

Εναλλακτικές Μουσειακές Εκθέσεις και Χώροι Δημιουργίας με Βάση τη Ρομποτική Προσθετική Κατασκευή

ΙΩΑΝΝΑ ΛΕΟΝΤΗ

Υποψήφια Διδάκτορας

Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΟΥΛΙΑΝΙΤΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Περίληψη

Οι μετασχηματιστικές τεχνολογίες αποτελούν σημαντικό κομμάτι της ιστορίας και του πολιτισμού, καθορίζοντας τον τρόπο ζωής της εποχής εφαρμογής τους. Οι τεχνολογίες της προσθετικής κατασκευής, ή τρισδιάστατης εκτύπωσης, αναπτύσσονται με ραγδαίους ρυθμούς, συνεισφέροντας στην βελτίωση της σχεδίασης και της παραγωγικής δραστηριότητας και αλλάζοντας τα γεωπολιτικά, οικονομικά, κοινωνικά, δημογραφικά και περιβαλλοντικά δεδομένα παγκοσμίως. Όσον αφορά τον πολιτισμό, εκτός από την εξέλιξη στην ανακατασκευή και τη διατήρηση αντικειμένων, την έρευνα, την τεκμηρίωση και την εκπαίδευση μεμονωμένα, η τρισδιάστατη εκτύπωση συμβάλει στην ανάδειξη της πολιτισμικής κληρονομιάς με προσιτό και ολοκληρωμένο τρόπο. Με την επανένταξη της αφής, και συνεπώς, την αλλαγή της πολιτισμικής εμπειρίας, αλλάζει η έννοια του μουσείου. Μέσω της διάδρασης του επισκέπτη με τα εκθέματα, η πολιτιστική κληρονομιά καθίσταται περισσότερο προσιτή και προσβάσιμη, ειδικά για άτομα με μαθησιακές δυσκολίες, παιδιά, ηλικιωμένους και τυφλούς ή άτομα με προβλήματα όρασης.

Στην παρούσα μελέτη, παρουσιάζονται οι δυνατότητες της τρισδιάστατης εκτύπωσης με χρήση ρομποτικού βραχίονα, η συμβολή της προσθετικής κατασκευής στην πολιτιστική κληρονομιά και διάφορες εφαρμογές της σε χώρους πολιτισμού, ενώ παράλληλα εξετάζεται η έννοια ενός σύγχρονου μοντέλου μουσείου. Ορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο η τρισδιάστατη εκτύπωση αναδεικνύει την αλληλεπίδραση και τη δημιουργία, μελετάται η ιδέα επιμέλειας εναλλακτικών μουσειακών εκθέσεων, όπου ο επισκέπτης μπορεί να έρθει σε επαφή με τα εκθέματα, καθώς και να ανακαλύψει τα «παρασκήνια» της έκθεσης, συμμετέχοντας σε εργαστήρια σε χώρους δημιουργίας που συνοδεύουν τις εκθέσεις. Σύμφωνα με έρευνες και ήδη εφαρμοσμένες εναλλακτικές εκθέσεις και χώρους δημιουργίας, προτείνονται θέματα προς μελλοντική μελέτη, καθώς μία νέα μορφή μουσείου προϋποθέτει και τον (επανα)προσδιορισμό των εννοιών και των ρόλων. Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για τη ρομποτική προσθετική κατασκευή και τα μουσεία στην πολιτιστική κληρονομιά.

Λέξεις – κλειδιά

Τρισδιάστατη εκτύπωση, ρομποτικοί βραχίονες, μουσειακές εκθέσεις, χώροι δημιουργίας

1. Εισαγωγή

Υπάρχει μία επανάσταση στην ερμηνεία και την αλληλεπίδραση με την πολιτιστική κληρονομιά μέσω των εφαρμογών προσθετικής κατασκευής. Αυτή η μελέτη επικεντρώνεται στον τρόπο που η εμφάνιση ενός τρισδιάστατου οικοσυστήματος παραγωγής που είναι ευρέως προσβάσιμο, καθιστά τις τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής ιδιαίτερα και άμεσα ενδιαφέρουσες για τους χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς και τα μουσεία. Με αυτές τις τεχνολογίες παρουσιάζονται πολλές ευκαιρίες που είναι κατάλληλες για εξερεύνηση σε κάθε είδους μουσεία και για διάφορες πρακτικές, από τη συντήρηση αντικειμένων έως την εκπαίδευση και από την πρόσβαση σε συλλογές έως τον προγραμματισμό εκθέσεων.

