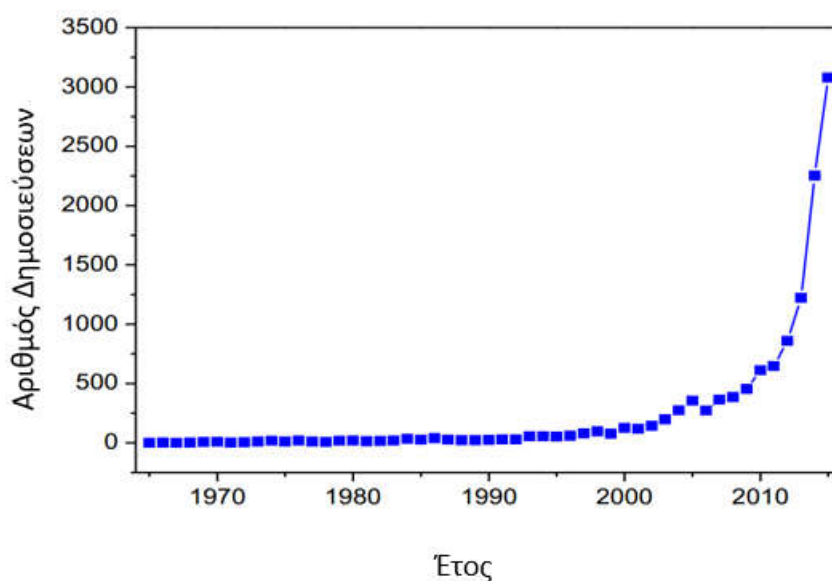
- Ασυμβίβαστη επαναληψιμότητα των εκτυπώσεων σε συνδυασμό με απαιτήσεις για καλύτερες ιδιότητες υλικών
- Εξαιρετικά μη βελτιστοποιημένες δομές υποστήριξης που προσθέτουν χρόνο και κόστος εκτύπωσης
- Εργαλεία λογισμικού που δεν είναι σε θέση να περιγράψουν τις πολύπλοκες γεωμετρίες που είναι ικανές να εξοπλίσουν τον εξοπλισμό AM
- Έλλειψη καθολικά υιοθετημένων προτύπων, πράγμα που οδηγεί σε αναντιστοιχία μεταξύ του τι σχεδιάζετε και τι παίρνετε
- Μεγάλα και δαπανηρά βήματα προ- και μετα-επεξεργασίας στην αλυσίδα παραγωγής AM όπως η ρύθμιση μοντέλου, αφαίρεση υποστρώματος και ανακύκλωση υλικών
- Περιορισμένη διαθεσιμότητα σχεδιασμού για εργαλεία AM που επιτρέπουν στους «μη ειδικούς» να αποκομίσουν τα μέγιστα οφέλη από την τεχνολογία
- Ασαφή και περιορισμένα πλαίσια σχετικά με την ψηφιακή ιδιοκτησία των μοντέλων

Η παγκόσμια αγορά της προσθετικής κατασκευής (AM), που αποτελείται από όλα τα προϊόντα και τις υπηρεσίες AM παγκοσμίως, αυξάνεται. Όπως αναφέρθηκε στην έκθεση της WohlersAss. το 2012(WohlersandWohlersAssociates, 2012), η παγκόσμια αγορά της προσθετικής κατασκευής έχει αυξηθεί σημαντικά κατά σχεδόν πενταπλάσια τα τελευταία έξι χρόνια. Η προσθετική κατασκευή έχει διανύσει μεγάλο δρόμο την τελευταία δεκαετία, αλλά εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει μόνο το 0,02% των παγκόσμιων παραγωγικών δραστηριοτήτων το 2015, που ήταν περίπου 25 τρισεκατομμύρια δολάρια το 2014 (Blum, 2015). Η παγκόσμια ανάγκη για 3D εκτυπωτές αναμένεται να αυξηθεί κατά περισσότερο από 40% τα επόμενα 10 χρόνια. Ταυτόχρονα, η μέση τιμή ανά εκτυπωτή προβλέπεται να μειωθεί, οπότε η παγκόσμια αγοραία αξία αναμένεται να ανέλθει σε 21 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020 με μέσο CAGR κοντά στο 30% (WohlersandWohlersAssociates, 2014). Η σταθερή διψήφια ανάπτυξη στην παγκόσμια αγορά της προσθετικής κατασκευής θα οδηγήσει στην υπερπήδηση των τεχνικών και εμπορικών εμποδίων.



Γράφημα 4.1.:Ερευνητική τάση για την προσθετική κατασκευή παγκοσμίως και η χρηματοδότηση της έρευνας στο Ηνωμένο Βασίλειο

Ποια είναι η γενική τάση καθ' όλη τη διάρκεια των ετών; Οι πρώτες έρευνες για την προσθετική κατασκευή από τη δεκαετία του 1960 με λίγες μόνο δημοσιεύσεις δεκαετίες, ακολουθώντας δύο πρώτες βασικές ευρεσιτεχνίες για τα SLA και FDM που κατατέθηκαν τη δεκαετία του 1980. Από το 2000 οι τεχνικές της προσθετικής κατασκευής άρχισαν να προσελκύουν μεγάλο ενδιαφέρον στη βιομηχανία, οδηγώντας σε σημαντική αύξηση της έρευνας που σχετίζεται με την προσθετική κατασκευή, οπότε ο αριθμός των μελετών να έχει αυξηθεί εκθετικά σε πάνω από 3.000 σε παγκόσμιο επίπεδο το 2015 (Gao et al., 2015).



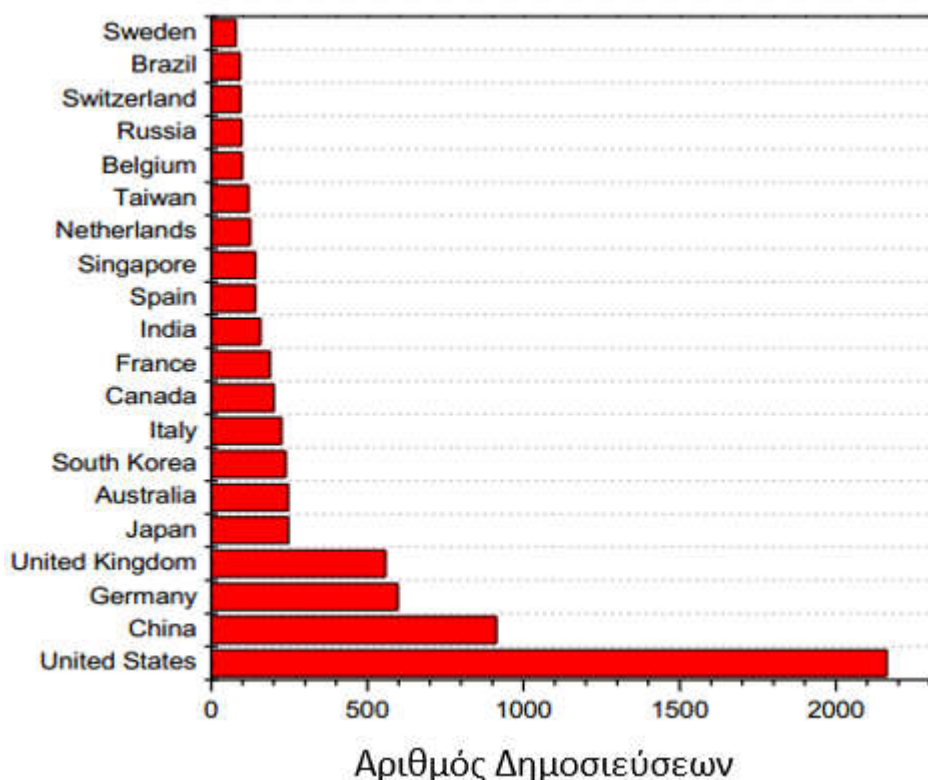
Γράφημα 4.2.:Συνολικός αριθμός δημοσιεύσεων για την προσθετική κατασκευή παγκοσμίως ανά έτος

Τα δεδομένα σε αυτήν την ενότητα συλλέγονται χρησιμοποιώντας το εργαλείο αναζήτησης Scopus. Δεδομένου ότι η παγκόσμια αγορά κλιμακώνεται σε διψήφιο ρυθμό ανάπτυξης μετά το 2015, η εκθετική αύξηση των μελετών για την προσθετική εκτύπωση αναμένεται να συνεχιστεί από 2016 και μετά (Vicari and Kozarsky, 2013).

Ποιες είναι οι κορυφαίες χώρες που ασχολούνται με την παρασκευή προσθέτων;

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές χώρες που είναι σήμερα, ή να αρχίσει να επικεντρώνονται στην έρευνα που σχετίζεται με την προσθετική κατασκευή.

Από το 2014 έως το 2016, υπάρχουν περίπου 80 χώρες που έχουν δείξει σημαντικό ενδιαφέρον για την προσθετική κατασκευή, με περισσότερες από 10 δημοσιεύσεις. Μεταξύ αυτών, οι κορυφαίες 20ι χώρες συνοψίζονται στο σχήμα



Γράφημα 4.3.: Οι 20 πρώτες χώρες που ασχολούνται με την έρευνα της προσθετικής κατασκευής παγκοσμίως

Οι κορυφαίες τέσσερις χώρες αποτελούνται από τις ΗΠΑ, την Κίνα, τη Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο με το υψηλότερο ποσό από το 2014 έως το 2016. Από τη δεκαετία του 1980, η ΕΕ άρχισε να χρηματοδοτεί την έρευνα της προσθετικής κατασκευής (με περισσότερα από 160 εκατομμύρια ευρώ χρηματοδότηση μεταξύ του 2007 και του 2013).

Πρόκειται κυρίως για το πρόγραμμα EUFP7 της ΕΕ μέχρι το 2013, μετά την οποία αντικαταστάθηκε από το πρόγραμμα «Horizon2020».

- Το έργο RepAIR ύψους 4,3 εκατ. ευρώ στοχεύει στη μελλοντική επισκευή και συντήρηση της αεροδιαστημικής βιομηχανίας ώστε να είναι πιο αποδοτική και οικονομικά συμφέρουσα χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες της προσθετικής κατασκευής. Αυτοί έχουν επιδείξει τη "λύση υψηλής επισκευής παρτίδας" χρησιμοποιώντας την τεχνολογία SLM (Ford, 2016).
- ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος χρηματοδότησε έργο ύψους 0,5 εκατ. Ευρώ στο Trinity College Dublin προκειμένου να αναπτύξει έναν 3D εκτυπωτή για διαστημικές αποστολές (ASM Int., 2015).
- Το έργο NANOMASTER ύψους 4,2 εκατομμυρίων ευρώ αποσκοπούσε στην ανάπτυξη των επόμενων γενικών πολυλειτουργικών νανο-ενδιάμεσων που θα χρησιμοποιηθούν στην υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία (Overview of the factories of the future projects: progress through partnership, 2012).

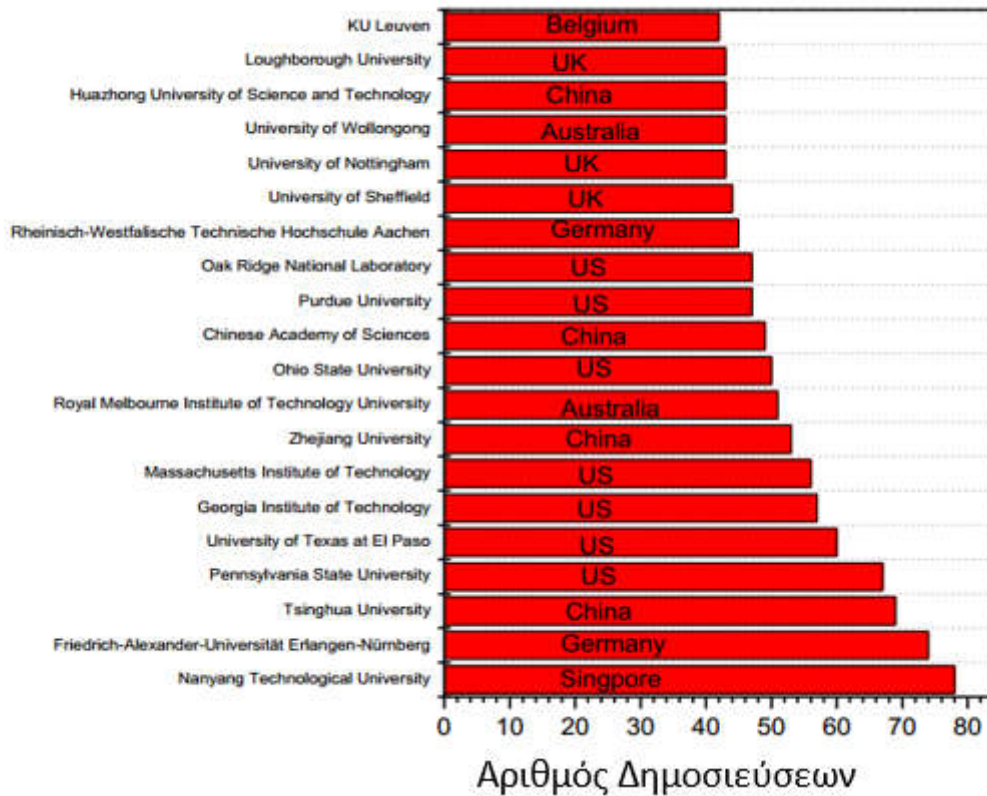
Το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν η ηγετική χώρα της ΕΕ όσον αφορά τη συμμετοχή στην ερευνητική δραστηριότητα της ΕΕ, υπερβαίνοντας όλες τις άλλες χώρες της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένης της Γερμανίας που έχει το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό προμηθευτών μηχανημάτων προσθετικής κατασκευής στον κόσμο. Με βάση την έκθεση SIG του 2012 το 45% του τρέχοντος προγράμματος FP7 τα επικεντρωμένα σχέδια διευθύνονταν από ιδρύματα του Ηνωμένου Βασιλείου. Επιπλέον, το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή δημοσιεύσεων συνεδρίων (A.M.S.I. Group, 2012). Ωστόσο, εξετάζοντας τα πρόσφατα δεδομένα δημοσίευσης, το Ηνωμένο Βασίλειο κατατάσσεται σε 4η θέση με στενή αντιστοιχία με τη Γερμανία, καθώς η Κίνα ανεβαίνει στην κορυφή (2η χώρα). Οι ΗΠΑ διατήρησαν την 1η θέση στις δημοσιεύσεις μελετών για την προσθετική κατασκευή.

Μέχρι το 2014 δεν υπάρχουν δημοσιευμένες μελέτες για μεγάλης κλίμακας προσθετικές κατασκευές αλλά ορισμένες χώρες ενέργησαν γρήγορα για να το αντιμετωπίσουν. Το 2014, το Εθνικό Εργαστήριο Oak Ridge (ORNL) που διαχειρίζεται το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ εισήγαγε την τεχνολογία μεγάλης κλίμακας προσθετικής κατασκευής -BAAM (Krassenstein, 2015). Στα τέλη του 2015, το κράτος της Νέας Υόρκης ανακοίνωσε την κατασκευή ενός εργοστασίου 3D εκτύπωσης σε βιομηχανική κλίμακα ύψους 125 εκατομμυρίων δολαρίων σε συνεργασία με τη Norsk Titanium (Matisons, 2015).

Αυτή είναι η πρώτη μονάδα 3D εκτύπωσης σε βιομηχανική κλίμακα στο κόσμο για την κατασκευή μεταλλικών εξαρτημάτων για την αεροδιαστημική. Παράλληλα με τις ΗΠΑ, η Κίνα είναι μια άλλη χώρα που έχει ενεργή ανάπτυξη της τεχνολογίας μεγάλης κλίμακας προσθετικής κατασκευής από το 2012 (3D Printers 3D Print. News., 2014). Υπάρχουν μερικοί κινεζικοί οργανισμοί που επικεντρώνονται στην παραγωγή τριδιάστατων τυπωμένων μερών σε κράματα τιτανίου, και ανοξείδωτου χάλυβα για την αεροδιαστημική, συμπεριλαμβανομένων του Πανεπιστημίου Beihang, του Βορειοδυτικού Πολυτεχνείου, του Πανεπιστημίου Επιστήμης και Τεχνολογίας Hangzhou, του Πανεπιστημίου Νταλιάν κ.α. Ωστόσο, η τεχνολογία μεγάλης κλίμακας προσθετικής κατασκευής δεν έχει ακόμη αντιμετωπιστεί πλήρως από το Ηνωμένο Βασίλειο σε ερευνητικό επίπεδο. Το μόνο σημαντικό έργο είναι η διαδικασία κατασκευής πρόσθετων καλωδίων και τόξων (WAAM) στο Πανεπιστήμιο Cranfield (Cranfield University, 2016).

