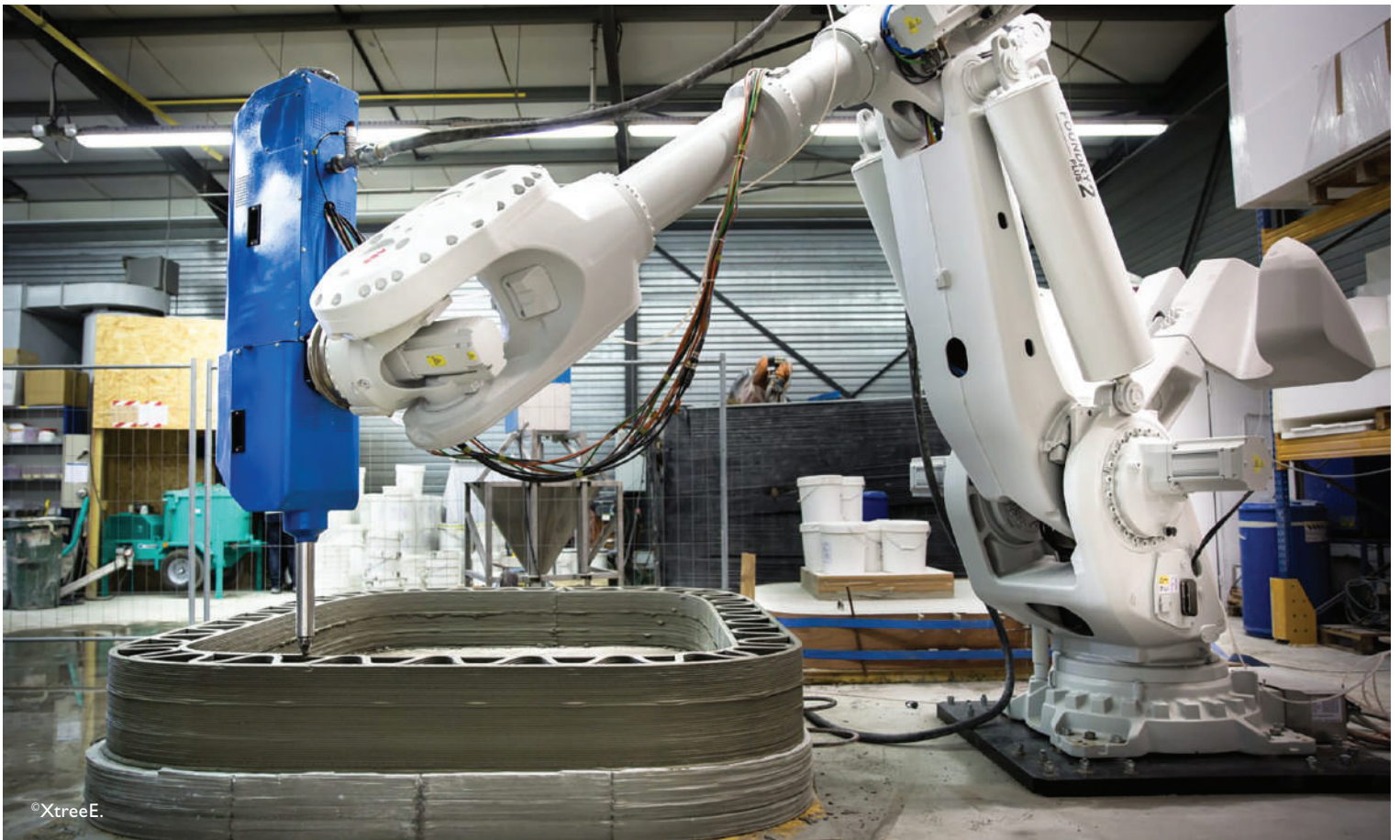


ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

**ΚΑΙΝΟΤΟΜΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ
ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**



©XtreeE.