Η διαθεσιμότητα διαφορετικών μέσων και τεχνολογιών επιτρέπει τη διαμόρφωση νέων εμπειριών, γνωρίζοντας ένα οικείο τόπο ή αντικείμενο με έναν εναλλακτικό τρόπο. Ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός εκθέσεων και η επανεξέταση της κατεύθυνσης από την οποία ο επισκέπτης προσεγγίζει ένα έκθεμα σχετίζονται, επηρεάζουν και επηρεάζονται από την πρακτική της ερμηνείας της κληρονομιάς. Δίνεται η δυνατότητα υποστήριξης έργων που μπορούν να συμβάλλουν σε μία μουσειακή εμπειρία που θα επιτρέψει στον επισκέπτη την εκμάθηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και θα ενθαρρύνει ένα ευρύτερο φάσμα ανθρώπων να έρθουν σε επαφή με τον πολιτισμό.

Για την πλήρη κατανόηση των δυνατοτήτων των τρισδιάστατων τεχνολογιών είναι σημαντικό να αναφερθεί και η τοποθέτησή του ως υποσύνολο των ευρύτερων αρχών και βάσεων του *maker movement*, σύμφωνα με τις οποίες δίνεται η ευκαιρία ανάπτυξης μίας εμπειρίας στο μουσείο με κοινό που συμμετέχει ενεργά και αλληλεπιδρά με τα αντικείμενα των εκθέσεων μέσω της κατασκευής. Μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης τονίζεται η απτική φύση της κατασκευής και δημιουργείται ένα διαφορετικό είδος σχέσης μεταξύ του επισκέπτη, του πρωτότυπου αντικειμένου της συλλογής και του παραγόμενου αντίγραφου. Πέρα από την αρχική καινοτομία, με τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενα ενισχύεται η αίσθηση της αφής που προκαλεί με τη σειρά της την αίσθηση της δημιουργίας, της ιδιοκτησίας και της εξατομίκευσης του μουσείου (Neely & Langer, 2013).

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, αφού παρουσιασθούν οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής και οι διευρυμένες δυνατότητές τους όταν συνδυάζονται με ρομποτικά συστήματα, αναφέρονται οι τρόποι που συμβάλλουν στην πολιτιστική κληρονομιά μαζί με μία ανάλυση της σημαντικότητάς τους. Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποια παραδείγματα διάδρασης και δημιουργίας σε χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς που έχουν λάβει χώρα μέσω τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής, είτε συμπεριλαμβανόμενες σε μουσειακές εκθέσεις είτε σε χώρους δημιουργίας σχετικούς με τα πολιτιστικά δρώμενα. Με αυτόν τον τρόπο, φαίνεται και η αξία που προσδίδεται στο σύγχρονο μουσείο με τον συνδυασμό τεχνολογικών εφαρμογών, ο οποίος οδηγεί στην εύκολη πρόσβαση για όλους, στην ώθηση του κοινού για συμμετοχή, και συνεπώς στην αναβάθμιση των χώρων πολιτισμού. Τέλος, η μελέτη αυτή ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα και τις προτάσεις για τη ρομποτική προσθετική κατασκευή και τους χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς.

2. Τεχνολογίες Προσθετικής Κατασκευής και Ρομποτικοί Βραχίονες

Η τρισδιάστατη εκτύπωση, γνωστή και ως προσθετική κατασκευή ή ταχεία προτυποποίηση, χρησιμοποιείται εδώ και αρκετές δεκαετίες. Ο πρώτος τρισδιάστατος εκτυπωτής δημιουργήθηκε το 1984 από τον Charles W. Hull, αλλά λόγω της ακριβής τεχνολογίας του δεν ήταν εφικτό να εισαχθεί στην αγορά. Πλέον, η εξέλιξη της επιστήμης κινεί όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον των ειδικών αλλά και του ευρέος κοινού γύρω από τις τεχνολογίες της

τριδιάστατης εκτύπωσης, οι οποίες έχουν ενταχθεί εδώ και χρόνια στη βιομηχανία και εξελίσσονται συνεχώς.