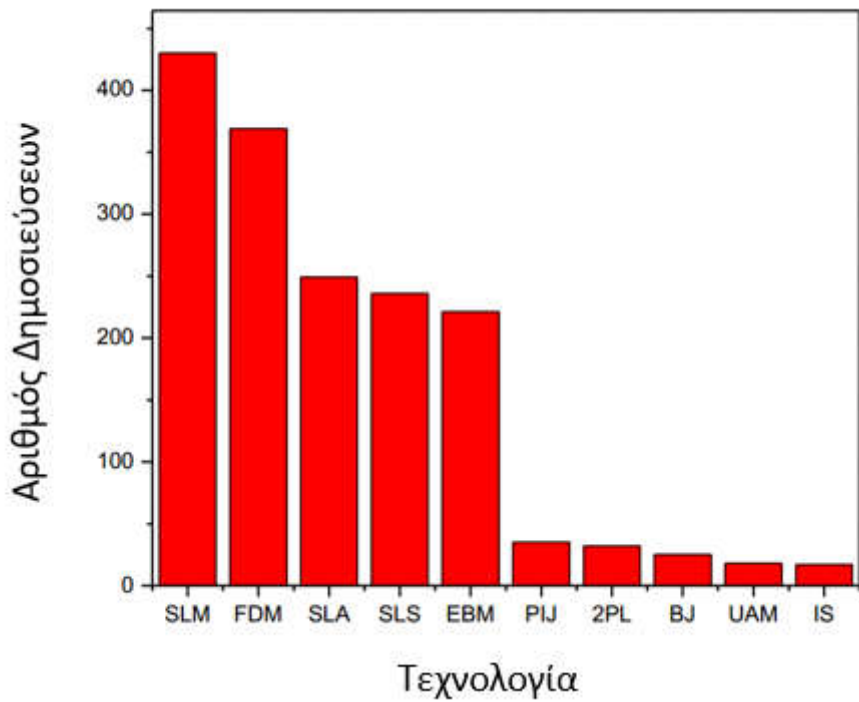
Στη λίστα των 20 κορυφαίων οργανισμών υπάρχουν 7 οργανισμοί από τις ΗΠΑ, 4 από την Κίνα, 3 από το Ηνωμένο Βασίλειο, 2 από τη Γερμανία, 2 από την Αυστραλία, 1 από τη Σιγκαπούρη και 1 από το Βέλγιο. Το πανεπιστήμιο του Sheffield, το Πανεπιστήμιο του Nottingham και το πανεπιστήμιο Loughborough του Ηνωμένου Βασιλείου αναγνωρίζονται εδώ ως βασικοί συντελεστές στην έρευνα προσθετικής κατασκευής σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η παγκόσμια δικτύωση επιτυγχάνεται κυρίως μέσω διεθνών διασκέψεων. Η Διεθνής Διάσκεψη για την Προσθετική Κατασκευή (AM & 3D) έχει πλέον καθιερωθεί ως ένα από τα κορυφαία συμβάντα για τη μεταφορά και δικτύωση της γνώσης παγκοσμίως που εστιάζονται αποκλειστικά στην παραγωγή εξαρτημάτων τελικής χρήσης που χρησιμοποιούν πρόσθετες «στρωματικές τεχνολογίες» (MAPP, 2017). Το συνέδριο περιλαμβάνει τόσο ακαδημαϊκούς όσο και ομιλητές από το χώρο της βιομηχανίας από όλο τον κόσμο, οι οποίοι συζητούν θέματα όπως η διαδικασία της προσθετικής κατασκευής και η ανάπτυξη υλικών, η στρατηγική επιχειρήσεων και λιανικών πωλήσεων προϊόντων προσθετικής κατασκευής, η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού και οι εξελίξεις στη μοντελοποίηση διαδικασιών. Η εκδήλωση παρακολουθείται από περίπου 300 αντιπροσώπους από όλο τον κόσμο, αντιπροσωπεύοντας μερικές από τις πιο καινοτόμες εταιρείες και μάρκες παγκοσμίως. Το ενδέκατο διεθνές συνέδριο πραγματοποιήθηκε από την Addition Manufacturing & 3D Printing Research Group (3DPRG) με έδρα το Πανεπιστήμιο του Nottingham, σε συνεργασία με την Scientific Scientific, τον Ιούλιο του 2016 στο Nottingham (CMCA, 2017).

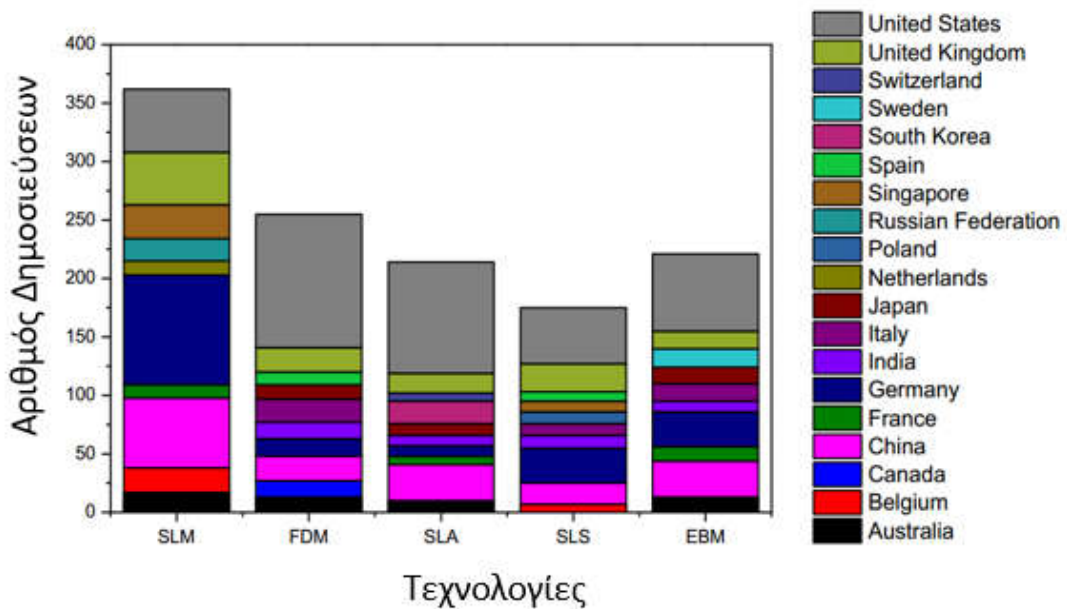


Γράφημα 4.4.: Οι 20 κορυφαίοι οργανισμοί (Πανεπιστήμια) που ασχολούνται με την έρευνα της προσθετικής κατασκευής παγκοσμίως

Ποιο είναι το παγκόσμιο ερευνητικό ενδιαφέρον για την τεχνολογία προσθετικής κατασκευής; Οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής που έχουν μελετηθεί ως επί το πλείστον είναι οι εξής: SLM, FDM, SLA, SLS και EBM και ο αριθμός των σχετικών δημοσιεύσεων παρουσιάζεται στο κάτωθι γράφημα δείχνει την κατανομή των δημοσιεύσεων μόνο από τις 10 πρώτες χώρες σε κάθε περιοχή. Δεν μας εκπλήσσει το ότι οι ΗΠΑ έχουν δημοσιεύσει το μεγαλύτερο αριθμό μελετών σε αυτές τις περιοχές (με πάνω από το 40% των δημοσιεύσεων για το FDM και SLA). Οι υπόλοιπες συνεισφορές προέρχονται κυρίως από τις άλλες 3 κορυφαίες χώρες, συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου, τη Γερμανία και την Κίνα. Συγκεκριμένα, η συμμετοχή του Ηνωμένου Βασιλείου κυμάνθηκε από 6% (EBM) έως 13% (SLS).



Γράφημα 4.5.: Ο συνολικός αριθμός των δημοσιεύσεων παγκοσμίως των διαφόρων τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής



Γράφημα 4.6.: Συνολικός Αριθμός δημοσιεύσεων των 10 κορυφαίων χωρών για κάθε πεδίο

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, θα αναζητήσω στοιχεία για τις ερευνητικές μελέτες όσο αφορά την προσθετική κατασκευή και πιο συγκεκριμένα θα κάνω αναζήτηση στη βάση δεδομένων Scopus με τις λέξεις κλειδιά:

- Largescaleadditivemanufacturing
- Big area additivemanufacturing

Τι είναι το **Scopus**?



Το Scopus θεωρείται ως μία από τις μεγαλύτερες βάσεις δεδομένων για περιλήψεις και παραπομπές βιβλιογραφίας: επιστημονικά περιοδικά, βιβλία και πρακτικά συνεδρίων. Παρέχει έξυπνα εργαλεία στον χρήστη ώστε να μπορεί να παρακολουθεί, να αναλύει και να οπτικοποιεί την έρευνα παρέχοντας μια περιεκτική επισκόπηση της παγκόσμιας έρευνας στους τομείς της επιστήμης, της τεχνολογίας, της ιατρικής, των κοινωνικών επιστημών, των τεχνών και των ανθρωπιστικών επιστημών.

Η βάση δεδομένων καλύπτει περισσότερους από 22.000 τίτλους με πάνω από 5.000 εκδότες (οι 20.000 τίτλοι είναι περιοδικά για επιστήμη, τεχνικά θέματα, ιατρικά θέματα και κοινωνικές επιστήμες). Είναι ιδιοκτησία της Elsevier και είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο με συνδρομή.

Το Scopus είναι μία βάση δεδομένων η οποία είναι εύκολη στην πλοήγηση, ακόμα και για κάποιον χρήστη ο οποίος είναι αρχάριος. Ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει δεδομένα μέχρι το 1966. Η βάση προσφέρει στοιχεία για το προφίλ του συγγραφέα, τον αριθμό των δημοσιεύσεων και βιβλιογραφικών δεδομένων, αναφορές, και λεπτομέρειες σχετικά με τον αριθμό των παραπομπών για κάθε δημοσιευμένο έγγραφο κ.α.

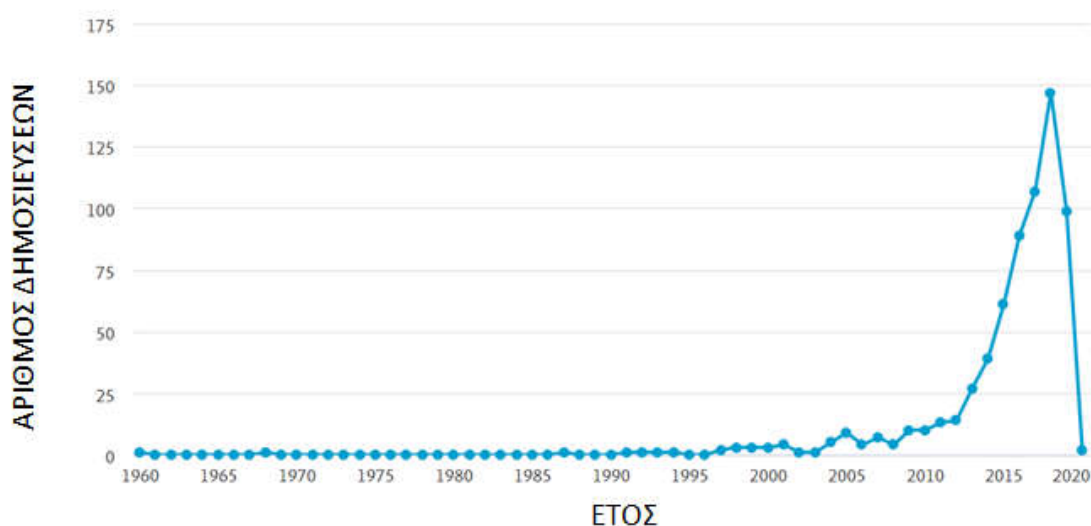
- **Largescaleadditivemanufacturing**

Γράφοντας στην αναζήτηση το **largescaleadditivemanufacturing** εμφανίστηκαν 671 αποτελέσματα.

1. Θέτοντας το φίλτρο **Year (έτος)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά έτος. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.3: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος (κλειδί αναζήτησης: *largescaleadditivemanufacturing*)

Α/Α	ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	Α/Α	ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	Α/Α	ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	2020	2	21	2000	3	41	1980	0
2	2019	99	22	1999	3	42	1979	0
3	2018	147	23	1998	3	43	1978	0
4	2017	107	24	1997	2	44	1977	0
5	2016	89	25	1996	0	45	1976	0
6	2015	61	26	1995	0	46	1975	0
7	2014	39	27	1994	1	47	1974	0
8	2013	27	28	1993	1	48	1973	0
9	2012	14	29	1992	1	49	1972	0
10	2011	13	30	1991	1	50	1971	0
11	2010	10	31	1990	0	51	1970	0
12	2009	10	32	1989	0	52	1969	0
13	2008	4	33	1988	0	53	1968	1
14	2007	7	34	1987	1	54	1967	0
15	2006	4	35	1986	0	55	1966	0
16	2005	9	36	1985	0	56	1965	0
17	2004	5	37	1984	0	57	1964	0
18	2003	1	38	1983	0	58	1963	0
19	2002	1	39	1982	0	59	1962	0
20	2001	4	40	1981	0	60	1961	0
						61	1960	1



Γράφημα 4.7: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά έτος (κλειδί αναζήτησης: *largescaleadditivemanufacturing*)

Ενδεικτικά οι δύο μελέτες που θα δημοσιευτούν το 2020 είναι οι κάτωθι:

- Visions, concepts, and applications in additive manufacturing for yacht design (Musio-Sale, Nazzaro and Peterson, 2020).

Η τριδιάστατη σάρωση και μοντελοποίηση στο σχεδιασμό και την κατασκευή σκαφών επιτρέπουν υψηλό επίπεδο γεωμετρικής ακρίβειας και επίσημης ελευθερίας, επιτυγχάνοντας παράλληλα πολλά από τα κριτήρια λειτουργικής απόδοσης που απαιτούνται στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής παρουσιάζουν νέες ευκαιρίες για την κατασκευή του σχεδιασμού, μετατοπίζοντας τα πρωτότυπα από μια ενδιάμεση λειτουργία σε πιο άμεσες εφαρμογές στον τομέα παραγωγής περιορισμένη μόνο από τους περιορισμούς κλίμακας και υλικού του τρέχοντος εξοπλισμού 3D εκτύπωσης. Μελλοντικά σενάρια για αυτό το είδος εφαρμογής στην κατασκευή σκαφών αναδεικνύουν τη δυνατότητα δημιουργίας εναλλακτικών συστημάτων σχεδιασμού που περιλαμβάνουν μεγαλύτερα στοιχεία που ενσωματώνουν διαφορετικά υλικά με ποικίλα πάχη και πυκνότητες για να ικανοποιήσουν τις πολύπλοκες υλικές, δομικές και μηχανικές απαιτήσεις των εξελιγμένων θαλάσσιων στοιχείων.

- A holistic approach to additive manufacture; from design for AM to part verification in product development (Tallonand Wilson, 2020).

Η εργασία παρουσιάζει μια επισκόπηση των πλεονεκτημάτων και των παγίδων της υιοθέτησης της προσθετικής κατασκευής ως εργαλείο στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη μεγάλης γκάμας προϊόντων. Η τεχνολογία προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα και ευελιξία στον σχεδιαστή αλλά απαιτεί μια νέα ματιά στις παραμέτρους σχεδιασμού. Η τεχνολογία δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για να κάνει ό, τι μπορεί ήδη να γίνει, αλλά με ένα νέο εργαλείο. Θα πρέπει μάλλον να αποτελέσει τη βάση για τη δημιουργία μιας νέας μορφής που να ανταποκρίνεται στις λειτουργικές απαιτήσεις, η οποία χρησιμοποιεί την ολιστική προσέγγιση που υποστηρίζουμε και η οποία δεν μπορεί να γίνει με κλασικές τεχνολογίες όπως η μηχανική κατεργασία ή η χύτευση.

Από το 2010 παρατηρείται μία αυξητική τάση στον αριθμό των δημοσιευμένων μελετών με τον **μεγαλύτερο αριθμό** να καταγράφεται το έτος **2018** (147 μελέτες). Το **2019** παρατηρήθηκε **35% μείωση** των δημοσιευμένων μελετών (99 μελέτες).