Κάθε πολιτισμική φάση χαρακτηρίζεται από τις δημιουργικές δυνατότητες αποτύπωσης των ιδεών στον πραγματικό κόσμο, που μπορούν είτε να μεταβάλλουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων είτε να εκφράσουν την πολιτισμική τους ταυτότητα.

Αυτές οι δυνατότητες εξαρτώνται από το τεχνολογικό υπόβαθρο της κάθε εποχής και τελικά αποτελούν συσσωματώματα εφαρμοσμένης γνώσης. Σ' αυτό το πλαίσιο, τα τελευταία χρόνια συμβαίνει ένα εξαιρετικά σημαντικό τεχνολογικό βήμα, που σχετίζεται με την τρισδιάστατη εκτύπωση. Σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανική παραγωγή, από την εκτύπωση ιατρικού εξοπλισμού έως την εκτύπωση μηχανικών μερών αυτοκινήτων. Η παραγωγή έχει αλλάξει ριζικά, μειώνοντας το κόστος και διευκολύνοντας σε μεγάλο βαθμό την παραγωγή προϊόντων, προσαρμοσμένων στις απαιτήσεις ειδικών περιπτώσεων, από την τρισδιάστατη εκτύπωση βιοϋλικών στο χώρο της υγείας έως και ειδικών τεμαχίων στη βιομηχανία.

Άρθρο των:

Γ. - ΦΟΙΒΟΥ ΣΑΡΓΕΝΤΗ¹, ΕΥΑΓΓΕΛΙΑΣ ΦΡΑΓΓΕΔΑΚΗ²,
ΗΛΙΑ ΤΑΥΓΕΤΟΥ ΜΕΛΕΤΟΠΟΥΛΟΥ², ΝΙΚΟΥ ΚΑΛΛΙΩΡΑ¹,
ΝΙΚΟΥ Δ. ΛΑΓΑΡΟΥ¹

¹: Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., ²: Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π.



1



2

Τι είναι η τρισδιάστατη εκτύπωση

Τρισδιάστατη εκτύπωση είναι η διαδικασία, κατά την οποία ένας εκτυπωτής δημιουργεί ένα αντικείμενο, καθοδηγούμενος από ένα ψηφιακό μοντέλο. Πρόκειται για μια μέθοδο προσθετικής κατασκευής, με την οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης στρώσεων υλικού.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1980, βρίσκοντας εφαρμογή σε μικρά αντικείμενα από συνθετικά υλικά. Την τελευταία δεκαετία γίνονται μεγάλα άλματα σ' αυτό το πεδίο και εμφανίστηκαν διάφορες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, μεταξύ των οποίων η εκτύπωση μεταλλικών αντικειμένων και η εκτύπωση αντικειμένων μεγάλων διαστάσεων με τη βοήθεια νέων αναμειγξών δομικών υλικών.

Οι πλέον πρόσφατες τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης, που φαίνεται να επικρατούν, χρησιμοποιούν ένα ρομποτικό βραχίονα, ο οποίος καθοδηγεί ένα ηλεκτρόδιο ή έναν άλλο μηχανισμό απόθεσης του υλικού, καθοδηγούμενος από το ψηφιακό μοντέλο. Ο μηχανισμός απόθεσης (π.χ. ακροφύσιο) καθοδηγείται σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, με τα X, Y και Z να είναι οι τρεις διαστάσεις του αντικειμένου ή του κτιρίου. Αυτή η διαδικασία έχει τη δυνατότητα να

εκτυπώσει αντικείμενα από κονιάματα αλλά και μέταλλα, τα οποία προστίθενται στο αντικείμενο που εκτυπώνεται με τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου.

Οι δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας αυξάνονται ημέρα με την ημέρα, υλοποιώντας έργα μεγάλης αντοχής και σε μεγάλη κλίμακα με εκτύπωση δομικών στοιχείων αλλά –προσφάτως– και κατασκευών π.χ. κτιρίων και γεφυρών. Επίσης η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιείται για παραγωγή αρχιτεκτονικών προπλασμάτων αλλά και τρισδιάστατη απεικόνιση αρχαιολογικών μνημείων υπό κλίμακα μέσω τρισδιάστατης σάρωσης. Προσφάτως τοποθετήθηκε σε κανάλι στο Άμστερνταμ η πρώτη, εξ ολοκλήρου εκτυπωμένη από την εταιρεία MX3D, μεταλλική πεζογέφυρα, ενώ έχουν εκτυπωθεί αρκετές κατοικίες.