Οι τεχνολογίες τριδιάστατης εκτύπωσης προέρχονται από την προσθετική κατασκευή μέσω διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού για τη δημιουργία τριδιάστατων δομών απευθείας από το ψηφιακό τριδιάστατο σχέδιο. Συμβατικά θερμοπλαστικά, κεραμικά, μεταλλικά και υλικά με βάση το γραφένιο μπορούν πλέον να εκτυπωθούν με τη χρήση των τεχνολογιών τριδιάστατης εκτύπωσης. Βασιζόμενες σε διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας, έχουν αναπτυχθεί διάφορες κατηγορίες τεχνολογιών τριδιάστατης εκτύπωσης, όπως η εκτόξευση συνδετικού υλικού, η κατευθυνόμενη εναπόθεση ενέργειας, η εξώθηση υλικού, η εκτόξευση υλικού, η σύντηξη σε στρώμα σκόνης, η πλαστικοποίηση φύλλων και ο φωτοπολυμερισμός (Shahrubudin, et al., 2019). Τα τελευταία χρόνια, αρκετές εταιρίες στον κόσμο έχουν ενσωματώσει τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής στην παραγωγή τους και έχουν αρχίσει να επωφελούνται ήδη από τα οφέλη αυτής της επένδυσης, καθιστώντας έτσι την προσθετική κατασκευή ως μία από τις πλέον ενδιαφέρουσες εξελίξεις στη σχεδίαση και το μάρκετινγκ.

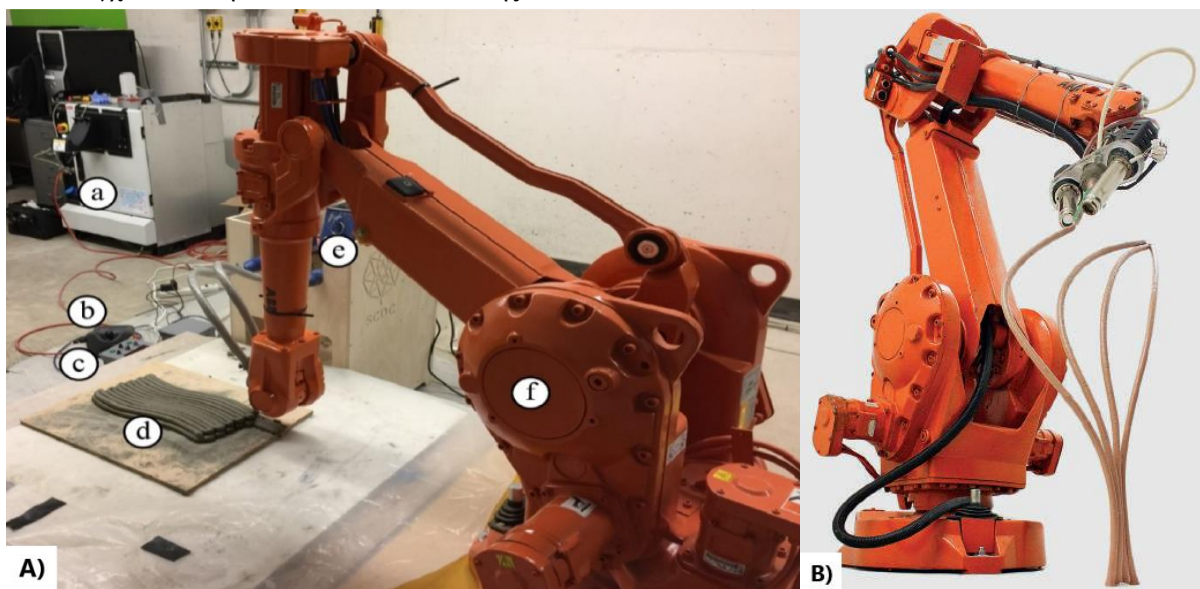
Ως μία από τις πιο γρήγορα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες, η προσθετική κατασκευή, εκμεταλλευόμενη επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις, έχει οδηγήσει σε μία αύξηση των δυνατοτήτων που προσφέρει, με αποτέλεσμα να αυξηθεί και η πρακτικότητά της και να μειωθούν τα σχετιζόμενα με αυτή κόστη. Παρ' όλ' αυτά, για να ξεπεραστούν τα αναδυόμενα θεμέλια της τεχνολογίας, είναι απαραίτητη η καινοτομία στη συνολικότερη απόδοση της τριδιάστατης εκτύπωσης, ώστε να διαιωνιστεί η τεχνολογική πρόοδος στην κατασκευή. Με αυτό το σκοπό, οι εκτυπωτές είναι απαραίτητο να γίνουν γρηγορότεροι, αυτόνομοι, ευκολότεροι στη χρήση και πιο αξιόπιστοι. Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά με δυνατότητες βελτίωσης είναι η ταχύτητα εκτύπωσης και η αυτονομία, τα οποία με τη σειρά τους θα επηρεάσουν και το κενό στην ταξινόμηση των τριδιάστατων εκτυπωτών σε υψηλών δυνατοτήτων με υψηλή τιμή ή βασικών δυνατοτήτων σε χαμηλότερη τιμή. Η ταχύτητα εκτύπωσης μπορεί να βελτιωθεί με την χρήση καλύτερης ποιότητας εξαρτημάτων και με τη βελτιστοποίηση των σχεδίων και της κίνησης των λείζερ, ενώ σημαντικό ρόλο αποκτούν χαρακτηριστικά όπως μεγαλύτερα ακροφύσια για ταχύτερη εναπόθεση, κοπτικά λείζερ υψηλής ταχύτητας με μεγαλύτερες περιοχές εργασίας, πρόσθεση πολλαπλών κεφαλών εκτύπωσης και κινητήρες υψηλής ταχύτητας για την επιτάχυνση των κεφαλών του εκτυπωτή.