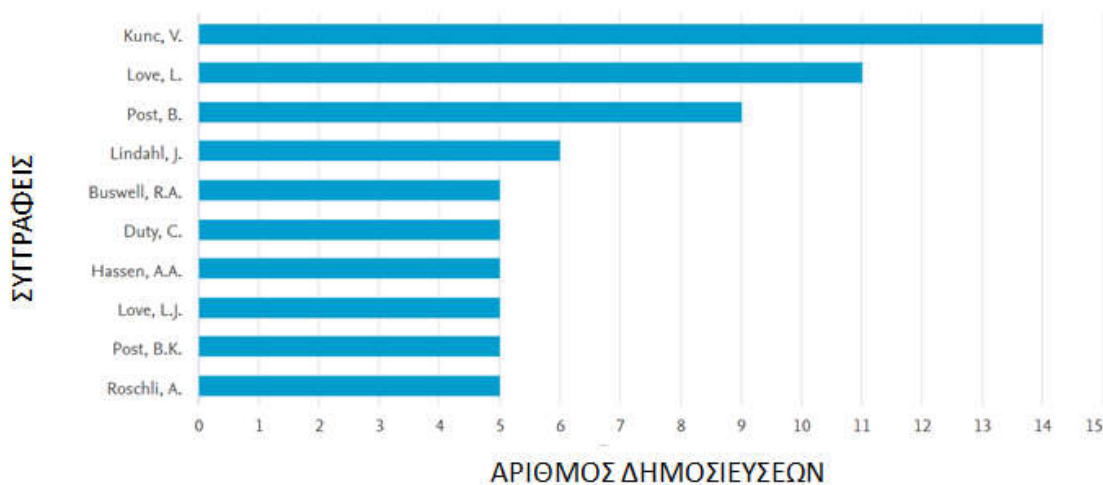
Σημείωση: Εκπαραδρομή στον πίνακα 4.3 και στο διάγραμμα 4.7 υπάρχει η εγγραφή μίας δημοσίευσης του 1960 (Periclase-forsterite refractories from silicamagnesite των Bron, V.A., Bichurina, A.A.) καθώς και η εγγραφή μίας δημοσίευσης του 1968 (The manufacture and properties of lubricating greases, Jones, E.F.) που περιλάμβαναν τις λέξεις κλειδιά **large scale manufacturing** και **όχι τις λέξεις κλειδιά **large scale additive manufacturing****. Οι 2 αυτές εγγραφές δεν επηρεάζουν τη μελέτη μας.

2. Θέτοντας το φίλτρο **Author (Συγγραφέας)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.4: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα

A/A	ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	A/A	ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	A/A	ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Kunc, V.	16	54	Andersson, O.	3	107	Ganguly, S.	2
2	Love, L.	11	55	Archer, R.	2	108	Geers, M.G.D.	2
3	Post, B.	9	56	Arif, K.	2	109	Gerbers, R.	2
4	Lindahl, J.	7	57	Aschenbrenner, R.	2	110	Ghidini, T.	2
5	Dritsas, S.	6	58	Austin, S.A.	2	111	Gosselin, C.	2
6	Buswell, R.A.	5	59	Avventuroso, G.	2	112	Gramazio, F.	2
7	Duty, C.	5	60	Barnett, E.	2	113	Green, J.	2
8	Hassen, A.A.	5	61	Barocio, E.	2	114	Greene, S.E.	2
9	Love, L.J.	5	62	Bas, O.	2	115	Gu, D.	2
10	Post, B.K.	5	63	Becker, A.T.	2	116	Gu, G.X.	2
11	Roschli, A.	5	64	Bedsole, R.	2	117	Guenther, D.	2
12	Zohdi, T.I.	5	65	Behdad, S.	2	118	Gumpinger, J.	2
13	Cullinan, M.	4	66	Beretta, S.	2	119	Guo, Y.B.	2
14	Donnici, G.	4	67	Bernthaler, T.	2	120	Halbig, M.C.	2
15	Duty, C.E.	4	68	Blickle, A.	2	121	Henke, K.	2
16	Fernandez, J.G.	4	69	Blue, C.A.	2	122	Hewson, R.	2
17	Frizziero, L.	4	70	Blue, F.	2	123	Hill, C.	2
18	Hutmacher, D.W.	4	71	Boesl, B.	2	124	Hinke, C.	2
19	Kishore, V.	4	72	Brandão, A.	2	125	Huang, W.	2
20	Liverani, A.	4	73	Brenken, B.	2	126	Imediegwu, C.	2
21	Nycz, A.	4	74	Brodin, H.	2	127	Irwin, J.	2
22	Oxman, N.	4	75	Campbell, J.H.	2	128	Jack, D.A.	2
23	Vijay, Y.	4	76	Carter, W.	2	129	Jenett, B.	2
24	Williams, S.	4	77	Chambon, P.	2	130	Jiang, L.	2
25	Ajinjeru, C.	3	78	Chen, C.	2	131	Johansson, S.	2
26	Borish, M.	3	79	Chen, L.	2	132	Jones, E.	2
27	Bos, F.	3	80	Chen, X.	2	133	Jones, J.R.	2
28	Buehler, M.J.	3	81	Chin, T.W.	2	134	Kamath, C.	2
29	Caligiana, G.	3	82	Chua, C.K.	2	135	Kelly, S.M.	2
30	Chesser, P.C.	3	83	Compton, B.	2	136	Khine, M.	2
31	Dalton, P.D.	3	84	Compton, B.G.	2	137	Khoshnevis, B.	2
32	Dhaimini, K.	3	85	Conner, B.	2	138	King, T.	2

33	Ding, J.	3	86	Cowley, A.	2	139	Kobald, M.	2
34	Gaul, K.T.	3	87	Crane, N.B.	2	140	Kohler, M.	2
35	Gibb, A.G.F.	3	88	Curran, S.	2	141	Kolb, D.	2
36	Gibson, I.	3	89	Dai, D.	2	142	Koptyug, A.	2
37	Gouge, M.	3	90	De-Juan-Pardo, E.M.	2	143	Kreiger, M.	2
38	Gradl, P.R.	3	91	Dehoff, R.	2	144	Labonnote, N.	2
39	Haapala, K.R.	3	92	Dietrich, F.	2	145	Landgraf, M.	2
40	Kennedy, G.J.	3	93	Dirrenberger, J.	2	146	Lee, H.	2
41	Lind, R.	3	94	Dröder, K.	2	147	Lee, P.D.	2
42	Liu, C.	3	95	Dumas, J.	2	148	Lefebvre, S.	2
43	Menges, A.	3	96	Dunand, D.C.	2	149	Lehmhus, D.	2
44	Pearce, J.M.	3	97	Duro-Royo, J.	2	150	Leitzbach,	2
45	Pipes, R.B.	3	98	Elliott, A.M.	2	151	Li, C.	2
46	Post, B.	3	99	Favaloro, A.	2	152	Li, M.	2
47	Rosen, D.W.	3	100	Fischer, U.	2	153	Li, Z.	2
48	Sanandiyā, N.D.	3	101	Foong, C.S.	2	154	Lim, S.	2
49	Smith, D.E.	3	102	Francia, D.	2	155	Lin, S.	2
50	Spadaccini, C.M.	3	103	Franke, J.	2	156	Lin, X.	2
51	Yuksel, A.	3	104	Frazzon, E.M.	2	157	Lind, R.F.	2
52	Zhang, H.	3	105	Freschauf, L.R.	2	158	Lindahl, J.M.	2
53	Ahmed, Z.	3	106	Fussenegger, M.	2	159	Liu, J.	2



Γράφημα 4.8.:Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα για τους 10 κορυφαίους (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing)

Ενδεικτικά δύο μελέτες που δημοσιεύτηκαν το 2019 και στις οποίες έχει συμβάλει ο Kunc είναι οι κάτωθι:

- Large-scale additive manufacturing of highly exothermic reactive polymer systems (Romberg et al., 2019).

Η παρασκευή πρόσθετων (AM) συστημάτων αντιδραστικών πολυμερών περιλαμβάνει την εναπόθεση υλικών σε θερμοκρασία δωματίου που είτε σκληρύνουν κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης μέσω μιας χημικώς εκκινούμενης αντίδρασης είτε απαιτούν θερμική εκκίνηση μετά την εκτύπωση. Η μελέτη επικεντρώνεται σε AM μεγάλης κλίμακας θερμοσκληρυνόμενων ρητινών που ξεκίνησαν χημικά για να χαρακτηρίσουν τις επιδράσεις της παραγωγής θερμότητας, την εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία ιξωδοελαστικότητα και τη σταυροσύνδεση στη διαδικασία εκτύπωσης. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και των δύο μέτωπων θερμοκρασίας και σκλήρυνσης κατά τη διάρκεια της κατασκευής διερευνήθηκε χρησιμοποιώντας υπέρυθρα (IR) και οπτικά συστήματα όρασης σε συνδυασμό με επιλεγμένες βαφές υλικών. Η παραγωγή θερμότητας εντός των προηγουμένως εναποτιθέμενων στρωμάτων παρατηρήθηκε ότι προκαλεί σημαντική μείωση του μέσου αποθήκευσης (G') και του ιξώδους των νεοεμβολιασμένων στρωμάτων, με αποτέλεσμα αστάθειες σφαιριδίων και αστοχία της εκτύπωσης. Ποσοτικές πειραματικές παρατηρήσεις σε δομές λεπτού τοιχώματος υποδεικνύουν στρατηγικές για τον μετριασμό αυτού του τρόπου αστοχίας μέσω της επιλογής των παραμέτρων εκτύπωσης και της προσαρμογής των ιξωδοελαστικών ιδιοτήτων της ρητίνης τροφοδοσίας.

- Extrusion deposition additive manufacturing utilizing high glass transition temperature latent cured epoxy systems (Lindahl et al., 2019).

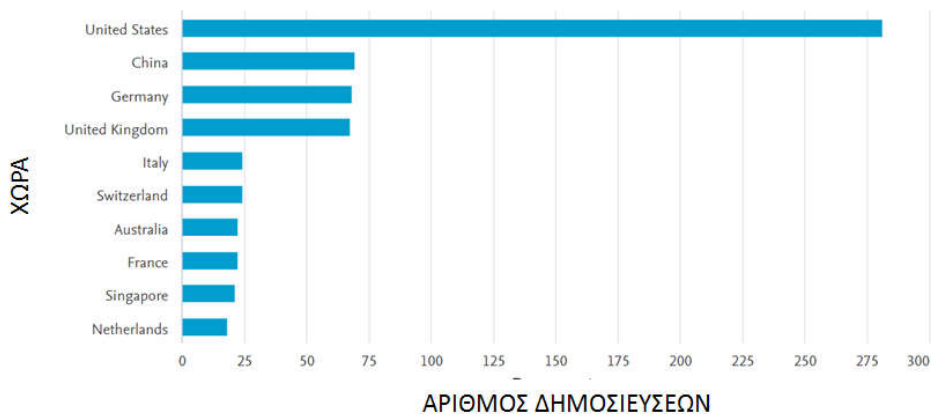
Διερευνά τη σύνθεση, τις χημειο-ρεολογικές ιδιότητες και την παρασκευή πρόσθετων προϊόντων εναπόθεσης εξώθησης (AM) υψηλής εποξικής θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης. Υπάρχουν δύο μέθοδοι χρήσης θερμοσκληρυνόμενων υλικών στην εναπόθεση εξώθησης AM. Η πρώτη προσέγγιση χρησιμοποιεί ένα αντιδραστικό υλικό που θα διασυνδεθεί πλήρως κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής. Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί ένα αντιδραστικό υλικό που απαιτεί έναν κύκλο θερμικής σκλήρυνσης μετά την ολοκλήρωση της εναπόθεσης. Τα υγρά τάσης απόδοσης για επιτυχή εναπόθεση παρήχθησαν με ανάμιξη διαφόρων αναλογιών ρευστών που τροποποιούν τη ρεολογία σε λανθάνοντα εποξειδικά συστήματα σκλήρυνσης. Μετά την ανάλυση των ρεολογικών ιδιοτήτων των διαφόρων μιγμάτων μέσω της διάτμησης, της θερμοκρασίας και του ρυθμού σκλήρυνσης, επιλέχθηκε η προτιμώμενη σύνθεση. Δοκιμασμένα δείγματα για ανάλυση κάμψης και δυναμική μηχανική ανάλυση τυπώθηκαν από κάτω επιλεγμένους συνδυασμούς.

Μόνο δύο συγγραφείς συμμετέχουν σε πάνω από 10 μελέτες. Η πλειοψηφία των συγγραφέων (135 συγγραφείς) έχουν 2-3 μελέτες.

3. Θέτοντας το φίλτρο **Territory(Χώρα)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά χώρα. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.5.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά χώρα (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing)

A/A	ΧΩΡΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	A/A	ΧΩΡΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	United States	281	29	Portugal	3
2	China	69	30	Slovenia	3
3	Germany	68	31	Turkey	3
4	United Kingdom	67	32	Iran	2
5	Italy	24	33	Israel	2
6	Switzerland	24	34	Mexico	2
7	Australia	22	35	Pakistan	2
8	France	22	36	Saudi Arabia	2
9	Singapore	21	37	Taiwan	2
10	Netherlands	18	38	Algeria	1
11	Canada	16	39	Argentina	1
12	Japan	15	40	Bangladesh	1
13	Sweden	11	41	Colombia	1
14	India	10	42	Cyprus	1
15	South Korea	9	43	Czech Republic	1
16	Belgium	8	44	Egypt	1
17	Finland	8	45	Georgia	1
18	Norway	6	46	Hungary	1
19	Russian Federation	6	47	Jordan	1
20	Spain	6	48	Luxembourg	1
21	Denmark	5	49	Oman	1
22	Brazil	4	50	Poland	1
23	New Zealand	4	51	Romania	1
24	Austria	3	52	Russia	1
25	Hong Kong	3	53	South Africa	1
26	Iraq	3	54	Sri Lanka	1
27	Ireland	3	55	United Arab Emirates	1
28	Malaysia	3	56	Undefined	37



Γράφημα 4.9.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά χώρα για τις 10 κορυφαίες (κλειδί αναζήτησης: *largescaleadditivemanufacturing*)

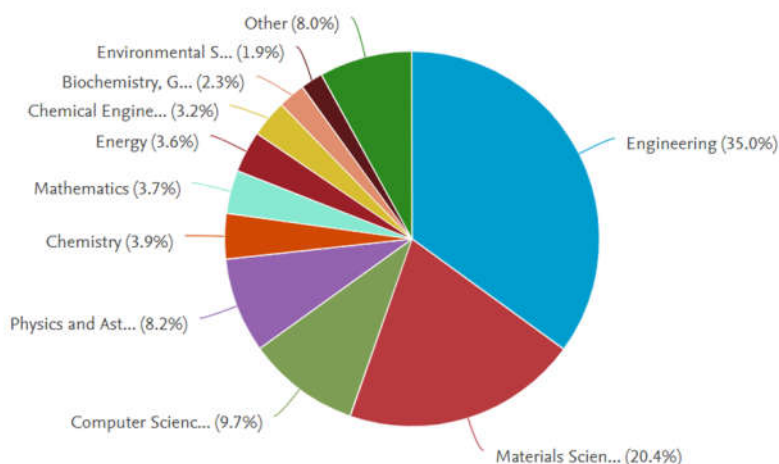
Οι Ηνωμένες Πολιτείες κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό μελετών (**42%**) ενώ οι χώρες που ακολουθούν είναι η Κίνα, Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο (**έκαστη με 10%**). Αυτά τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα διότι αυτές οι χώρες έχουν επενδύσει πολλά χρήματα στην τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής.

4. Θέτοντας το φίλτρο **SubjectArea (Θεματικό πεδίο)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.6.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο (κλειδί αναζήτησης: *largescaleadditivemanufacturing*)

A/A	ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Engineering	479
2	Materials Science	279
3	Computer Science	133
4	Physics and Astronomy	112
5	Chemistry	54
6	Mathematics	51
7	Energy	49
8	Chemical Engineering	44
9	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	32
10	Environmental Science	26
11	Earth and Planetary Sciences	22
12	Business, Management and Accounting	19
13	Agricultural and Biological Sciences	18
14	Medicine	14
15	Decision Sciences	7
16	Multidisciplinary	6
17	Social Sciences	6

18	Immunology and Microbiology	5
19	"Pharmacology, Toxicology and Pharmac	4
20	Arts and Humanities	3
21	Economics, Econometrics and Finance	3
22	Psychology	2
23	Undefined	1



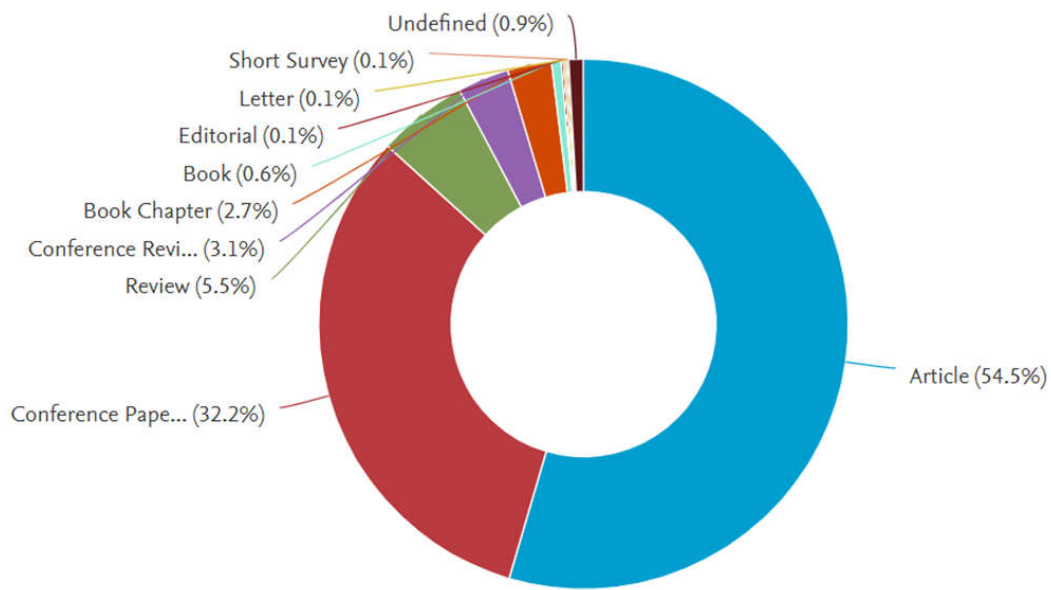
Γράφημα 4.10.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing)

Το θεματικό πεδίο που έχει απασχολήσει περισσότερο τους μελετητές όσο αφορά την προσθετική κατασκευή είναι η **μηχανική** (engineering) με ποσοστό μελετών **35%** ενώ τα θεματικά πεδία που ακολουθούν είναι η **επιστήμη υλικών** (Materials Science) με ποσοστό **20.4%**, η **επιστήμη υπολογιστών** (Computer Science) με ποσοστό **9.7%** και η **φυσική και αστρονομία** (Physics and Astronomy) με ποσοστό **8.2%**.