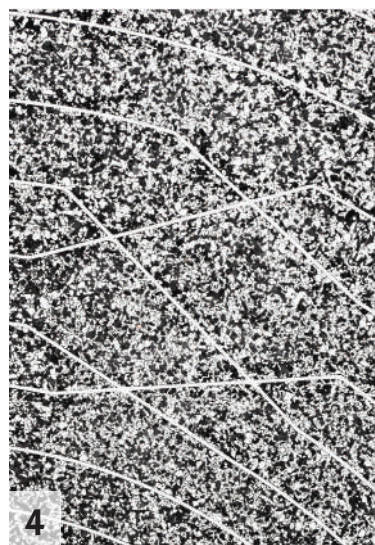
Η τρισδιάστατη εκτύπωση στην κατασκευή βρίσκει εφαρμογή:

- σε ολόκληρα κατασκευαστικά στοιχεία,
- σε κατασκευαστικά δομικά μέλη,
- σε κατασκευαστικούς συνδέσμους.

Στον κλάδο των κατασκευών προσφέρει αυξημένη δυνατότητα στην προσαρμογή –σε περίπτωση ιδιαίτερων μορφών που προέκυψαν από το σχεδιασμό και οι οποίες είναι αδύνατο να κατασκευαστούν με συμβατικές μεθόδους–, στη μείωση του χρόνου και ενδεχομένως του κόστους κατασκευής. Η τεχνολογία

1. Η τρισδιάστατη εκτύπωση μειώνει το κόστος και το χρόνο κατασκευής, δίνοντας λύση στο πρόβλημα της έκτακτης στέγασης στο πλαίσιο κρίσεων. Κατοικία στο Beckum, North Rhine - Westphalia. ©PERI.

2. Φωτορεαλιστική απεικόνιση κατασκευής κτιρίου με τρισδιάστατη εκτύπωση. ©Contour Crafting.



της προσθετικής στην κατασκευή βασίζεται σε εκτυπωτές με διάφορα μεγέθη και σχήματα και σχετίζεται με το υλικό που χρησιμοποιείται.

Τρισδιάστατη εκτύπωση και κατασκευαστικός κλάδος

Αν και δεν είναι ορατό στο άμεσο μέλλον, σε σεμινάριο που πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα του Ε.Μ.Π. στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου ADDOPTML Project το Μάιο του 2021 με τίτλο "3D printing in construction industry. Past, present and future", διαπιστώθηκε ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα δημιουργήσει δυναμικές ανακατατάξεις και νέες προοπτικές στον κατασκευαστικό κλάδο.

Ο εκσυγχρονισμός του κατασκευαστικού κλάδου αποτέλεσε έναν κόμβο γνώσης και τεχνολογίας του πολιτισμού που βελτίωσε διαχρονικά την ποιότητα ζωής και την ευμάρεια των ανθρώπων. Είναι μια αέναη διαδικασία που συμβαίνει από τη λίθινη εποχή, απ' όταν οι άνθρωποι έφυγαν από τις σπηλιές και έφτιαξαν τα πρώτα καταλύματα με ξύλα, δέρματα και κατόπιν με πέτρες, κονιάματα, μέταλλα και ποικίλες κατασκευαστικές τεχνικές.

Με την ευρεία εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης φαίνεται ότι ο κατασκευαστικός κλάδος θα κάνει ένα νέο καινοτόμο άλμα.