Εκτός από τα παραπάνω, διαπιστώνεται πως υπάρχουν ακόμα κάποιοι περιορισμοί στην ανάπτυξη της προσθετικής κατασκευής που αφορούν κυρίως το μέγεθος, το χρόνο και το κόστος της κατασκευής. Με λίγα λόγια, με έναν τριδιάστατο εκτυπωτή κατασκευάζονται αντικείμενα μικρότερα του μεγέθους του εκτυπωτή, ενώ στην περίπτωση που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μεγάλος εκτυπωτής, τα αντικείμενα προς εκτύπωση κατασκευάζονται σε τμήματα και έπειτα πραγματοποιείται η σύνδεση των μερών αυτών για τη διαμόρφωση του ολοκληρωμένου αντικειμένου. Όσον αφορά το χρόνο κατασκευής, η τριδιάστατη εκτύπωση είναι σχετικά αργή. Συνήθως, χρησιμοποιείται για μαζική προσαρμοσμένη κατασκευή, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας προϊόντων υψηλής προσαρμογής σε περιορισμένο απόθεμα, σε αντίθεση με τους μηχανισμούς της παραδοσιακής μαζικής παραγωγής, οι οποίοι ανταποκρίνονται στη ζήτηση μεγάλης ποσότητας προϊόντων σε πολύ μικρούς χρόνους. Παράλληλα, το κόστος του εξοπλισμού και των υλικών των τριδιάστατων εκτυπωτών τους καθιστούν πιο απρόσιτους, γεγονός που ωθεί τις επιχειρήσεις που συνδέονται με την προσθετική κατασκευή στην εύρεση νέων τρόπων και συνεργασιών με σκοπό τη μείωση του (Attaran, 2017).