5. Θέτοντας το φίλτρο **DocumentType (Είδος Εγγράφου)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.7.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing)

A/A	ΕΙΔΟΣ ΕΓΓΡΑΦΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Article	366
2	Conference Paper	216
3	Review	37
4	Conference Review	21
5	Book Chapter	18
6	Book	4
7	Editorial	1
8	Letter	1
9	Short Survey	1
10	Undefined	6



Γράφημα 4.11.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου (κλειδί αναζήτησης: *largescaleadditivemanufacturing*)

Το είδος εγγράφου που έχει ασχοληθεί περισσότερο με μελέτες όσο αφορά την προσθετική κατασκευή είναι το **άρθρο**(Article) με ποσοστό δημοσιεύσεων **54.5%** ενώ τα είδη εγγράφων που ακολουθούν είναι οι **εργασίες συνεδρίων** (ConferencePapers) με ποσοστό **32.2%** και η **ανασκόπηση** (Review) με ποσοστό **5.5%**.

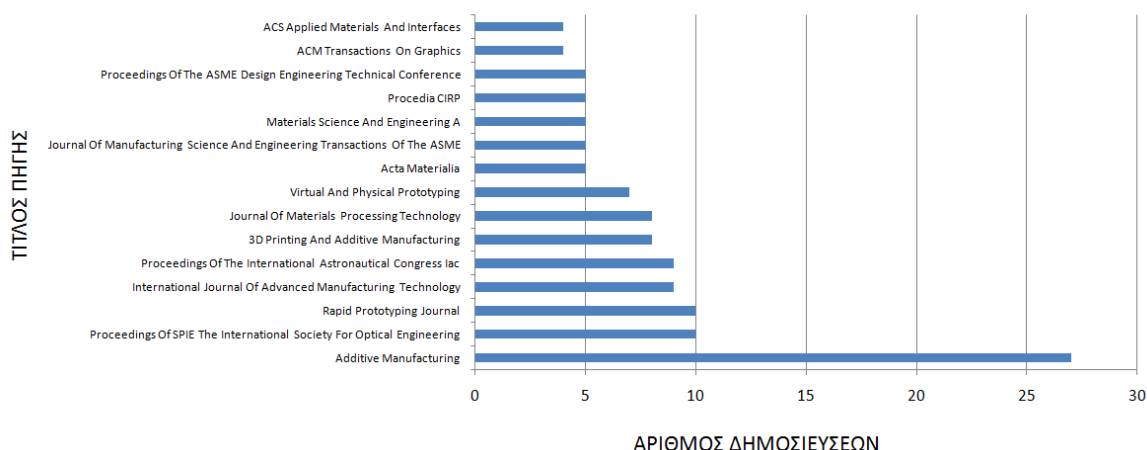
6. Θέτοντας το φίλτρο **SourceTitle (Τίτλος Πηγής)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.8.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής (κλειδί αναζήτησης: *largescaleadditivemanufacturing*)

A/A	ΤΙΤΛΟΣ ΠΗΓΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Additive Manufacturing	27
2	ProceedingsOfSPIETheInternationalSocietyForOpticalEngineering	10
3	Rapid Prototyping Journal	10
4	International Journal Of Advanced Manufacturing Technology	9
5	Proceedings Of The International Astronautical Congress Iac	9
6	3D Printing And Additive Manufacturing	8
7	Journal Of Materials Processing Technology	8
8	Virtual And Physical Prototyping	7
9	Acta Materialia	5
10	Journal Of Manufacturing Science And Engineering Transactions Of The ASME	5

11	Materials Science And Engineering A	5
12	Procedia CIRP	5
13	Proceedings Of The ASME Design Engineering Technical Conference	5
14	ACM Transactions On Graphics	4
15	ACS Applied Materials And Interfaces	4
16	Advanced Materials Research	4
17	Advanced Materials Technologies	4
18	Applied Mechanics And Materials	4
19	Automation In Construction	4
20	Computer Methods In Applied Mechanics And Engineering	4
21	International SAMPE Technical Conference	4
22	Materials	4
23	Materials And Design	4
24	Plos One	4
25	Rilem Bookseries	4
26	Advanced Materials	3
27	Advances In Intelligent Systems And Computing	3
28	Construction And Building Materials	3
29	International Journal Of Machine Tools And Manufacture	3
30	Iop Conference Series Materials Science And Engineering	3
31	Journal Of Alloys And Compounds	3
32	Journal Of Cleaner Production	3
33	Journal Of Manufacturing Processes	3
34	Journal Of Materials Science And Technology	3
35	Journal Of The European Ceramic Society	3
36	Key Engineering Materials	3
37	Materials Research Society Symposium Proceedings	3
38	Materials Science And Engineering C	3
39	Materials Today Communications	3
40	Minerals Metals And Materials Series	3
41	Procedia Manufacturing	3
42	Proceedings Of The ASME Turbo Expo	3
43	Scientific Reports	3
44	Small	3
45	Acta Astronautica	2
46	Advanced Energy Materials	2
47	Advanced Engineering Materials	2
48	Advanced Functional Materials	2
49	Applied Energy	2
50	Applied Sciences Switzerland	2
51	CAD Computer Aided Design	2
52	Ceramics International	2
53	Computers And Mathematics With Applications	2
54	Granular Matter	2
55	IEEE Robotics And Automation Letters	2
56	International Conference On Digital Printing Technologies	2
57	International Journal Of Refractory Metals And Hard Materials	2
58	International Journal On Interactive Design And Manufacturing	2

59	JEC Composites Magazine	2
60	JOM	2
61	Journal Of Fluids Engineering Transactions Of The ASME	2
62	Journal Of Food Process Engineering	2
63	Journal Of Laser Applications	2
64	Journal Of Manufacturing Systems	2
65	Journal Of Manufacturing Technology Management	2
66	Journal Of Materials Chemistry C	2
67	Journal Of Mechanical Design Transactions Of The ASME	2
68	Journal Of Pharmaceutical Innovation	2
69	Journal Of Turbomachinery	2
70	MRS Bulletin	2
71	Macromolecules	2
72	Manufacturing Letters	2
73	Mechatronics	2
74	Metabolic Engineering	2
75	Powder Technology	2
76	Proceedings Electronic Components And Technology Conference	2
77	Progress In Biomedical Optics And Imaging Proceedings Of SPIE	2
78	Rsc Advances	2
79	SAE Technical Papers	2
80	Solid Mechanics And Its Applications	2
81	Springerbriefs In Applied Sciences And Technology	2
82	Technological Forecasting And Social Change	2
83	Welding Journal	2
84	2d Materials	1
85	ACM International Conference Proceeding Series	1
86	ACS Nano	1
87	ACS Sustainable Chemistry And Engineering	1
88	ASCE ASME Journal Of Risk And Uncertainty In Engineering Systems Part A Civil Engineering	1
89	Accounts Of Chemical Research	1
90	Acta Biomaterialia	1
91	Advanced Materials Interfaces	1
92	Advances In Biochemical Engineering Biotechnology	1
93	Advances In Engineering Software	1
94	Advances In Materials Science And Engineering	1
95	Aip Conference Proceedings	1



Γράφημα 4.12.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής για τους 15 κορυφαίους (κλειδί αναζήτησης: *largescaleadditivemanufacturing*)

Πολλές είναι οι πηγές που έχει ασχοληθεί με την προσθετική κατασκευή (συνολικά 95 πηγές). Η πηγή με τις περισσότερες δημοσιεύσεις είναι η **Additive Manufacturing** με αριθμό δημοσιεύσεων **27** ενώ οι πηγές που ακολουθούν είναι η **ProceedingsOfSPIETheInternationalSocietyForOpticalEngineering** (10 δημοσιεύσεις) και η **Rapid Prototyping Journal** (10 δημοσιεύσεις).

- Bigareaadditivemanufacturing**

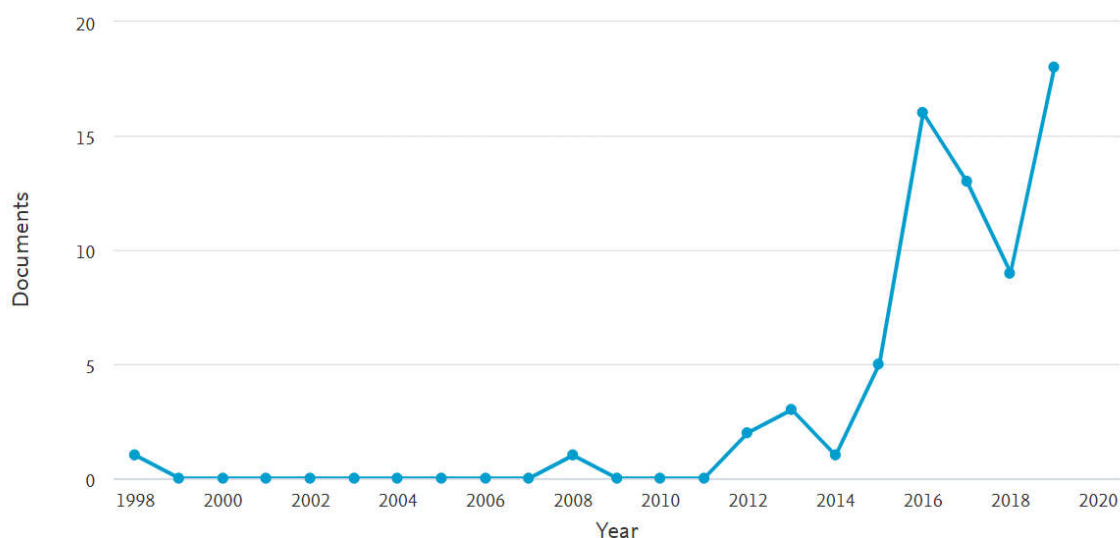
Γράφοντας στην αναζήτηση το **bigareaadditivemanufacturing** εμφανίστηκαν 68 αποτελέσματα.

1. Θέτοντας το φίλτρο **Year (έτος)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά έτος. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.9.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος (κλειδί αναζήτησης: *bigareaadditivemanufacturing*)

A/A	ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	2019	18
2	2018	9
3	2017	13
4	2016	16
5	2015	5
6	2014	1

7	2013	3
8	2012	2
9	2011	0
10	2010	0
11	2009	0
12	2008	1
13	1998	1



Γράφημα 4.13.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά έτος (κλειδί αναζήτησης: *bigareaadditivemanufacturing*)

Ενδεικτικά δύο μελέτες που δημοσιεύτηκαν το 2019 και στις οποίες έχει συμβάλει ο Kunc είναι οι κάτωθι:

- Extrusion control for high quality printing on Big Area Additive Manufacturing (BAAM) systems (Chesser et al., 2019).

Η μεγάλης κλίμακας προσθετική κατασκευή (BAAM) είναι μια διαδικασία παρασκευής προσθέτων μεγάλου μεγέθους (AM). Η κλίμακα μεγέθους έχει ενεργοποιήσει πολλές νέες εφαρμογές για AM. Ωστόσο, σε αυτή την κλίμακα, η έλλειψη υψηλής ανάλυσης εκτύπωσης και ελέγχου ροής εξωθητήρα οδηγούν σε πιθανές σημαντικές γεωμετρικές αποκλίσεις στο τυπωμένο τμήμα. Αυτή η εργασία εξετάζει στρατηγικές για τη βελτίωση της γεωμετρικής ποιότητας στα τμήματα BAAM. Οι εκτυπώσεις πολλαπλών αναλύσεων, η εκτροπή της εξώθησης και ο έλεγχος εξωθήσεως προς τα εμπρός εξετάζονται εδώ. Αυτές οι μέθοδοι βρέθηκαν όλες να είναι αποτελεσματικές στην άμβλυνση φαινομένων που είναι επιζήμια για την ποιότητα του γεωμετρικού μέρους στη διαδικασία BAAM.

- Introduction to the design rules for Metal BigAreaAdditiveManufacturing (Greer et al., 2019).

Η κατασκευή μεταλλικών προσθέτων μετάλλων τροφοδοσίας συρμάτων προσφέρει πλεονεκτήματα, όπως μεγάλοι όγκοι κατασκευής και υψηλοί ρυθμοί κατασκευής, πέρα από τις τεχνικές της κλίσης κόνεως και των εμφυσούμενων κόνεων, αλλά έχει τα δικά της

μειονεκτήματα όπως ζητήματα κατώτερης ανάλυσης χαρακτηριστικών και μορφολογίας σφαιριδίων. Μια νέα διαδικασία κατασκευής μεταλλικών προσθέτων μεταλλικής τροφοδοσίας που ονομάζεται *Metal Big Additive Manufacturing (mBAAM)* χρησιμοποιεί ένα σύστημα *Gas Metal Arc Weld* σε ένα αρθρωτό βραχίονα ρομπότ για να αυξήσει τον όγκο της κατασκευής και τον ρυθμό εναπόθεσης σε σύγκριση με τις τεχνικές κλίνης σκόνης. Ο υψηλός ρυθμός εναπόθεσης συνεπάγεται μια διαδικασία χαμηλής ανάλυσης. Επομένως, τα μέρη που έχουν σχεδιαστεί για το mBAAM πρέπει να ενσωματώνουν τη χρήση της μηχανουργικής κατεργασίας για την επίτευξη ορισμένων χαρακτηριστικών. Αυτή η εργασία παρουσιάζει μια εισαγωγή για το πώς οι κανόνες σχεδιασμού, όπως ο περιορισμός των προεξοχών, το μεγάλο πάχος σφαιριδίων συγκόλλησης και η δομή στήριξης, για το mBAAM αλληλεπιδρούν στο πλαίσιο μιας μελέτης περίπτωσης βραχίονα εκσκαφέα, η οποία σχεδιάστηκε με τη χρήση βελτιστοποίησης τοπολογίας.

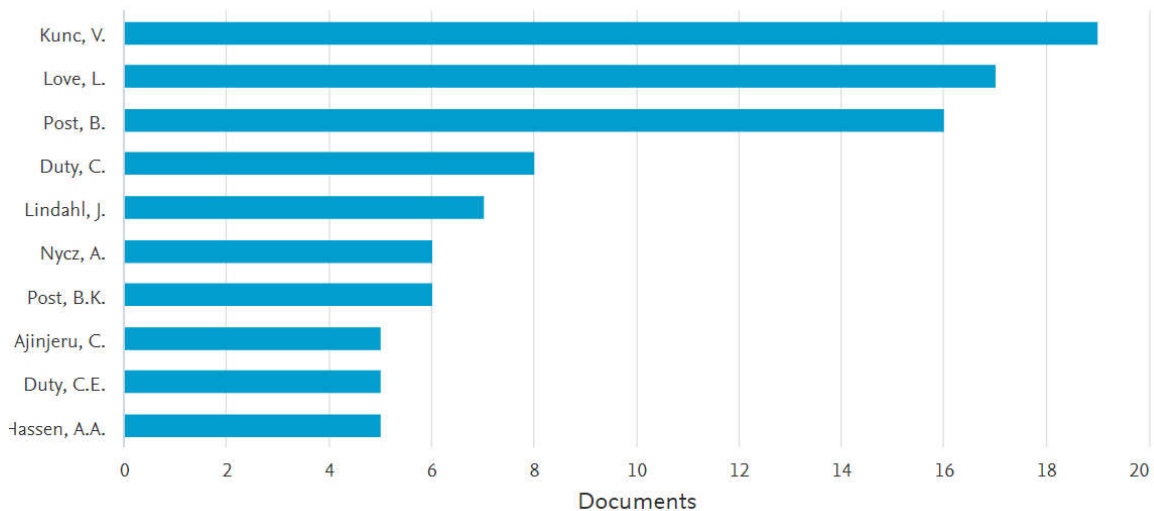
Το 2016 παρατηρείται τριπλασιασμός του αριθμού των δημοσιευμένων μελετών σε σχέση με το 2015 (16 δημοσιεύσεις και 5 δημοσιεύσεις αντιστοίχως) και το 2017 ο αριθμός των δημοσιεύσεων παραμένει περίπου στα ίδια επίπεδα (13 δημοσιεύσεις). Το 2018 παρατηρείται πτώση (σε αντίθεση με τις δημοσιεύσεις που αφορούν το largescaleadditivemanufacturing) αλλά αυτή η πτώση διατηρείται μόνο ένα έτος μιας και το 2019 παρατηρείται διπλάσιος αριθμός δημοσιευμένων μελετών (18 μελέτες).