Τρισδιάστατη εκτύπωση και κανονισμοί

Η έρευνα στον τομέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι σε αρχικό στάδιο· έτσι δεν υπάρχουν προδιαγραφές και κανονισμοί να διέπουν αυτές τις κατασκευές. Ως εκ τούτου κάθε μεθοδολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης απαιτείται να τεκμηριωθεί και να αξιολογηθεί πριν να βρει ευρεία εφαρμογή. Αυτή η τεχνολογία εξαπλώνεται γρήγορα και δημιουργούνται σημαντικά νομικά ζητήματα σχετικά με την ευθύνη της πνευματικής ιδιοκτησίας αλλά και θέματα νομικής διάστασης ή σχετικά με τη μηχανική αντοχή· για παράδειγμα αν εκτυπωθεί ένα αντικείμενο και σπάσει κατά τη χρήση, ποιος θα φταίει; Την τελευταία δεκαετία αναπτύσσεται ένα ομότιμο κίνημα στην υλική παραγωγή. Σχεδιαστές διαθέτουν τρισδιάστατα αντικείμενα (από σκεύη φαγητού μέχρι ποδήλατα, τρακτέρ και ανεμογεννήτριες), χρησιμοποιώντας εργαλεία ανοικτών τεχνολογιών (Ε.Ε.Λ.Λ.Α.Κ.) όπως FreeCad, SketchFab, Blender, Ocroprint, τα οποία διατίθενται ελεύθερα στο Διαδίκτυο,

3, 4, 5, 6. Μωσαϊκά και αντικείμενα τρισδιάστατης εκτύπωσης της εταιρείας Aectual, από ανθεκτικό βιοπλαστικό, που προέρχεται από φυτά και είναι ανακυκλώσιμο.



7

στοιχεία, τα οποία συνθέτουν μεγάλο μέρος του εαυτού του). Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης στον κατασκευαστικό κλάδο, σε κλίμακα κτιριακών εγκαταστάσεων, με τη χρήση εμπλουτισμένου σκυροδέματος ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '90 στις Η.Π.Α. Στην αρχική φάση οι κατασκευές δεν ήταν πραγματικά κατοικήσιμες ή ολοκληρώνονταν με προκατασκευασμένα τεμάχια. Όμως από το 2018 και μετά παρουσιάζονται εκτυπωμένα κτίρια, που χρησιμοποιούνται ως μόνιμες κατοικίες.

Για την ώρα, στον ελληνικό χώρο οι εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης δεν έχουν βρει ένα κανονιστικό πλαίσιο για ευρεία εφαρμογή και είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός των βασικών αρχών, εννοιών και προδιαγραφών, που θα πλαισιώσουν αυτήν την τεχνική, καθώς και η αξιολόγηση του τελικού αντικειμένου.

Ο ρόλος του μηχανικού

Όταν φανταζόμαστε ότι ένα ψηφιακό μοντέλο θα τυπώνεται από ένα μηχάνημα, υπάρχει ενδόμυχα ένας φόβος ότι μ' αυτόν τον τρόπο θα ακυρωθεί το επάγγελμα του μηχανικού. Πλην όμως τα ψηφιακά μοντέλα που χρησιμοποιούνται τα τελευταία 30 χρόνια, είτε σε επίπεδο αντοχής των κατασκευών είτε σε επίπεδο σχεδιασμού, αντί να ακυρώσουν το επάγγελμα του μηχανικού, όπως υπήρχε ο αντίστοιχος φόβος, του έδωσαν νέες πολύπλευρες δημιουργικές δυνατότητες.

Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι η μαζική τυποποίηση που δεν προσαρμόζεται στις ανάγκες των ανθρώπων και εφαρμόστηκε μαζικά σε απολυταρχικά καθεστάτα, τελικά δεν βελτίωσε τις συνθήκες και την ποιότητα ζωής, αφού κάθε άνθρωπος έχει ξεχωριστές ανάγκες.