Οι περιορισμοί, λοιπόν, που έχουν προκύψει στην προσθετική κατασκευή με τριδιάστατους εκτυπωτές έχει οδηγήσει σε έρευνες γύρω από καινούριες στρατηγικές. Παρατηρώντας την κατασκευαστική φύση της τριδιάστατης εκτύπωσης με την εναπόθεση στρώσεων σε τρεις

άξονες και τον περιορισμένο χώρο εργασίας σύμφωνα με αυτή τη λειτουργία, πραγματοποιήθηκαν έρευνες κατά τις οποίες εισάγονται περισσότεροι βαθμοί ελευθερίας στην εκτύπωση με τη χρήση ρομποτικών συστημάτων. Με αυτό τον τρόπο, είναι δυνατή η αλλαγή κατεύθυνσης της εναπόθεσης του υλικού κατά τη διαδικασία κατασκευής, η δημιουργία καμπύλων επιφανειών και προεξοχών χωρίς την εκτύπωση δομών υποστήριξης. Ένα παράδειγμα συστήματος ρομποτικής προσθετικής κατασκευής φαίνεται στην Εικόνα 1, όπου διακρίνονται αρκετά μέρη ενός συστήματος (Urhal, et al., 2019), καθώς και η ελευθερία κατασκευής του (Laarman, et al., 2014). Επιπλέον, σε αντίθεση με τα περισσότερα εμπορικά μηχανήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης, ένα σύστημα προσθετικής κατασκευής ρομποτικού βραχίονα, περιορίζοντας το μέγεθος των εξαρτημάτων, μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε και να εκτελέσει εκτυπώσεις με μεγάλο χώρο εργασίας. Τα ρομποτικά συστήματα, παρόλο που αποδίδουν μειωμένα επίπεδα ακρίβειας σε σύγκριση με τους κοινούς τρισδιάστατους εκτυπωτές, είναι ιδανικά για τη δημιουργία μεγάλων αντικειμένων ή εξαρτημάτων και δίνουν τη δυνατότητα του συνδυασμού πολλαπλών εργασιών στον ίδιο χώρο εργασίας.

Εικόνα 1. Α) Σύστημα Προσθετικής Κατασκευής: (a) ελεγκτής του ρομποτικού βραχίονα (b) συσκευή εκμάθησης (c) μονάδα Arduino (d) εξωθημένο στοιχείο (e) αντλίες σκυροδέματος (f) ρομποτικός βραχίονας. Β) Επιφάνειες και αντικείμενα μπορούν να σχηματιστούν από το συνδυασμό τρισδιάστατων καμπύλων αντί διαδοχικών δισδιάστατων στρωμάτων, επιτρέποντας μεγαλύτερο έλεγχο κατά τη διαδικασία κατασκευής



Πηγή: A) Urhal, P., Weightman, A., Diver, C., & Bartolo, P. (2019). Robot assisted additive manufacturing: A review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 59, 335-345. B) Laarman, J., Jokic, S., Novikov, P., Fraguada, L. E., & Markopoulou, A. (2014). Anti-gravity additive manufacturing. *Fabricate 2014: Negotiating design & making*, 191-197.

Η χρήση ρομποτικών συστημάτων σε συνδυασμό με τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής προσφέρει τη δυνατότητα τρισδιάστατης εκτύπωσης σε πολλαπλούς άξονες και την κατασκευή σύνθετων γεωμετριών σε διαφορετικά περιβάλλοντα κατασκευής. Εκτός από τα οφέλη και τα μειονεκτήματα των συμβατικών εφαρμογών προσθετικής κατασκευής, αξίζει να αναφερθεί πως μέθοδοι σε πολλαπλούς άξονες κατευθυνόμενες από ρομποτικά συστήματα, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως για εφαρμογές συγκόλλησης ή επιλογής και τοποθέτησης, αποφέρουν καλύτερη ποιότητα και συνέπεια, μέγιστη παραγωγικότητα, μεγαλύτερη ασφάλεια και μειωμένο κόστος εργασίας. Δηλαδή, η ευέλικτη λειτουργικότητα των ρομποτικών συστημάτων εξυπηρετεί τις δυναμικές απαιτήσεις της κατασκευής (Urhal, et al., 2019).