2. Θέτοντας το φίλτρο **Author (Συγγραφέας)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.10.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα (κλειδί αναζήτησης: *bigareaadditivemanufacturing*)

A/A	ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	A/A	ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	A/A	ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Kunc, V.	19	54	Antin, K.N.	1	107	Fawcett, S.E.	1
2	Love, L.	17	55	Arrieta, E.	1	108	Ferber, E.	1
3	Post, B.	16	56	Bader, A.	1	109	Ferretti, S.	1
4	Duty, C.	8	57	Baid, H.	1	110	Fletcher, K.	1
5	Lindahl, J.	7	58	Balogh, W.	1	111	Gandha, K.	1
6	Nycz, A.	6	59	Baur, J.W	1	112	Gardiner, G.	1
7	Post, B.K.	6	60	Beard, B.	1	113	Glick, A.	1
8	Ajinjeru, C.	5	61	Bedsole, R.	1	114	Godines, C.	1
9	Duty, C.E.	5	62	Bei, H.	1	115	Golembiewski, K.	1
10	Hassen, A.A.	5	63	Bell, J.	1	116	Gomez, M.	1
11	Kishore, V.	5	64	Bell, J.	1	117	Graves, R.	1
12	Lind, R.	5	65	Biswas, K.	1	118	Greer, C.	1
13	Green, J.	4	66	Blue, C.A.	1	119	Guerguis, M.	1
14	Li, L.	4	67	Boulger, A.M.	1	120	Guzman, C.	1
15	Paranthaman, M.P.	4	68	Bowers, J.	1	121	Habbal, O.	1
16	Blue, C.	3	69	Bowers, J.C.	1	122	Hamel, W.R.	1
17	Chambon, P.	3	70	Burden, E.	1	123	Hansen, H.N.	1

18	Curran, S.	3	71	Butler, R.	1	124	Hart, A.J.	1
19	Jackson, R.	3	72	Cable, K.	1	125	Hassen, A.	1
20	Love, L.J.	3	73	Caffrey, T	1	126	Haworth, B.	1
21	Nlebedim, I.C.	3	74	Caliendo, H.	1	127	He, J.	1
22	Pipes, R.B.	3	75	Campbell, K.	1	128	Hill, C.	1
23	Roschli, A.	3	76	Cao, Z.H.	1	129	Holshouser, C.	1
24	Wagner, R	3	77	Carnal, C.	1	130	Hopkinson, N.	1
25	Barocio, E.	2	78	Chen, X.	1	131	Hu, X.	1
26	Blue, F.	2	79	Chen, X.	1	132	Huang, C.B.	1
27	Borish, M.	2	80	Chen, Y.	1	133	Huff, S.	1
28	Brenken, B.	2	81	Chesser, P	1	134	Imhof, B.	1
29	Chesser, P.C	2	82	Chinthavali, M.	1	135	Ivanov, D.	1
30	Compton, B.	2	83	Colak, O.	1	136	Jensen, M.L.	1
31	Dreifus, G.	2	84	Compton, B.G.	1	137	Jimenez, X.	1
32	Favaloro, A.	2	85	Conner, B	1	138	Jin, K.	1
33	Fredette, R.	2	86	Cross, J.	1	139	Johnsen, M.R.	1
34	Gaul, K.T	2	87	Culuson, A.	1	140	Johnson, E.B.	1
35	Lind, R.F.	2	88	Dadmun, M.D.	1	141	Johnson, K.J.	1
36	Liu, P.	2	89	DeNardo, N.	1	142	Jokinen, A.	1
37	Lloyd, P.	2	90	Dehoff, R.	1	143	Jones, K.	1
38	Lograsso, T.A.	2	91	Denardo, N.	1	144	Keller, M	1
39	Masuo, C.	2	92	Dinwiddie, R.	1	145	Kelly, J.	1
40	Noakes, M.	2	93	Dinwiddie, R.B.	1	146	Kesler, M.S	1
41	Noakes, M.W	2	94	Dolgui, A.	1	147	Khalil, R.	1
42	Ormerod, J.	2	95	Dormohammadi, S.	1	148	Kiewning, M.K.	1
43	Post, B.	2	96	Dutton, R.	1	149	Killian, J.	1
44	Rios, O.	2	97	Eikevik, L.	1	150	Kim, S.	1
45	Shassere, B.	2	98	Elliott, A.M.	1	151	Koerner, H	1
46	Simunovic, S.	2	99	Emerson, R.P.	1	152	Kovačević, V.	1
47	Sudbury, Z.	2	100	Erdman, D.	1	153	Krishnamoorthy, B.	1
48	Tryggestad, L.	2	101	Espalin, D.	1	154	Kurfess, T	1
49	Abbott, A.C.	1	102	Evans, J.	1	155	Laitinen, T.	1
50	Abdi, F.	1	103	Fahey, R.L.	1	156	Lara-Curzio, E.	1
51	Andersen, S.B.	1	104	Failla, J.	1	157	Laukkanen, A.	1
52	Anderson, J.P.	1	105	Fairweather, N.B.	1	158	Lee, B.	1
53	Andersson, T.	1	106	Farhat, A.	1	159	Lee, Y	1



Γράφημα 4.14.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά συγγραφέα για τους 10 κορυφαίους (κλειδί αναζήτησης: *bigareaadditivemanufacturing*)

Ενδεικτικά δύο μελέτες που δημοσιεύτηκαν το 2019 και στις οποίες έχει συμβάλει ο Kunc είναι οι κάτωθι:

- Graded infill structure of wind turbine blade core accounting for internal stress in big area additive manufacturing (Kim et al., 2018).

Στατιστικά της προσθετικής κατασκευής (AM), η δομή πλήρωσης επηρεάζει σημαντικά τη μηχανική απόδοση του τελικού τυπωμένου τμήματος. Ωστόσο, η μηχανική καταπόνηση που προκαλείται από τα φορτία λειτουργίας έχει παραμεληθεί μέχρι στιγμής για τη διαμόρφωση των πληρωτικών. Οι περισσότεροι τεμαχιστές που διατίθενται επί του παρόντος στην αγορά παρέχουν πρότυπα γεμίσματος που έχουν ομοιόμορφο σχήμα και μέγεθος ανεξάρτητα από την επιχειρησιακή φόρτωση. Αναπτύσσουμε μια προσέγγιση σχεδίασης για τα πρότυπα γεμίσματος που αντιπροσωπεύουν το επαγόμενο στρες. Αυτή η προσέγγιση διαφέρει από τη βελτιστοποίηση τοπολογίας, καθώς επικεντρώνεται στο πορώδες πλήρωμα, το οποίο επιτρέπει στο εξωτερικό σχήμα του τυπωμένου τμήματος να παραμείνει άθικτο. Η προτεινόμενη προσέγγιση χρησιμοποιεί ανάλυση υπολογιστικής καταπόνησης για τον έλεγχο της κατανομής της τοπικής πυκνότητας του σχεδίου πλήρωσης. Έχουμε εφαρμόσει την προσέγγιση σε έναν πυρήνα πτερυγίων ανεμογεννητριών με βελτιστοποιημένες πυκνότητες πλήρωσης βάσει των δομικών φορτίων. Ο πυρήνας λεπίδων κατασκευάζεται στο σύστημα παραγωγής μεγάλων επιφανειών (BAAM). Προκειμένου να εξασφαλιστεί λιγότερη στρέβλωση και καλύτερη συγκόλληση μεταξύ των στρωμάτων, η ταχεία επίστρωση στρώσεων είναι κρίσιμη στο σύστημα BAAM. Για την εφαρμογή του γεμίσματος ανεμογεννητριών, η εναπόθεση από τη μέθοδο CPP είναι δύο φορές ταχύτερη από την εναπόθεση από τον συμβατικό κόψιμο σε φέτες.

- Blending of fiber reinforced materials using big area additive manufacturing-BAAM (Sudbury et al, 2017).

Τα λειτουργικά διαβαθμισμένα υλικά (FGM) είναι ελκυστικά για τη χρήση τους σε συστήματα προσθετικής κατασκευής (AM), επειδή επιτρέπουν τη χρήση ενός λιγότερο δαπανηρού υλικού με μη βέλτιστες μηχανικές ιδιότητες για το μεγαλύτερο μέρος του μέρους, χρησιμοποιώντας μια πιο ακριβή, υψηλότερη απόδοση υλικού σε επιλεγμένες περιοχές όπου χρειάζεται. Αυτή η προσέγγιση έχει τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσει το κόστος με το βάρος και τη μηχανική απόδοση. Τα FGMs έχουν μελετηθεί εκτενώς στην περιοχή των υβριδικών

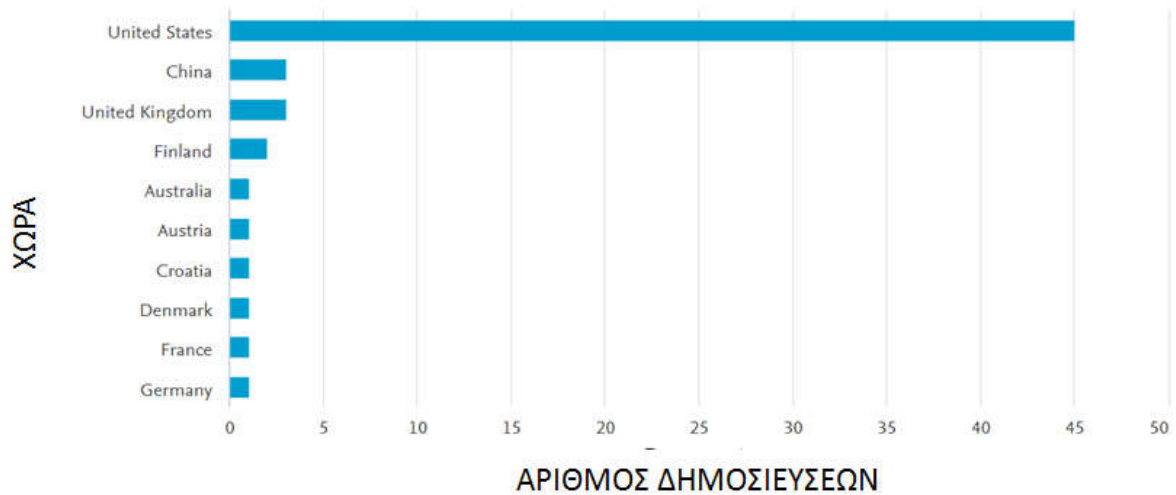
σύνθετων υλικών, αλλά η εφαρμογή του FGM δεν είναι συνηθισμένη στην προσθετική κατασκευή λόγω της ευρείας χρήσης ομοιογενών πρώτων υλών. Το σύστημα BAAM έχει τη δυνατότητα να εκτυπώνει δομές FGM επειδή χρησιμοποιεί μια σφαιροποιημένη πρώτη ύλη που είναι παρόμοια με τη χύτευση με έγχυση και τις συμβατικές διεργασίες εξώθησης. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στη BAAM να συνδυάζει βασικά υλικά και πολυμερή μηχανικής υψηλής απόδοσης, όπως απαιτείται σε ένα συγκεκριμένο μέρος. Αυτή η μελέτη ερευνά τη μετάβαση μεταξύ των υλικών BAAM ως συνάρτηση του σχεδιασμού των κοχλιών εξώθησης και των συνθηκών επεξεργασίας.

Μόνο τρεις συγγραφείς συμμετέχουν σε πάνω από 10 μελέτες. Η πλειοψηφία των συγγραφέων (**110 συγγραφείς**) έχουν **1 μελέτη**.

3. Θέτοντας το φίλτρο **Territory (Χώρα)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά χώρα. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.11.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά χώρα (κλειδί αναζήτησης: *bigareaadditivemanufacturing*)

A/A	ΧΩΡΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	United States	45
2	China	3
3	United Kingdom	3
4	Finland	2
5	Australia	1
6	Austria	1
7	Croatia	1
8	Denmark	1
9	France	1
10	Germany	1
11	Malaysia	1
12	Russian Federation	1
13	Thailand	1
14	Turkey	1
15	United Arab Emirates	1
16	Undefined	7



Γράφημα 4.15.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά χώρα (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing)

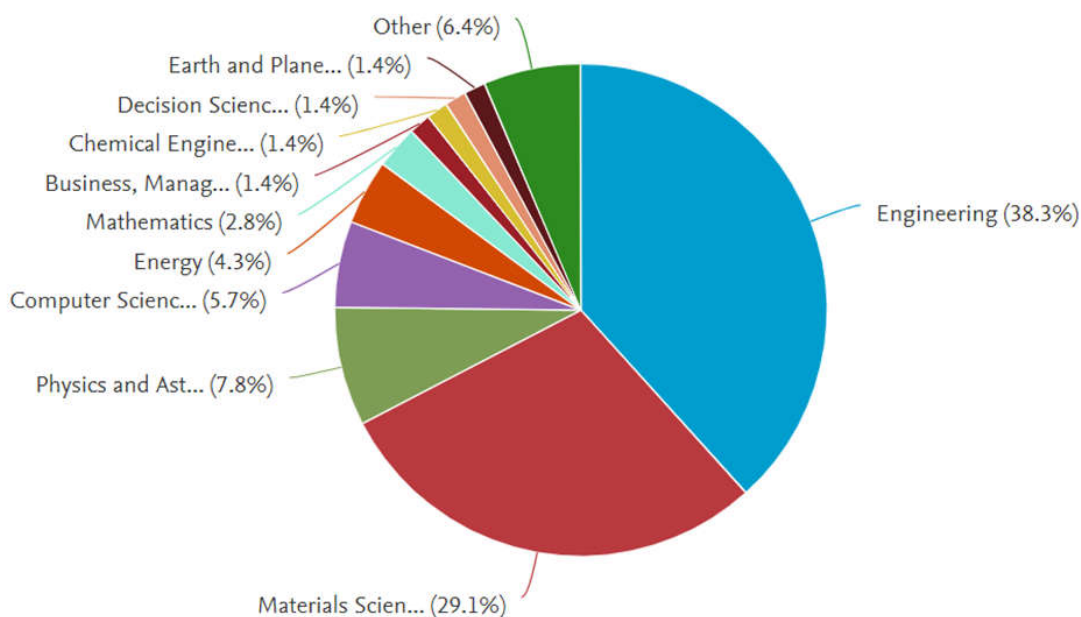
Οι Ηνωμένες Πολιτείες κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό μελετών (66%) ενώ οι χώρες που ακολουθούν είναι η Κίνα και το Ηνωμένο Βασίλειο (έκαστη με 5%). Αυτά τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα διότι αυτές οι χώρες έχουν επενδύσει πολλά χρήματα στην τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής.