Σ' αυτό το πλαίσιο ο ρόλος της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι πολύ δημιουργικός αφού ο σχεδιασμός του ψηφιακού μοντέλου έχει πολλούς βαθμούς ελευθερίας. Επίσης ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, στον οποίο μπορούν να συμβάλουν οι μηχανικοί μέσω της εκτύπωσης κτιρίων είναι η επίλυση του ζητήματος της έκτακτης στέγασης στο πλαίσιο κρίσεων, που παρουσιάζονται όλο και πιο συχνά είτε λόγω μεταναστευτικών κυμάτων είτε λόγω φυσικών καταστροφών.

Κριτήρια σχεδιασμού και κατασκευής στα ψηφιακά μοντέλα

Το σημαντικότερο δημιουργικό στοιχείο για τη χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών είναι η εισαγωγή του ψηφιακού μοντέλου, δηλαδή του ψηφιακού αντικειμένου, που θα καθοδηγήσει τον εκτυπωτή στην κατασκευή.

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια, που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και να εισαχθούν ως παράμετροι στη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου, όπως για παράδειγμα:

- ο έλεγχος (στατικός και δυναμικός) δομικής επάρκειας της κατασκευής,
- η οικονομική βελτιστοποίηση της κατασκευής,
- η ενεργειακή βελτιστοποίηση της κατασκευής,
- η περιβαλλοντική βελτιστοποίηση της κατασκευής,
- η ευελιξία για εναλλακτικές χρήσεις της κατασκευής και η δυνατότητα μεταμόρφωσής της.

Ένα βασικό ερώτημα είναι πώς αυτά τα κριτήρια θα μπορέσουν να μπου σε ένα κανονιστικό πλαίσιο, ώστε οι εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης να είναι σύννομες και με την ελληνική νομοθεσία.



8

καθώς και πλατφόρμες όπως NASA (Erickson), NIH 3D Print Exchange (Services), Pinshape κ.ά. Μέσα από τις ψηφιακές πλατφόρμες εξελίσσεται μια αγορά, στην οποία οι σχεδιαστές και οι κατασκευαστές μπορούν να δημιουργήσουν εργαζόμενοι στο σπίτι και στο γραφείο τους. Μέσα από την ανταλλαγή σχολίων και γνώσης για τις περαιτέρω τρισδιάστατες εκτυπώσεις βελτιώνεται η πρακτική, που αλλάζει το παιχνίδι για το μέλλον της παραγωγής κατ' απαίτηση. Αναπτύσσονται κοινότητες όπως η Open Source Ecology, που μοιράζονται τα σχέδια κατασκευών, αλλά και ολόκληρων μηχανημάτων, που χρειάζονται στην καθημερινή ζωή. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να διαμοιραστούν, να τροποποιηθούν και να αναβαθμιστούν ή απλώς να προσαρμοστούν στις εκάστοτε ανάγκες. Μέσω του Διαδικτύου δίνεται η δυνατότητα οι εκτυπώσεις να γίνουν σε τρισδιάστατους εκτυπωτές χαμηλού κόστους και ανοικτού κώδικα, όπως MakerBot, Ultimaker, RepRap (που μπορεί να αναπαράγει

7,8. Το πρώτο εκτυπωμένο σπίτι από σκυρόδεμα "Milestone Project" στο Αϊντχόβεν της Ολλανδίας ολοκληρώθηκε τον Απρίλιο του 2021. Αποτελείται από 24 εκτυπωμένα στοιχεία σκυροδέματος, που τυπώθηκαν σε στρώσεις σε εργοστάσιο στο Αϊντχόβεν. ©Bart van Overbeeke.



9



10



11



12

Παραδείγματα τρισδιάστατης εκτύπωσης

Κατασκευές κτιρίων

Στο Ρίβερκεντ της Νέας Υόρκης η εταιρεία SQ4D παρουσίασε προς πώληση το πρώτο σπίτι με επί τόπου τρισδιάστατη εκτύπωση, χρησιμοποιώντας ένα αυτόνομο σύστημα ρομποτικής κατασκευής και καταχωρήθηκε στο Zillow.com ως νέα κατασκευή για 299.999 δολάρια. Θεωρείται το πρώτο τρισδιάστατο εκτυπωμένο σπίτι, που ανέβηκε σε αγγελία στις Η.Π.Α., ενώ αντίστοιχα παραδείγματα ακολουθούνται στη Γαλλία, στη Γερμανία και στην Ολλανδία.