Όπως έχει αναφερθεί [(Attaran, 2017), (Campbell, et al., 2011)], η προσθετική κατασκευή είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη μείωση της πολυπλοκότητας των εφοδιαστικών αλυσίδων με διάφορες προσεγγίσεις. Μέσω των εφαρμογών της προσθετικής κατασκευής μπορούν να εξαλειφθούν ο χρόνος και το κόστος αποστολής ανταλλακτικών με τη δημιουργία των απαραίτητων εξαρτημάτων στιγμιαία σε ψηφιακό εργοστάσιο κοντά στις εγκαταστάσεις παραγωγής, καθώς η τεχνολογία καθιστά δυνατή την εκτύπωση αντικειμένων σε οποιαδήποτε τοποθεσία από τοπικούς διανομείς και παρόχους υπηρεσιών. Επομένως, η διανομή αγαθών δεν αποτελεί περιορισμό και η αποστολή και δημιουργία αποθεμάτων δεν είναι απαραίτητη, με αποτέλεσμα να μικραίνει και η εφοδιαστική αλυσίδα. Η τρισδιάστατη εκτύπωση, σε συνδυασμό με την ψηφιακή μεταφορά των προς εκτύπωση σχεδίων, θα μπορούσε να μειώσει σταδιακά την ανάγκη για logistics, οδηγώντας έτσι και στην αποκέντρωση της παραγωγής. Με τον ψηφιακό διαμοιρασμό ενός τρισδιάστατου σχεδίου, ο καταναλωτής μπορεί να εκτυπώσει τα δικά του εξαρτήματα για την επισκευή των ήδη αγορασμένων προϊόντων του ή να σχεδιάσει και να προσαρμόσει στις ανάγκες του αγαθά χωρίς την αναμονή του χρόνου παράδοσης. Με άλλα λόγια, οι καταναλωτές μετατρέπονται σε μικρο-κατασκευαστές, ενώ η εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης συνεισφέρει σε μία μετάβαση από τη μαζική παραγωγή στη μαζική εξατομικευση ή προσαρμογή στον χρήστη με χαμηλό κόστος. Συγχρόνως, οι επιχειρήσεις έτσι ενισχύουν τις υπηρεσίες που παρέχουν μετά την πώληση των προϊόντων, μπορούν να κάνουν πολλές και επαναλαμβανόμενες δοκιμές με ελάχιστο επιπλέον κόστος, να μειώσουν το κόστος υλικοτεχνικής υποστήριξης, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς και το χρόνο από την παραγωγή στην πώληση (Attaran, 2017).

3. Η Τρισδιάστατη Εκτύπωση στην Πολιτιστική Κληρονομιά και τα Μουσεία

Οι ψηφιακές τεχνολογίες είναι σε θέση να προσφέρουν ουσιαστική συμβολή στην τεκμηρίωση, την ανάλυση και στη μεταγενέστερη χρήση των πολιτιστικών στοιχείων, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές μορφές και με ποικίλους σκοπούς, όπως για μελέτη και έρευνα, διάγνωση, επισκευή, συντήρηση, προστασία, επικοινωνία, διαμόρφωση και ολοκλήρωση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Τα τελευταία χρόνια, η χρήση ηλεκτρονικών και πληροφοριακών τεχνολογιών έχει αυξηθεί εκθετικά, οδηγώντας σε νέες τάσεις και δυνατότητες στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς. Αυτή η εξέλιξη των μέσων και των μεθόδων συνδυασμένη με τη διάδοση των εργαλείων, συμβάλλει στη διεξαγωγή διάφορων ερευνών, οι οποίες με τη σειρά τους προβάλλουν την ανέλιξη τεχνολογιών και τα πεδία εφαρμογής τους. Όσον αφορά την πολιτιστική κληρονομιά, δύο κυρίαρχες τεχνολογίες με εύρος πεδίων εφαρμογής είναι η τρισδιάστατη σάρωση και εκτύπωση. Με την τρισδιάστατη σάρωση είναι δυνατή η παρατήρηση πολύπλοκων γεωμετριών που είναι αδύνατο να αναλυθούν με τις παραδοσιακές μεθόδους, ενώ με την τρισδιάστατη εκτύπωση επιτυγχάνεται η ταχεία παραγωγή υλικών αντιγράφων αντικειμένων με πολύπλοκες γεωμετρικές απευθείας από το μαθηματικό μοντέλο σε σχετικά σύντομα χρονικά διαστήματα και συχνά χωρίς μεγάλο κόστος.