4. Θέτοντας το φίλτρο **SubjectArea (Θεματικό πεδίο)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.12.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing)

A/A	ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Engineering	54
2	Materials Science	41
3	Physics and Astronomy	11
4	Computer Science	8
5	Energy	6
6	Mathematics	4
7	Business, Management and Accounting	2
8	Chemical Engineering	2
9	Decision Sciences	2
10	Earth and Planetary Sciences	2
11	Social Sciences	2
12	Arts and Humanities	1

13	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	1
14	Chemistry	1
15	Environmental Science	1
16	Multidisciplinary	1
17	Neuroscience	1
18	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	1



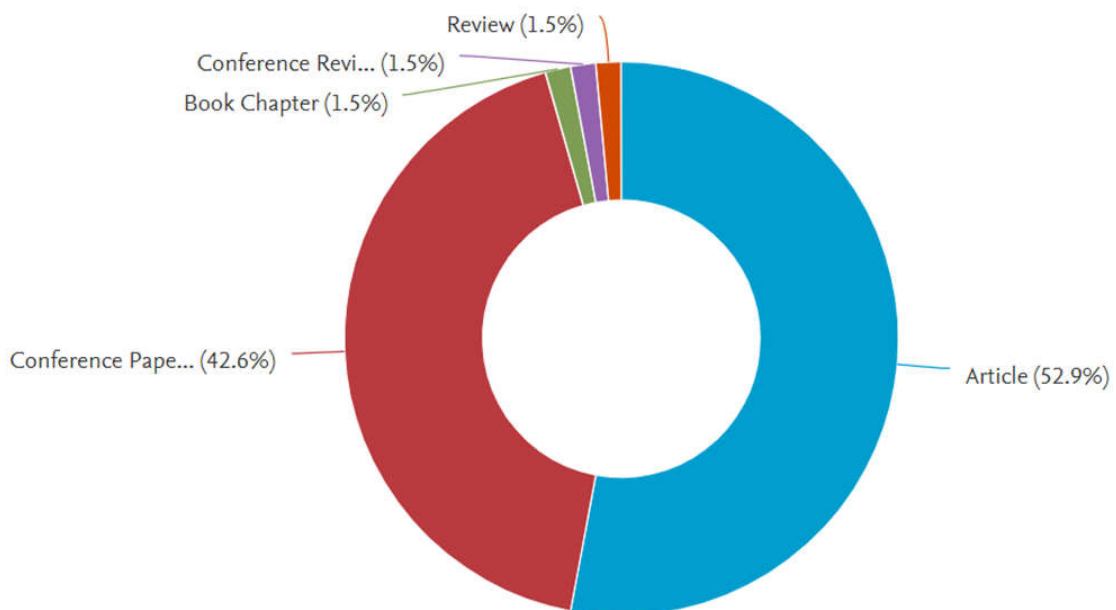
Γράφημα 4.16.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο (κλειδί αναζήτησης: *bigareaadditivemanufacturing*)

Το θεματικό πεδίο που έχει απασχολήσει περισσότερο τους μελετητές όσο αφορά την προσθετική κατασκευή είναι η **μηχανική** (engineering) με ποσοστό μελετών **38.3%** ενώ τα θεματικά πεδία που ακολουθούν είναι η **επιστήμη υλικών** (Materials Science) με ποσοστό **29.1%** και η **φυσική και αστρονομία** (Physics and Astronomy) με ποσοστό **7.8%**.

5. Θέτοντας το φίλτρο **DocumentType (Είδος Εγγράφου)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.13.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου (κλειδί αναζήτησης: *bigareaadditivemanufacturing*)

A/A	ΕΙΔΟΣ ΕΓΓΡΑΦΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Article	36
2	Conference Paper	29
3	Book Chapter	1
4	Conference Review	1
5	Review	1



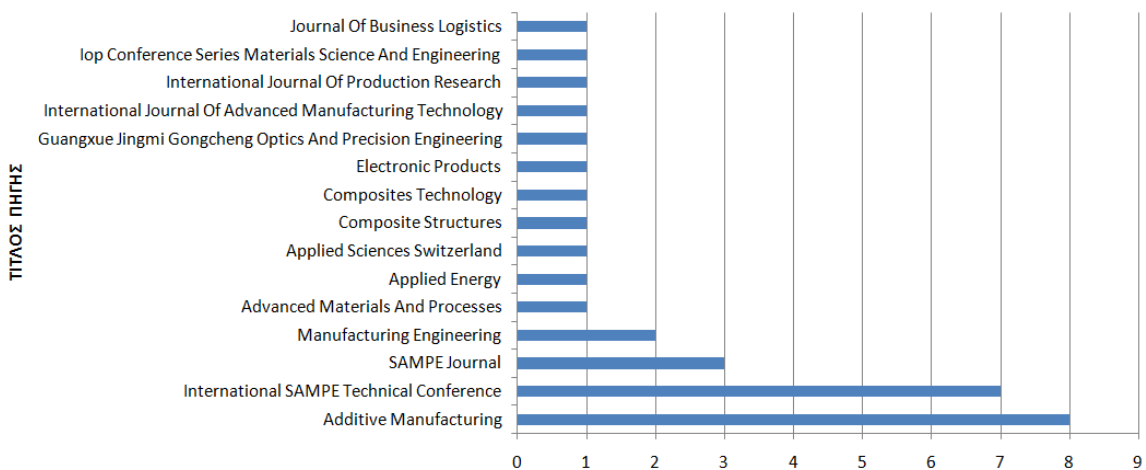
Γράφημα 4.17.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά είδος εγγράφου (κλειδί αναζήτησης: *bigareaadditivemanufacturing*)

Το είδος εγγράφου που έχει ασχοληθεί περισσότερο με μελέτες όσο αφορά την προσθετική κατασκευή είναι το **άρθρο**(Article) με ποσοστό δημοσιεύσεων **52.9%** ενώ το είδος εγγράφου που ακολουθεί είναι οι **εργασίες συνεδρίων** (ConferencePapers) με ποσοστό **42.6%**.

6. Θέτοντας το φίλτρο **SourceTitle (Τίτλος Πηγής)** εμφανίστηκαν οι αριθμοί των δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Πίνακας 4.14.: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing)

A/A	ΤΙΤΛΟΣ ΠΗΓΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Additive Manufacturing	8
2	International SAMPE Technical Conference	7
3	SAMPE Journal	3
4	Manufacturing Engineering	2
5	Advanced Materials And Processes	1
6	Applied Energy	1
7	Applied Sciences Switzerland	1
8	Composite Structures	1
9	Composites Technology	1
10	Electronic Products	1
11	Guangxue Jingmi Gongcheng Optics And Precision Engineering	1
12	International Journal Of Advanced Manufacturing Technology	1
13	International Journal Of Production Research	1
14	Iop Conference Series Materials Science And Engineering	1
15	Journal Of Business Logistics	1
16	Journal Of Information Communication And Ethics In Society	1
17	Journal Of Magnetism And Magnetic Materials	1
18	Journal Of Neuroscience Methods	1
19	Journal Of Toxicological Sciences	1
20	Langmuir	1
21	Materials Science And Engineering A.	1
22	Plastics Engineering	1
23	Plastics Technology	1
24	Procedia Engineering	1
25	Proceedings Of SPIE The International Society For Optical Engineering	1
26	Proceedings Of The ASME Design Engineering Technical Conference	1
27	Proceedings Of The International Astronautical Congress Iac	1
28	Promet Traffic Traffico	1
29	Rapid Prototyping Journal	1
30	Rilem Bookseries	1
31	SAE Technical Papers	1
32	Scientific Reports	1
33	Scripta Materialia	1
34	Virtual And Physical Prototyping	1
35	Welding Journal	1
36	Xiyou Jinshu Chinese Journal Of Rare Metals	1
37	Zhongguo Jiguang Chinese Journal Of Lasers	1



Γράφημα 4.18.:Γραφική απεικόνιση του αριθμού δημοσιεύσεων ανά τίτλο πηγής για τους 15 κορυφαίους (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing)

Υπάρχουν 37 πηγές που έχει ασχοληθεί με την προσθετική κατασκευή. Η πηγή με τις περισσότερες δημοσιεύσεις είναι η **Additive Manufacturing** με αριθμό δημοσιεύσεων **8** ενώ οι πηγές που ακολουθούν είναι η **International SAMPE Technical Conference** (7 δημοσιεύσεις) και η **SAMPEJournal**(3 δημοσιεύσεις).

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον των ερευνητών για τις εφαρμογές της τριδιάστατης εκτύπωσης και πιο συγκεκριμένα για το large scale additive manufacturing και big area additive manufacturing που μελετάμε στην παρούσα εργασία. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε και από τη μελέτη του αριθμού των παραπομπών (citations) που υπάρχουν για τις δημοσιεύσεις με τις εν λόγω λέξεις κλειδιά.

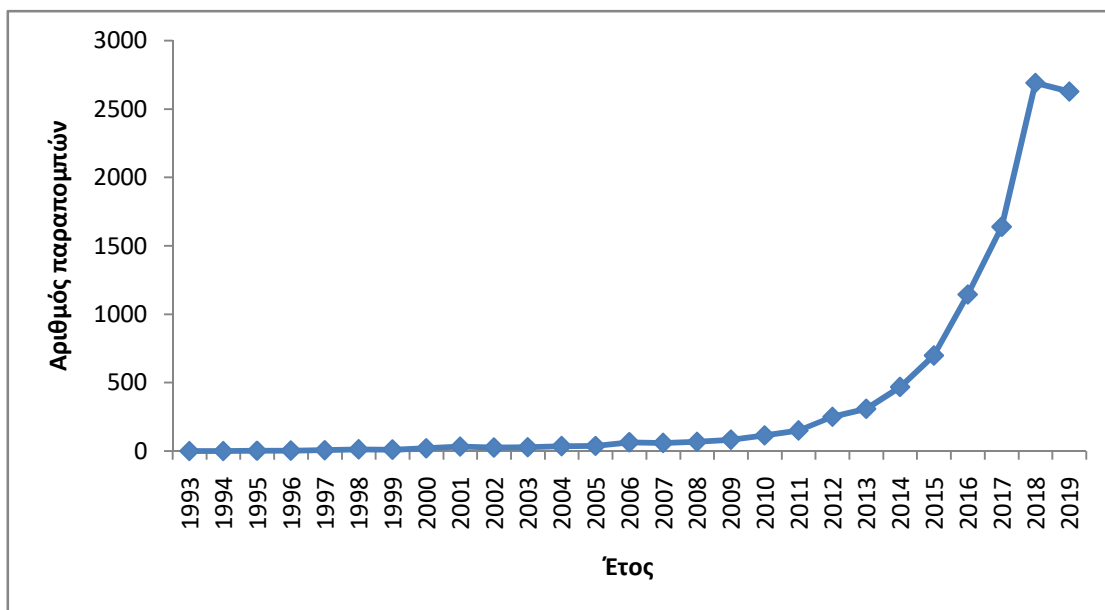
Πιο συγκεκριμένα:

- **Largescaleadditivemanufacturing**

Υπάρχουν παραπομπές για δημοσιεύσεις από το 1993, όπως φαίνεται και στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 4.15.: Αριθμός παραπομπών ανά έτος δημοσιεύσεων (κλειδί αναζήτησης: *largescaleadditivemanufacturing*)

Έτος	Αριθμός Παραπομπών	Έτος	Αριθμός Παραπομπών
2019	2627	2005	38
2018	2690	2004	37
2017	1639	2003	29
2016	1144	2002	26
2015	699	2001	33
2014	469	2000	21
2013	309	1999	11
2012	251	1998	13
2011	151	1997	7
2010	115	1996	4
2009	84	1995	3
2008	68	1994	1
2007	60	1993	1
2006	65		



Γράφημα 4.19.: Γραφική απεικόνιση του αριθμού παραπομπών ανά έτος δημοσιεύσεων (κλειδί αναζήτησης: *largescaleadditivemanufacturing*)

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε ότι υπάρχει μία ανοδική πορεία του αριθμού των παραπομπών κάτι που μας φανερώνει την αύξηση του ενδιαφέροντος των ερευνητών. Οι δημοσιεύσεις με το μεγαλύτερο αριθμό παραπομπών καθώς επίσης και το θεματικό πεδίο που μελετούν παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 4.16.: Οι κορυφαίες 30 δημοσιεύσεις με τον μεγαλύτερο αριθμό παραπομπών και το θεματικό πεδίο αναφοράς τους (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing)

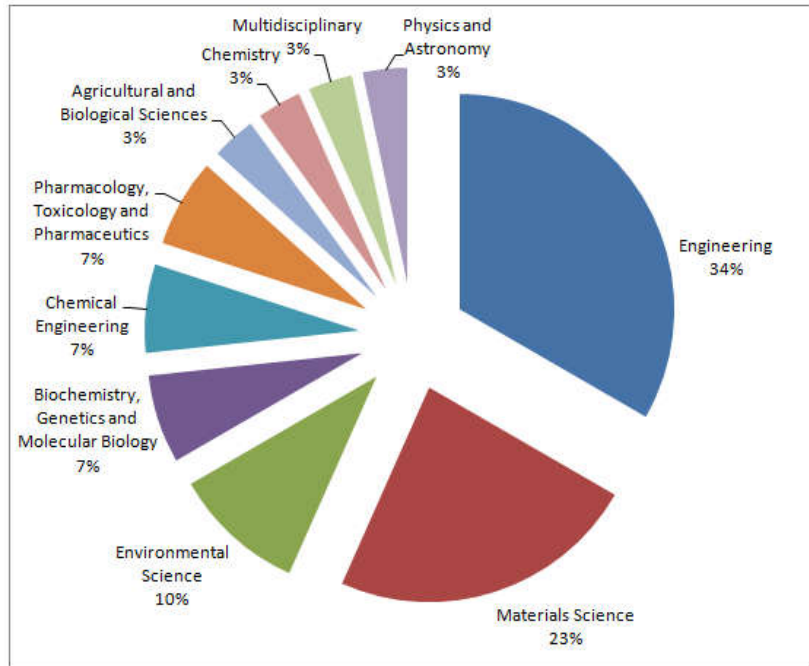
A/A	ΤΙΤΛΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗΣ	ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ	ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ
1	Additive manufacturing technologies: Rapid prototyping to direct digital manufacturing	2010	1685	Engineering
2	A Simple, Low-Cost Conductive Composite Material for 3D Printing of Electronic Sensors	2012	303	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology
3	3D printing of high-strength aluminium alloys	2017	244	Multidisciplinary
4	Developments in construction-scale additive manufacturing processes	2012	226	Engineering
5	Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products	2010	192	Agricultural and Biological Sciences
6	Chiral Separation Techniques: A Practical Approach	2007	188	Chemistry
7	Multiscale metallic metamaterials	2016	165	Engineering
8	Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction	2007	162	Engineering
9	Cellulose nanofibril/reduced graphene oxide/carbon nanotube hybrid aerogels for highly flexible and all-solid-state supercapacitors	2015	146	Material Science
10	Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete - a new processing route for architects and builders	2016	144	Engineering
11	Biomimetic and bioinspired silica: Recent developments and applications	2011	138	Chemical Engineering
12	Applications of ozone for industrial wastewater treatment - A review	1997	138	Environmental Science
13	The importance of carbon fiber to polymer additive manufacturing	2014	130	Material Science
14	Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing	2016	127	Engineering
15	In search of "forever," continued transistor scaling one new material at a time	2005	125	Engineering
16	Scaffolds for Bone Tissue Engineering: State of the art and new perspectives	2017	118	Materials Science
17	A model-based methodology for spray-drying process development	2009	116	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics
18	Shaped metal deposition of a nickel alloy for aero engine applications	2008	108	Engineering
19	3D printer based slot-die coater as a lab-to-fab translation tool for solution-processed solar cells	2015	105	Materials Science
20	GMP-compliant isolation and large-scale expansion of bone marrow-derived MSC	2012	102	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology
21	Pharmaceutical co-crystals - An opportunity for drug product enhancement	2009	101	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics
22	Four decades of gasoline lead emissions and control policies in Europe: A retrospective assessment	2003	98	Environmental Science
23	Environmental life cycle analysis of distributed three-dimensional printing and conventional manufacturing of polymer products	2013	95	Environmental Science
24	Numerical modeling of microstructure evolution during laser additive manufacturing of a nickel-based superalloy	2014	93	Materials Science
25	Design and optimization of a light-emitting diode projection micro-stereolithography three-dimensional manufacturing system	2012	83	Physics and Astronomy
26	Auxetic mechanical metamaterials	2017	77	Chemical Engineering

27	Functionally graded Inconel 718 processed by additive manufacturing: Crystallographic texture, anisotropy of microstructure and mechanical properties	2017	75	Engineering
28	Design and analysis of digital materials for physical 3D voxel printing	2009	73	Engineering
29	Low temperature nanoparticle sintering with continuous wave and pulse lasers	2011	72	Materials Science
30	Melt electrospinning of poly(ϵ -caprolactone) scaffolds: Phenomenological observations associated with collection and direct writing	2015	70	Materials Science

Από τις παραπάνω 30 δημοσιεύσεις με το μεγαλύτερο αριθμό παραπομπών μπορούμε να διακρίνουμε τα 10 θεματικά πεδία με το μεγαλύτερο ποσοστό όσο αφορά το ενδιαφέρον των ερευνητών για περαιτέρω μελέτη.