Από τις πρωτοπόρες εταιρείες στις κατασκευές είναι η WinSun, η οποία εκτύπωνε κτίρια ήδη από το 2015. Κάθε κτίριο ολοκληρωνόταν σε μόλις 30 ημέρες, με αρκετά μικρότερο κόστος απ' ό,τι αν είχε κατασκευαστεί με τον παραδοσιακό τρόπο. Τα τεμάχια του κτιρίου εκτυπώθηκαν και συναρμολογήθηκαν στο εργοτάξιο. Η εταιρεία αρχικά

χρησιμοποίησε ένα μεγάλο εκτυπωτή 150 m μήκους και 6 m ύψους. Το σπίτι, που είναι, πενταώροφο βρίσκεται στα προάστια της πόλης Σουτσού, στην Κίνα. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ανακυκλώσιμα κατασκευαστικά απορρίμματα, που περιείχαν ίνες γυαλιού, χάλυβα και τσιμέντου.

Η εταιρεία WASP σε συνεργασία με το γραφείο Mario Cucinella Architects κατασκεύασαν το έργο Tecla. Το οικολογικό σπίτι Tecla κατασκευάστηκε σε 200 ώρες και χρησιμοποιήθηκαν 60 m³ ακατέργαστης γης, στη Ραβένα της Ιταλίας. Το μείγμα άψητης γης ανταποκρίνεται στις τοπικές κλιματικές συνθήκες, ενώ ο σχεδιασμός του περιβλήματος του κτιρίου είναι παραμετρικά βελτιστοποιημένος, ώστε να εξισορροπηθεί η θερμική μάζα, η μόνωση και ο αερισμός του. Το πρώτο χωριό, που αποτελείται από εκτυπωμένα κτίρια, δημιουργήθηκε στο Μεξικό (πόλη Nacajuca) από τον οργανισμό New Story, ο οποίος συνεργάστηκε με την κατασκευαστική εταιρεία Echale και την Icon. Τα κτίρια είναι επιφάνειας

9, 10, 11, 12.
Η οικολογική κατοικία "Tecla" κατασκευάστηκε από την εταιρεία WASP σε συνεργασία με το γραφείο Mario Cucinella Architects στη Ραβένα της Ιταλίας. Για την ολοκλήρωσή της χρειάστηκαν μόλις 200 ώρες και χρησιμοποιήθηκαν 60 m³ ακατέργαστης γης. ©Iago Corazza.



13



14

13.
Το προκατασκευασμένο φρεάτιο από εκτυπωμένο σκυρόδεμα της εταιρείας XtreeE τοποθετήθηκε σε υπόγειο δίκτυο πολυσύχναστου δρόμου της πόλης Λιλ της Γαλλίας για αντιπλημμυρικούς λόγους. ©XtreeE.

14.
Μεταλλική πεζογέφυρα τρισδιάστατης εκτύπωσης, μήκους 12 m, σχεδιασμένη από τον Joris Laarman και κατασκευασμένη από την εταιρεία MX3D στο Άμστερνταμ. ©Adriaan de Groot.

15.
Κατασκευή τοιχωμάτων κτιρίου με τρισδιάστατη εκτύπωση. ©PERI.



15



16



17



18

47 m² και διαθέτουν δύο υπνοδωμάτια, κουζίνα και μπάνιο. Τα κτίρια είναι υψηλής αντοχής και άντεξαν σεισμό 7,4 της κλίμακας Ρίχτερ.

Επίσης η εταιρεία Icon συνεργάζεται με το γραφείο BIG του Bjarke Ingels και τη NASA για τη δημιουργία του Mars Dune Alpha, μιας τρισδιάστατης εκτυπωμένης δομής, που έχει σχεδιαστεί για να βοηθήσει τους ανθρώπους να προετοιμαστούν για να ζήσουν σύμφωνα με την αναμενόμενη εμπειρία ζωής στον Άρη.