Έτσι, τα ψηφιακά και ύστερα υλικά μοντέλα εισάγουν νέες δυνατότητες πρόσβασης, καταγραφής και μελέτης των πολιτιστικών στοιχείων και αποτελούν τη βάση τόσο για την οπτικοποίηση, όσο και για τη μετρική ανάλυση οποιουδήποτε αντικειμένου, από καλλιτεχνική αλλά και ιστορική πλευρά. Τα μουσεία επωφελούνται από αυτές τις δυνατότητες και, ενσωματώνοντας την προσθετική κατασκευή στις εκθέσεις και τις συλλογές τους, διαμορφώνουν και την πρόσβαση στις πληροφορίες που διαμοιράζουν ανάλογα με το κοινό και το περιεχόμενο τους. Τα αντίγραφα αντικειμένων συνεισφέρουν σε διάφορα πεδία όπως στη μελέτη και την έρευνα, τις εναλλακτικές μουσειακές εκθέσεις, όπως περιηγήσεις στο μουσείο για τυφλούς και άτομα με προβλήματα όρασης, την αποκατάσταση τμημάτων αντικειμένων,

την οργάνωση εργαστηρίων για σχολεία ή τα εμπορεύματα του μουσείου, δηλαδή ακριβή αντίγραφα μικρής κλίμακας έργων τέχνης των εκθέσεων (Balletti, et al., 2017).

Η πιο σημαντική συνεισφορά της προσθετικής κατασκευής στην πολιτιστική κληρονομιά είναι η βελτίωση της εμπειρίας του κοινού-χρήστη και η πιο έντονη και εξατομικευμένη προσφορά περιεχομένου, που έχουν επίδραση σε ολόκληρο τον τομέα του πολιτισμού με κύριο χαρακτηριστικό τη δημιουργία αντιγράφων με τα οποία ο επισκέπτης μπορεί να έχει φυσική αλληλεπίδραση. Επομένως, με αυτή την προσθήκη στην εμπειρία του επισκέπτη, τόσο τα αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς, όσο και το νόημά τους, γίνονται περισσότερο προσβάσιμα εμπλουτίζοντας νέες μορφές κοινής και συμμετοχικής δημιουργικότητας. Μέσα από νέες μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης και προηγμένης ρομποτικής, παράγονται ευέλικτα αντικείμενα που ευνοούν την εξατομικευση και αυξάνουν τη γνώση και την αντίληψη γύρω από ένα έργο τέχνης, προσφέροντας νέες ευκαιρίες αναπαραγωγής αντιγράφων, και νέες γλώσσες, για να βοηθήσουν το κοινό να κατανοήσει τα έργα που είναι συνήθως απρόσιτα για λόγους υλικοτεχνικής υποστήριξης και ασφάλειας (Formati & Scognamiglio, 2020).

Για αυτό το λόγο, ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στις απτικές αισθήσεις, που ενισχύουν τη γνώση μέσω μίας πολυαισθητηριακής εμπειρίας με τρισδιάστατα αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς, γεγονός που τα μουσεία, ως διαμεσολαβητές της γνώσης, δεν μπορούν να μην λαμβάνουν υπόψη. Έτσι, η παραγωγή των αντιγράφων απαιτεί την ικανοποίηση παραγόντων όπως ο ρεαλισμός και η αληθοφάνεια του αναπαραγόμενου αντικειμένου, που πρέπει να έχει υφή, βάρος, συνεπή εμφάνιση με το πρωτότυπο, καθώς και διατήρηση του σχήματος, η οποία εκφράζεται με όρους ακρίβειας και ορθότητας του εκτυπωμένου μοντέλου. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η εύρεση μίας μορφής μοντελοποίησης, η οποία επιτρέπει την καλύτερη μίμηση του πραγματικού αντικειμένου. Σε αυτό το πλαίσιο, αναλύονται αντικείμενα διαφορετικής μορφής και κλίμακας, προκειμένου να επιτευχθεί ακρίβεια στην εκτύπωση, και στη συνέχεια επιβεβαίωση της διαδικασίας που οδηγεί στο σχηματισμό του ψηφιακού μοντέλου. (Ballarin, et al., 2018).