Πίνακας 4.17.: Ο αριθμός των κορυφαίων δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο με βάση τον αριθμό των παραπομπών (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing)

A/A	ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΡΥΦΑΙΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Engineering	10
2	Materials Science	7
3	Environmental Science	3
4	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	2
5	Chemical Engineering	2
6	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	2
7	Agricultural and Biological Sciences	1
8	Chemistry	1
9	Multidisciplinary	1
10	Physics and Astronomy	1



Γράφημα 4.20.:Γραφική απεικόνιση του αριθμού των 10 κορυφαίων δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο με βάση τον αριθμό των παραπομπών (κλειδί αναζήτησης: largescaleadditivemanufacturing)

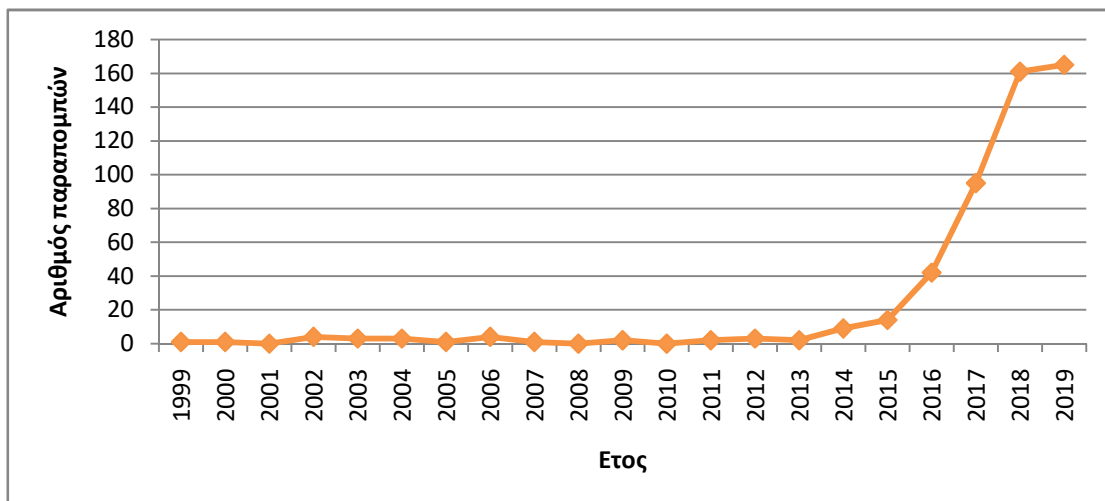
Η δημοσίευση με το μεγαλύτερο αριθμό παραπομπών (1685 παραπομπές) έχει ως θεματικό πεδίο τη **μηχανική** (engineering) ενώ ακολουθεί με αρκετά μεγάλη διαφορά στον αριθμό των παραπομπών (303 παραπομπές) η δημοσίευση με θεματικό πεδίο τη **βιοχημεία, γενετική και μοριακή βιολογία** (biochemistry, genetics and molecular biology). Το θεματικό πεδίο που έχει απασχολήσει περισσότερο τους μελετητές όσο αφορά την προσθετική κατασκευή είναι η **μηχανική** (engineering) με ποσοστό **34%** ενώ τα θεματικά πεδία που ακολουθούν είναι η **επιστήμη υλικών** (materials science) με ποσοστό **23%** και η **επιστήμη του περιβάλλοντος** (environmental science), η **χημική μηχανική** (chemical engineering), η **φαρμακολογία, τοξικολογία και φαρμακευτική** (pharmacology, toxicology and pharmaceutics) και η **βιοχημεία, γενετική και μοριακή βιολογία** (biochemistry, genetics and molecular biology) με ποσοστό **7%**.

- **Big area additivemanufacturing**

Υπάρχουν παραπομπές για δημοσιεύσεις από το 1999, όπως φαίνεται και στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 4.18.: Αριθμός παραπομπών ανά έτος δημοσιεύσεων (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing)

Έτος	Αριθμός Παραπομπών	Έτος	Αριθμός Παραπομπών
2019	165	2008	0
2018	161	2007	1
2017	95	2006	4
2016	42	2005	1
2015	14	2004	3
2014	9	2003	3
2013	2	2002	4
2012	3	2001	0
2011	2	2000	1
2010	0	1999	1
2009	2		



Γράφημα 4.21.:Γραφική απεικόνιση του αριθμού παραπομπών ανά έτος δημοσιεύσεων (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing)

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε ότι υπάρχει και για αυτή τη λέξη κλειδί υπάρχει ανοδική πορεία του αριθμού των παραπομπών κάτι που μας φανερώνει την αύξηση του ενδιαφέροντος των ερευνητών. Οι δημοσιεύσεις με το μεγαλύτερο αριθμό παραπομπών

καθώς επίσης και το θεματικό πεδίο που μελετούν παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 4.19.: Οι κορυφαίες 30 δημοσιεύσεις με τον μεγαλύτερο αριθμό παραπομπών και το θεματικό πεδίο αναφοράς τους (κλειδί αναζήτησης: *bigareaadditivemanufacturing*)

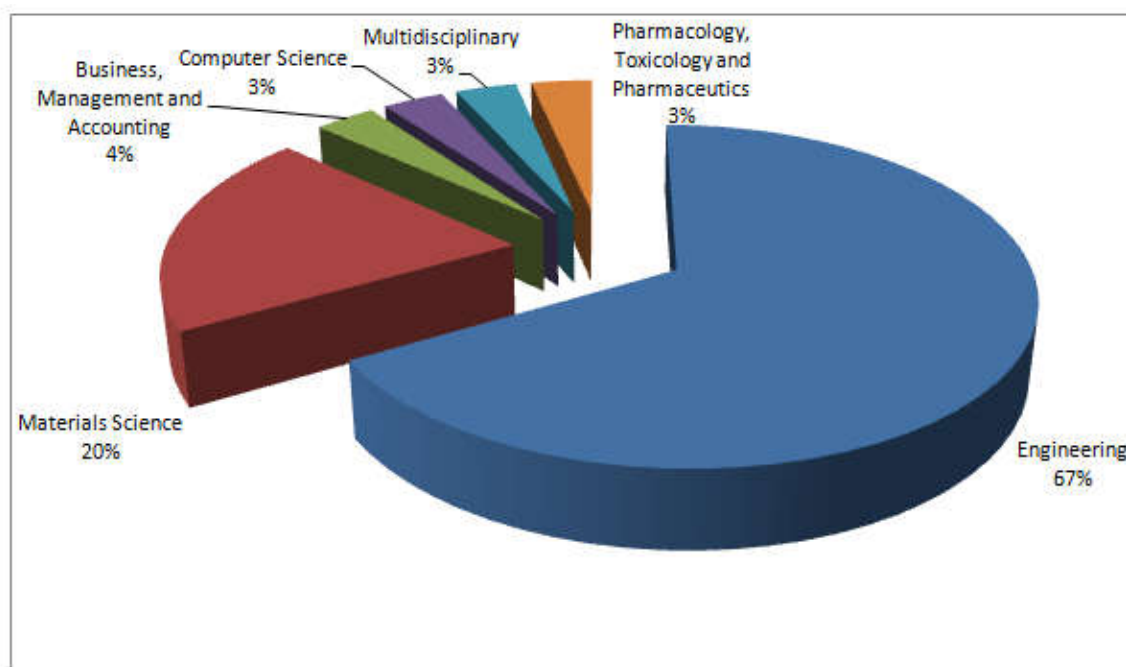
A/A	ΤΙΤΛΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗΣ	ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ	ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ
1	Click here for a data scientist: Big data, predictive analytics, and theory development in the era of a maker movement supply chain	2013	75	Business, Management and Accounting
2	Big Area Additive Manufacturing of High Performance Bonded NdFeB Magnets	2016	48	Multidisciplinary
3	Structure and mechanical behavior of Big Area Additive Manufacturing (BAAM) materials	2017	46	Engineering
4	Out of bounds additive manufacturing	2013	37	Engineering
5	Infrared preheating to improve interlayer strength of big area additive manufacturing (BAAM) components	2017	35	Engineering
6	Numerical simulation of big area additive manufacturing (3D printing) of a full size car	2015	32	Engineering
7	Additive manufacturing of near-net-shape bonded magnets: Prospects and challenges	2017	28	Materials Science
8	The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics	2019	22	Engineering
9	Thermal analysis of additive manufacturing of large-scale thermoplastic polymer composites	2017	22	Engineering
10	Additive manufacturing of composite tooling using high temperature thermoplastic materials	2016	21	Engineering
11	Infrared imaging of the polymer 3D-printing process	2014	21	Materials Science
12	Lead - The toxic metal to stay with human	1998	20	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics
13	Big Area Additive Manufacturing and Hardware-in-the-Loop for Rapid Vehicle Powertrain Prototyping: A Case Study on the Development of a 3-D-Printed Shelby Cobra	2016	10	Engineering
14	Investigation of in-autoclave additive manufacturing composite tooling	2016	10	Engineering
15	The durability of large-scale additive manufacturing composite molds	2016	10	Engineering
16	Development of a range-extended electric vehicle powertrain for an integrated energy systems research printed utility vehicle	2017	9	Engineering
17	Fabrication of highly dense isotropic Nd-Fe-B nylon bonded magnets via extrusion-based additive manufacturing	2018	6	Materials Science
18	Developing new laser sintering materials for snowboarding applications	2012	6	Materials Science
19	Additive manufacturing of anisotropic hybrid NdFeB-SmFeN nylon composite bonded magnets	2018	5	Engineering
20	Breaking barriers in polymer additive manufacturing	2015	5	Engineering
21	Method of enhancing interlayer bond strength in 3D concrete printing	2019	4	Engineering

22	Infrared preheating to enhance interlayer strength of components printed on the Big Area Additive Manufacturing (BAAM) system	2016	4	Engineering
23	Mask image planning for deformation control in projection-based stereolithography process	2012	4	Computer Science
24	Introduction to the design rules for Metal Big Area Additive Manufacturing	2019	3	Engineering
25	Filler materials in composite out-of-plane joints – A review	2019	2	Materials Science
26	The influence of rheology on melt processing conditions of carbon fiber reinforced polyetherimide for big area additive manufacturing	2017	2	Materials Science
27	Spatial frequency analysis for improved quality in Big Area Additive Manufacturing (BAAM)	2017	2	Engineering
28	Economics of composite tooling made via additive manufacturing	2016	2	Engineering
29	Additive manufacturing state of the industry	2015	2	Engineering
30	Using Big Area Additive Manufacturing to directly manufacture a boat hull mould	2019	1	Engineering

Από τις παραπάνω 30 δημοσιεύσεις με το μεγαλύτερο αριθμό παραπομπών μπορούμε να διακρίνουμε τα 6 θεματικά πεδία με το μεγαλύτερο ποσοστό όσο αφορά το ενδιαφέρον των ερευνητών για περαιτέρω μελέτη.

Πίνακας 4.20.: Ο αριθμός των κορυφαίων δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο με βάση τον αριθμό των παραπομπών (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing)

A/A	ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΡΥΦΑΙΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ
1	Engineering	20
2	Materials Science	6
3	Business, Management and Accounting	1
4	Computer Science	1
5	Multidisciplinary	1
6	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	1



Γράφημα 4.22.:Γραφική απεικόνιση του αριθμού των 6 κορυφαίων δημοσιεύσεων ανά θεματικό πεδίο με βάση τον αριθμό των παραπομπών (κλειδί αναζήτησης: bigareaadditivemanufacturing)

Η δημοσίευση με το μεγαλύτερο αριθμό παραπομπών (75 παραπομπές) έχει ως θεματικό πεδίο τις **επιχειρήσεις, διοίκηση και λογιστική** (business, management and accounting) ενώ ακολουθεί με 48 παραπομπές η δημοσίευση με θεματικό πεδίο το **διεπιστημονικό** (multidisciplinary). Το θεματικό πεδίο που έχει απασχολήσει περισσότερο τους μελετητές όσο αφορά την προσθετική κατασκευή είναι η **μηχανική** (engineering) με ποσοστό **67%** ενώ τα θεματικά πεδία που ακολουθούν είναι η **επιστήμη υλικών** (materials science) με ποσοστό **20%**, οι **επιχειρήσεις, διοίκηση και λογιστική** (business, management and accounting) με ποσοστό **67%** και η **επιστήμη των υπολογιστών** (computerscience), η **φαρμακολογία, τοξικολογία και φαρμακευτική** (pharmacology, toxicology and pharmaceutics) και το **διεπιστημονικό** (multidisciplinary) με ποσοστό **3%**.

Παρατηρούμε ότι και για τις 2 λέξεις κλειδιά, το θεματικό πεδίο **μηχανική** (engineering) απασχολεί σε μεγαλύτερο ποσοστό τους ερευνητές.

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα και Προτάσεις

Αν και η τριδιάστατη εκτύπωση είναι σχετικά νέα τεχνική, αναπτύχθηκε και αξιοποιήθηκε σε πολλούς και διαφορετικούς κλάδους δημιουργώντας αντικείμενα μέσω διαφορετικών μεθόδων και τεχνολογιών (διαφέρουν στον τρόπο εναπόθεσης του υλικού που χρησιμοποιείται αλλά και στον τρόπο που ενώνονται τα στρώματα μεταξύ τους και στερεοποιούνται) αλλά και προκαλώντας καινοτόμες αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία, στην ιατρική, στη μηχανική κ.α. Αναμφισβήτητα η τριδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μία πολύ σπουδαία επανάσταση και οι εφαρμογές της κάνουν την παρουσία τους όλο και εντονότερα μέρα με τη μέρα διότι η τριδιάστατη εκτύπωση μειώνει σημαντικά τον χρόνο παραγωγής του πρωτοτύπου ενός προϊόντος και μας προφυλάσσει από πιθανά εμπόδια που συνήθως συναντάμε στις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής.

Η τριδιάστατη εκτύπωση μεγάλης κλίμακας, αν και ακόμη στις μέρες μας εξακολουθεί να είναι μια αρκερά εξειδικευμένη τεχνολογία, έχει κατορθώσει να δώσει λύσεις σε πολλά κατασκευαστικά και άλλα τεχνικά ζητήματα κατά την παραγωγή μεγάλων εξαρτημάτων.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση του βαθμού ενδιαφέροντος των ερευνητών όσο αφορά κυρίως την τριδιάστατη εκτύπωση μεγάλης κλίμακας. Η διερεύνηση αυτή έγινε με την αναζήτηση, στη βάση δεδομένων Scopus, στοιχείων για ερευνητικές μελέτες που αφορούν την προσθετική κατασκευή. Πιο συγκεκριμένα, έγινε αναζήτηση μελέξεων κλειδιά *large scale additive manufacturing* και *big area additive manufacturing* (μεγάλης κλίμακας προσθετικής εκτύπωσης).

Επιλέχθηκαν φίλτρα αναζήτησης ο αριθμός των δημοσιεύσεων ανά έτος, ανά χώρα έκδοσης τους, ανά συγγραφέα/εις, ανά θεματικό πεδίο που αναφέρεται, ανά είδος εγγράφου αλλά και ο αριθμός των παραπομπών (citations) των δημοσιεύσεων αυτών. Από τις παραπάνω αναζητήσεις μπορούμε να συμπεράνουμε τα κάτωθι:

Το ενδιαφέρον για την προσθετική κατασκευή μεγάλης κλίμακας είναι μεγάλο μιας και βρέθηκαν για τη λέξη κλειδί "**large scale additive manufacturing**" 671 αποτελέσματα και για τη λέξη κλειδί "**big area additive manufacturing**" 68 αποτελέσματα. Το 1960 καταγράφηκε η πρώτη δημοσιευμένη μελέτη, ακολούθησαν τα επόμενα χρόνια ελάχιστες μελέτες μέχρι το 2009 που άρχισε μία αυξητική πορεία στις καταγεγραμμένες ερευνητικές μελέτες. Το 2018 ήταν το έτος με τις περισσότερες μελέτες πιθανώς λόγω του ότι έγιναν περισσότερο γνωστά τα θετικά στοιχεία της προσθετικής κατασκευής σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας και της καθημερινότητας μας και επενδύθηκαν περισσότερα χρήματα στην ανάπτυξη και αξιοποίηση των διαφόρων τεχνικών και εφαρμογών. Πληθώρα

μελετητών ασχολήθηκαν με το εν λόγω θέμα, κυρίως από την Αμερική (ο μεγαλύτερος αριθμός μελετητών), την Κίνα, τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Στην Αμερική υπήρχε από νωρίς πρόσφορο έδαφος για τη μελέτη της προσθετικής κατασκευής τόσο λόγω των πολλών εταιρειών που αποφάσισαν να κατασκευάσουν εκτυπωτές προσθετικής εκτύπωσης μεγάλης κλίμακας όσο και ερευνητικών κέντρων που υιοθέτησαν την τεχνική της προσθετικής κατασκευής μεγάλης κλίμακας ώστε να μελετήσουν και να βελτιστοποιήσουν τα πρωτότυπά τους. Η Κίνα, στα πλαίσια της ανάπτυξής της, έδειξε μεγάλο ενδιαφέρον για την προσθετική κατασκευή διότι πληθώρα κατασκευών γίνονται πλέον στο έδαφός της κυρίως λόγω φθηνών εργατικών. Στην Ευρώπη το Ηνωμένο Βασίλειο αποτέλεσε την κορυφαία χώρα όσον αφορά τη συμμετοχή στην ερευνητική δραστηριότητα της ΕΕ για την προσθετική κατασκευή. Δυστυχώς στην Ελλάδα, αν και η προσθετική κατασκευή έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές, δεν έχει καταγραφεί κάποια δημοσιευμένη μελέτη που να ασχολείται με την προσθετική κατασκευή μεγάλης κλίμακας. Προσωπικά πιστεύω ότι αυτό δεν οφείλεται σε έλλειψη ενδιαφέροντος μιας και οι οικιακοί εκτυπωτές προσθετικής κατασκευής πωλούνται σε ανοδικούς ρυθμούς, αλλά στην έλλειψη κονδυλίων για την επένδυση σε τέτοιου είδους τεχνολογικών εφαρμογών.