Επίσης, τρισδιάστατα εκτυπωμένα σπίτια αρχίζουν να κατοικούνται στην Ολλανδία. Από τον Απρίλιο 2021 στο Αϊντχόβεν της Ολλανδίας οι ένοικοι παρέλαβαν τα κλειδιά τους για το πρώτο εκτυπωμένο σπίτι από σκυρόδεμα, στο πλαίσιο του έργου "Milestone Project". Το μονώροφο κτίριο έχει επιφάνεια 94 m² και περιλαμβάνει σαλόνι και δύο υπνοδωμάτια, ενώ σχεδιάστηκε να θυμίζει τη μορφή ενός μεγάλου βράχου, ώστε να ταιριάζει με τη φυσική τοποθεσία.

Κατασκευή γέφυρας

Το 2021 εγκαινιάστηκε μεταλλική πεζογέφυρα μήκους 12 m σχεδιασμένη από τον Joris Laarman και κατασκευασμένη από την εταιρεία MX3D. Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής της

MX3D χρησιμοποιεί ρομπότ συγκόλλησης μετάλλου σε στρώματα. Η MX3D ξεκίνησε αυτό το έργο το 2015.

Κατασκευή συνδέσμων

Οι μεταλλικοί σύνδεσμοι έχουν σημαίνοντα ρόλο στις κατασκευές. Η χρήση τυποποιημένων μεταλλικών συνδέσμων οδηγεί στο σχεδιασμό περιορισμένων μορφών, οπότε η δημιουργία μεταλλικών στοιχείων με μοναδική γεωμετρία, που απελευθερώνει το σχεδιασμό, έχει ιδιαίτερη σημασία. Στο παρελθόν τα περισσότερα μεταλλικά τμήματα κατασκευάζονταν σε καλούπια από άμμο. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση οι περιορισμοί σχετικά με το σχήμα εξαλείφονται και δίνονται περισσότερες δυνατότητες για την κατασκευή μοναδικών στοιχείων.

Συμπεράσματα

Η τεχνολογία ψηφιακού σχεδιασμού και κατασκευής, καθώς και η βιομηχανική ρομποτική μέσω της ενσωμάτωσης σύγχρονου λογισμικού και νέων μειγμάτων υλικών προσφέρουν δυνατότητες δημιουργικού πειραματισμού με διαδικασίες μετασχηματισμού υλικών, που δεν θα μπορούσαν

16. Η MX3D παράγαγε ένα δομικό σύνδεσμο από χάλυβα για την εταιρεία TAKENAKA.

17. Η εταιρεία Arup έχει δημιουργήσει πρωτότυπους τρισδιάστατους συνδέσμους από χάλυβα για τη δημιουργία πιο ξεχωριστών κατασκευών. ©David de Jong.

18. Η εταιρεία WinSun χρησιμοποίησε ένα μεγάλο εκτυπωτή 150 m μήκους και 6 m ύψους για την κατασκευή ενός πενταώροφου κτιρίου κατοικιών στα προάστια της πόλης Σουτσού, στην Κίνα.



19

να επιτευχθούν στο παρελθόν. Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ένας νέος δυναμικός κλάδος της κατασκευής με ευρύ ορίζοντα δημιουργικών αποτελεσμάτων. Η επίτευξη δημιουργίας νέων μορφών, που θα ήταν αδύνατο να κατασκευαστούν στο παρελθόν, αλλά και η μείωση του απαιτούμενου χρόνου και του κόστους είναι σημαντικά στοιχεία της τρισδιάστατης εκτύπωσης για κατασκευές μικρής ή μεγάλης κλίμακας. Θέματα προς διερεύνηση είναι η βελτίωση της αντοχής των υλικών της εκτύπωσης, η μείωση του χρόνου στερεοποίησης, καθώς και η πιστοποιημένη εκτέλεση των εργασιών εκτύπωσης, στοιχείο πολύ σημαντικό σε έργα που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο. Δεδομένου όμως του γεγονότος ότι το ερευνητικό της πεδίο αναπτύσσεται δυναμικά και δεδομένου ότι είναι μια τεχνοοικονομικά συμφέρουσα λύση, που απελευθερώνει τις δημιουργικές δυνατότητες, προβλέπεται ότι θα διατυπωθούν οι προδιαγραφές και θα εισαχθούν οι αναγκαίες συνθήκες, ώστε να βρει αμέσως ευρεία εφαρμογή.