Το θεματικό πεδίο που έχει απασχολήσει περισσότερο τους μελετητές όσο αφορά την προσθετική κατασκευή είναι η μηχανική διότι οι εφαρμογές της προσθετικής κατασκευής οδήγησαν στη λύση σημαντικών προβλημάτων που απασχολούσαν τους κατασκευαστές κυρίως λόγω του μεγέθους αυτών που ήθελαν να κατασκευάσουν. Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί και το χρονικό αλλά και το οικονομικό όφελος που πρόσφεραν οι κατασκευές μέσω της τεχνολογίας της προσθετικής κατασκευής εν συγκρίσει των παραδοσιακών τεχνικών κατασκευής. Η επιστήμη υλικών ήταν επίσης ένα θεματικό πεδίο μεγάλου ενδιαφέροντος διότι εφαρμόζονται νέα υλικά και ενισχύονται οι ιδιότητες των ήδη χρησιμοποιούμενων υλικών για κατασκευές. Ενδιαφέρον υπήρξε και για θεματικά πεδία όπως της επιστήμης υπολογιστών, τη βιοχημείας, γενετικής και μοριακής βιολογίας, της χημείας, της επιστήμης του περιβάλλοντος κ.α. Προσωπικά πιστεύω ότι υπάρχει έλλειψη σε δημοσιεύσεις που αφορούν θεματικά πεδία που σχετίζονται με ηθικά ζητήματα αλλά και θέματα που αφορούν την ασφάλεια των κατασκευών αυτών (αντοχή κ.λ.π.) αλλά και τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των χρηστών. Συνεπώς, τα ερευνητικά κέντρα θα πρέπει να επενδύσουν σε τέτοιου είδους μελέτες και να δημοσιεύσουν τα αποτελέσματα αυτών των μελετών ώστε να υπάρξει μια πιο σφαιρική εικόνα για την τεχνολογία και τις εφαρμογές της προσθετικής κατασκευής.

Το είδος εγγράφου που έχει ασχοληθεί περισσότερο με μελέτες όσο αφορά την

προσθετική κατασκευή είναι το **άρθρο** αλλά και οι εργασίες που παρουσιάζονται σε συνέδρια. Οι πηγές των δημοσιευμένων μελετών είναι γνωστά περιοδικά της Αμερικής με μεγάλο κοινό στην επιστημονική κοινότητα.

Τέλος, πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει παλαιότερες δημοσιεύσεις και τις έχουν χρησιμοποιήσει ως παραπομπές στις δικές τους μελέτες. Ο αριθμός των παραπομπών σε δημοσιεύσεις παρουσιάζει ανοδική πορεία κάτι που δηλώνει αύξηση του ενδιαφέροντος των ερευνητών τα τελευταία χρόνια.

Οι έρευνες για την προσθετική κατασκευή δεν θα πρέπει να παραμείνουν στάσιμες. Θα πρέπει να συνεχιστεί η περαιτέρω διερεύνηση των εφαρμογών που εκτιμάται ότι θα αναπτυχθούν στο άμεσο μέλλον στην την προσθετική κατασκευή αλλά και να μελετηθούν σε βάθος οι επιπτώσεις της μη ορθογικής χρήσης αυτών.

Η έλευση της τεχνολογίας της προσθετικής κατασκευής οδήγησε στον επαναπροσδιορισμό του κατασκευαστικού τομέα μιάς και η τρίτη διάσταση άλλαξε τα δεδομένα και έδωσε λύση σε προβλήματα, τεχνικής αλλά και αισθητικής φύσεως. Υπάρχουν αρκετοί που υποστήριξαν ότι η εν λόγω τεχνολογία βρίσκεται στο ζενίθ και συνεπώς δεν θα πρέπει να αναμένουμε κάποια αντίστοιχη τεχνολογία για το προσεχές μέλλον. Στο MIT, ερευνητές έχουν ήδη αναπτύξει και εξελίσσουν διαρκώς την επόμενη γενιά εκτυπωτών, προσθέτοντάς μια ακόμη παράμετρο που ονομάζουν «*τέταρτη διάσταση*» και έχει την ξεχωριστή ιδιότητα της αλλαγής του σχήματος του αντικειμένου μετά το πέρας της διαδικασίας και εφόσον αυτό εκτίθεται σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες (το αντικείμενο θα μπορεί να αναδιαμορφώνεται και να προσαρμόζεται ανάλογα με τους εξωτερικούς παράγοντες, αλλάζοντας από μόνο του το σχήμα και τις αρχικές του ιδιότητες). Αυτή η νέα τεχνολογική πρόκληση θα αποτελέσει έναυσμα για τους μελετητές να ασχοληθούν σε βάθος με τη νέα αυτή τεχνολογία και της εφαρμογές της. Ήδη υπάρχει ένας ικανοποιητικός αριθμός δημοσιευμένων μελετών (384 μελέτες στη βάση δεδομένων Scopus με κλειδί αναζήτησης το 4Dprinting) αλλά θα πρέπει να αναμένουμε αύξηση των δημοσιεύσεων τα επόμενα χρόνια.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ξενόγλωσσες

3DPrinters 3DPrint. News (2014), 'China developing world's largest 3D printer, prints 6m metal parts in one piece', Feb. 7 2014, viewed 20 May 2019, <<https://www.3ders.org/articles/20140207-china-developing-world-largest-3d-printer--prints-6m-metal-parts-in-one-piece.html>>.

A.M.S.I. Group (2012), 'Shaping our national competency in additive manufacturing', *Special Interest Group Additive Manufacturing*, viewed 15 June 2019, <<https://docplayer.net/7645943-Shaping-our-national-competency-in-additive-manufacturing.html>>.

AMFG (2019), 'Thinking Big: 4 Impressive Applications of Large-Scale 3D Printing', *Technology*, 2 April 2019, viewed 1 July 2019, <<https://amfg.ai/2019/04/02/thinking-big-4-impressive-applications-of-large-scale-3d-printing/>>.

ASM Int. (2015), 'European Space Agency funds TCD engineers' Cold Spray 3D printing', *Engineers Journal*, 10 February 2015, viewed 5 June 2019, <<http://www.engineersjournal.ie/2015/02/10/trinity-cold-spray-technology-esa/>>.

Bensoussan, H. (2016), *The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today*, viewed 26 June 2019, <<https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing-technologies-from-the-80s-to-today/>>.

Bhavnagarwala, H. (2018), *What are the applications of 3D printing in various fields?*, viewed 29 June 2019, <<https://www.quora.com/What-are-the-applications-of-3D-printing-in-various-fields>>.

Binder Jetting 3D Printing Technology, 2016 photograph, accessed July 2nd 2019, <<https://www.threeding.com/blog/%E2%80%8Bbinder-jetting-3d-printing-technology>>.

Blum, H. (2015), *The future of 3D printing to 2025*, viewed 9 July 2019, <[http://www.smitherspira.com/news/2015/june/3d-print-market-expected-to-reach-\\$49b-by-2025](http://www.smitherspira.com/news/2015/june/3d-print-market-expected-to-reach-$49b-by-2025)>.

Bournias Varotsis, n.d., *3D HUBS*, photograph, accessed June 23rd, <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing>>.

Chesser, P., Post, B., Roschli, A., Carnal, C., Lind, R., Borish, M. and Love, L.(2019) 'Extrusion control for high quality printing on Big Are Additive Manufacturing (BAAM) systems', *Additive Manufacturing*, 28 (8), pp. 445-455.

CMCA (2017), 'Additive Manufacturing & 3D Printing', *International Conference, CMCA Future Manufacturing Research Hub*, Nottingham UK, viewed 2 July 2019, <<https://www.cmac.ac.uk/showNews.php?e=1&ID=277>>.

Cranfield University, (2016), 'Is this the largest metal 3D part ever made?', Cranfield University, 7 October 2016, viewed 25 May 2019, <<https://www.cranfield.ac.uk/press/news-2016/is-this-the-largest-metal--3d-part-ever-made>>.

Electronic Beam Melting, n.d. photograph, accessed June 13rd 2019, <<http://ss.whiteclouds.com/3dpedia-index/electron-beam-melting-ebm>>.

Ford, J. (2016), 'Ten minutes with RepAIR, the project bringing IVHM & additive manufacturing to aircraft maintenance', *The Engineer*, 2nd August 2016, viewed 22 May 2019, <<https://www.theengineer.co.uk/ten-minutes-with-an-expert-in-additive-manufacturing-for-aircraft-maintenance/>>.

Fused Deposition Modeling (FDM), n.d. photograph, accessed June 15th 2019,<<https://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>>.

Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C.B., Wang, C.C.L., Shin, Y.C., Zhang, S. and Zavattieri, P.D. (2015). 'The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering', *Comput. Des.*, 69, pp. 65–89.

Greer, C., Nycz, A., Noakes, M., Richardson, B., Post, B., Kurfess, T. and Love, L. (2019). 'Introduction to the design rules for Metal Big Area Additive Manufacturing', *Additive Manufacturing Volume*, 27 (5), pp. 159-166.

International Conference on additive manufacturing & 3D printing (2015), 'Review: The 11th AM and 3D Printing Conference 2016', viewed 27 May 2019, <<https://www.tctmagazine.com/topics/international-conference-on-additive-manufacturing-%26-3d-print/>>.

Kim, S., Dreifus, G., Beard, B. , Glick, A., Messing, A., Hassen, A.A., Lindahl, J., Liu, P., Smith, T., Failla, J., Post, B., Bowers, J.C., Stephenson, K., Love, L. and Kunc, V. (2018), 'Graded infill structure of wind turbine blade core accounting for internal stress

in big area additive manufacturing', *Conference Paper· October 2018*, viewed 2 July 2019,

<https://www.researchgate.net/publication/328938274_GRADED_INFILL_STRUCTURE_OF_WIND_TURBINE_BLADE_CORE_ACCOUNTING_FOR_INTERNAL_STRESS_IN_BIG_AREA_ADDITIVE_MANUFACTURING>.

Krassenstein, B. (2015), *BAAM 3D printer gets major upgrade - prints 100 lbs of material per Hour & more*, March 19, 2015, viewed 12 July 2019, <<https://3dprint.com/51109/baam-3d-printer-2/>>.

Laminated Object Manufacturing (LOM), n.d. photograph, accessed June 15th 2019, <<https://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>>.

Lindahl, J., Hershey, C., Gladysz, G., Mishra, V., Shah, K. and Kunc, V. (2019). 'Extrusion deposition additive manufacturing utilizing high glass transition temperature latent cured epoxy systems', *International SAMPE Technical Conference 2019*.

Lindstrom, G. (2014), 'Why should we care about 3D-printing and what are potential security implications?', *Centre for Security Policy (GCSP) Policy Paper No. 2014/6. Geneva*, viewed 22 May 2019, <<http://www.gcsp.ch/download/2762/72119>>.

Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2013), *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*, Global Institute, viewed 21 June 2019, <<https://www.mckinsey.com/businessfunctions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies>>.

MAPP (2017), 'The international conference that delivers the credible voice of additive manufacturing & 3D printing', *CONFERENCE ADDITIVE MANUFACTURING AND 3D PRINTING INTERNATIONAL CONFERENCE*, 31 May - 07 Jun 2017 Nottingham, UK, viewed 14 June 2019, <<https://mapp.ac.uk/events/additive-manufacturing-and-3d-printing-international-conference>>.

Matisons, M. (2015), *New York State to build \$125 Million industrial-scale 3D printing plant in partnership with Norsk Titanium*, October 6, 2015, viewed 2 July 2019, <<https://3dprint.com/99101/ny-3d-printing-plant-norsk/>>.

Musio-Sale, M., Nazzaro, P.L. and Peterson, E. (2020). 'Visions, concepts, and applications in additive manufacturing for yacht design', *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 975, pp. 401-410.

Nathan, S. (2014), *Ten minutes with the inventor of 3D printing*, 14th July 2014, viewed 28 June 2019, <<https://www.theengineer.co.uk/ten-minutes-with-the-inventor-of-3d-printing/>>.

Romberg, S.K., Hershey, C.J., Lindahl, J.M., Carter, W. , Compton, B.G. and Kunc, V. (2019). 'Large-scale additive manufacturing of highly exothermic reactive polymer systems', *International SAMPE Technical Conference2019*, pp. 1-7.

Scott, C. (2018) ' Where is All This 3D Printing Research Coming From?', *3D Printing Science & Technology, 3D PRINT.COM The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing*, August 31, 2018, viewed 16 June 2019, <<https://3dprint.com/223937/3d-printing-research/>>.

Selective Laser Sintering, n.d. photograph, accessed June 17th 2019, <<https://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>>.

Sidambe, A. (2014). 'Biocompatibility of Advanced Manufactured Titanium Implants - A Review', *Materials (Basel)*, 7 (12), pp. 8168-8188.

Sudbury, T.Z., Ajinjeru, C., Kishore, V., Duty, C., Liu, P. and Kunc, V. (2017). 'Blending of fiber reinforced materials using big area additive manufacturing (BAAM)', *International SAMPE Technical Conference2017*, pp. 1900-1912.

Tallon, P. and Wilson, M.F.(2020). 'A holistic approach to additive manufacture; from design for AM to part verification in product development', *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 975, pp.411-417.

Venkateshan, T. (2014), *Rapid Prototyping, Stereolithography (SLA) photograph*, viewed 1 July 2019, <<https://www.slideshare.net/yuvarajeil/stereolithography-latest>>.

Vicari, A. and Kozarsky, R. (2013). 'Building the Future: Assessing 3D Printing's Opportunities and Challenges', *Critical Reviews in Biotechnology*, 37 (3), pp. 1-22.

Wallace, J., Wang, MO., Thompson, P., Busso, M., Belle, V., Mammoser, N., Kim, K., Fisher, J.P., Siblani, A., Xu, Y., Welter J.F., Lennon, D.P., Sun, J. Caplan, A.I. and Dean, D (2014). 'Validating continuous digital light processing (cDLP) additive manufacturing accuracy and tissue engineering utility of a dye-initiator package', *Biofabrication*, 6 (1).

Wohlers, T. and Wohlers Associates (2012). *Wohlers report 2012: Additive manufacturing and 3D printing state of the industry*, Fort Collins, Col. : Wohlers Associates.

Wohlers, T. and Wohlers Associates (2014). *Wohlers Report 2014: 3D printing and additive manufacturing state of the industry annual worldwide progress report*. FortCollins, Col. : WohlersAssociates.

Ελληνόγλωσσες

Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, (χ.χ.), *Κεφάλαιο 3: Τεχνολογίες Προσθετικής Κατασκευής και Τριδιάστατης Εκτύπωσης*, προσπελάστηκε στις 5 Ιουνίου 2019, <https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4524/1/02_chapter_3.pdf>.

Κωστίδη, Ε., και Νικητάκος, Ν. (2016). *Η τριδιάστατη εκτύπωση στην εφοδιαστική αλυσίδα των ανταλλακτικών των πλοίων*. Βίβλος Ναυτικής Τεχνολογίας.

Μασούρα, Ρ. (2016), 'Συνέντευξη με την υποψήφια διδάκτορα Ευανθία Κωστίδη για το 3d printing και τα ελληνικά πανεπιστήμια', *GlobalView*, 30 Ιουνίου 2016, προσπελάστηκε στις 22 Μαΐου 2019, <<http://www.globalview.gr/2016/06/30/62949/>>.

Νικητάκος, Ν. και Κωστίδη, Ε. (2017), 'Τριδιάστατη εκτύπωση: Μια επαναστατική τεχνολογία για τις Ένοπλες Δυνάμεις', *Εθνικές Επάλξεις*, Ιούλιος-Σεπ (121), σσ. 71–76.

Συσούρκα, Σ. (2015), *'Τριδιάστατος Εκτυπωτής (3DPrinter). Εφαρμογές Τηλεπικοινωνιακών Διατάξεων'*, προσπελάστηκε στις 10 Ιουνίου 2019, <<https://slideplayer.gr/slide/12625925/>>.

Τράντζας, Γ. (2016), 'Τι είναι Τριδιάστατη Εκτύπωση και Ποιές οι Εφαρμογές της', *PCSteps*, 29/04/2016, προσπελάστηκε στις 2 Ιουνίου 2019, <<https://www.pcsteps.gr/100046-τριδιάστατη-εκτύπωση-3d-printing>>.

Άλλες πηγές

www.scopus.com