Η δημοσίευση έγινε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου: ADDOPTML project: "ADDitively Manufactured OPTimized Structures by means of Machine Learning" (No: 101007595) περιλαμβάνεται στις δράσεις του Marie Skłodowska - Curie Actions (MSCA) Research and Innovation Staff Exchange (RISE) H2020-MSCA-RISE-2020.

19.
Μεταφορά
μιας τρισδιάστατης
εκτυπωμένης
μονάδας.
©Mighty Buildings.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Lipson H. K., Kurman M., **Fabricated: The new world of 3D printing**, John Wiley & Sons, Καναδάς, 2013.
- **Scopus Database**, διαθέσιμο στο Διαδίκτυο: <https://www.scopus.com/> (πρόσβαση 15 Δεκεμβρίου 2021).
- Michel J.B., Shen Y.K., Aiden A.P., Veres A., Gray M.K., Pickett J.P., Hoiberg D., Clancy D., Norvig P., Orwant J., Pinker S., Nowak M., Lieberman Aiden E., **Quantitative analysis of culture using millions of digitized books**, Science 2011, 331, 176-182 doi: 10.1126/science.1199644.
- Sargentis G.-F., Frangedaki E., Chiotinis M., Koutsoyiannis D., Camarinopoulos S., Camarinopoulos A., Lagaros N.D., **3D scanning / printing: A technological stride in sculpture**, Technologies 2022, 10, 9. <https://doi.org/10.3390/technologies10010009>.
- **Mx3d**, διαθέσιμο στο Διαδίκτυο: <https://mx3d.com/>.
- Kostakis V. P., (2013), **Commons-based peer production and digital fabrication: The case of a reapp-based, lego-built 3D printing-milling machine**, Telematics and Informatics, Elsevier.
- Gardiner J. B., **Exploring the emerging design territory of construction 3D printing**, διδακτορική διατριβή, Σχολή Αρχιτεκτόνων, MIT University 2011 DOI: 10.13140/RG.2.2.11676.28807.
- G. Kazakis, I. Kanellopoulos, S. Sotiropoulos, N. D. Lagaros, **Topology optimization aided structural design: interpretation, computational aspects and 3D printing**, Heliyon, volume 3, issue 10, e00431, 2017.
- Stott R., **Chinese company constructs the world's tallest 3D printed building**, 26 Ιανουαρίου 2015, Archdaily, διαθέσιμο στο Διαδίκτυο: <https://www.archdaily.com/591331/chinese-company-creates-the-world-s-tallest-3d-printed-building>.
- Crook L., **BIG and ICON to 3D-print structure exploring "new martian vernacular" for NASA**, Dezeen, διαθέσιμο στο Διαδίκτυο: <https://www.dezeen.com/2021/08/10/big-icon-3d-print-mars-dune-alpha-nasa>.
- Souza E., **The future is now: 3D printed houses start to be inhabited in the Netherlands**, 11 Μαΐου 2021, ArchDaily, διαθέσιμο στο Διαδίκτυο: <https://www.archdaily.com/961135/the-future-is-now-3d-printed-houses-start-to-be-inhabited-in-the-netherlands>.
- Joris Laarman, διαθέσιμο στο Διαδίκτυο: <https://www.dezeen.com/tag/joris-laarman>.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ
& ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΑΡΘΡΑ

στην ιστοσελίδα www.ktirio.gr