Η όσο το δυνατόν καλύτερη αναπαράσταση των χαρακτηριστικών των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς στα αντίγραφα τους μέσω της προσθετικής κατασκευής σε συνδυασμό με τις πολυαισθητηριακές εμπειρίες που μπορούν να προσφέρουν, οδηγεί σε μία ολιστική εκτίμηση των παραγόμενων αντικειμένων και ενίσχυση της έννοιας της προσβασιμότητας στους χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς. Σχετικά πρόσφατες προσεγγίσεις στη θεωρία της τέχνης (Grau, 2007), προβάλλουν το ενδιαφέρον που επικρατεί γύρω από την αφή και τις φυσικές πτυχές των έργων τέχνης, ενώ η καλλιτεχνική εκπαίδευση υποστηρίζει την «υλική στροφή» με τις πρακτικές διαδραστικότητας, αισθητηριακών εμπειριών και πρακτικής μάθησης στο πλαίσιο του μουσείου. Παράλληλα, παρατηρείται πως η μόνη περίοδος που η αφή, ως μέσο αλληλεπίδρασης με τα εκθέματα, είχε εγκαταλειφθεί είναι οι αρχές του 19^{ου} αιώνα, όταν η όραση αποτελούσε τη μόνη κατάλληλη αίσθηση εκτίμησης της τέχνης.

Πέραν του ότι το κοινό προτιμά να έρχεται σε επαφή με τα εκθέματα μέσω της αφής, ένα μέρος του έχει την ανάγκη να χρησιμοποιήσει όλες του τις αισθήσεις έτσι ώστε να αντιληφθεί την τέχνη και την πολιτιστική κληρονομιά. Σε αυτό το κοινό συμπεριλαμβάνονται κυρίως τα άτομα με μαθησιακές δυσκολίες, τα παιδιά, τυφλοί ή άτομα με προβλήματα όρασης. Παρ' όλ' αυτά, υπάρχουν και αντικείμενα, πολύ μεγάλα ή μικρά, πολύ εύθραυστα ή που προσφέρουν πολύ λίγες απτικές πληροφορίες, τα οποία δεν μπορούν να γίνουν εύκολα κατανοητά με το άγγιγμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, πρόσθετες πληροφορίες, όπως διαγράμματα αφής ή ηχητικές περιγραφές, μπορούν να βοηθήσουν στη μετάφραση του περιεχομένου πινάκων, φωτογραφιών, προσόψεων κτιρίων, αρχαιολογικών χώρων, εικόνων από μικροσκόπιο, και ακόμα και το «ειδικό κοινό» να μπορεί να απολαύσει αυτά τα έργα πολιτισμού. Σε αυτό το σημείο, οι εφαρμογές της προσθετικής κατασκευής μπορούν να εφαρμοστούν και να επανενταχθεί η αφή και οι μη αμφιβληστροειδικές αισθήσεις στις πολιτιστικές εμπειρίες. Με αυτό το σκοπό, οι

ερευνητές της πολιτιστικής κληρονομιάς μελετούν αυτές τις εφαρμογές, γνωρίζοντας πως οι πολυαισθητηριακές εμπειρίες ενισχύουν την πλήρη κατανόηση και πως αγγίζοντας ένα αντικείμενο μπορεί κανείς να το αντιληφθεί συνολικά και να το θυμάται καλύτερα (Neumüller, et al., 2014).

Τα μουσεία, ως χώροι που παρέχουν μάθηση, κοινωνική αλληλεπίδραση και πολιτισμικές συζητήσεις, κατέχουν ένα σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της ευημερίας. Γι' αυτό και το θέμα της προσβασιμότητάς τους είναι σημαντικό, καθώς η ελευθερία να επισκεφτεί κανείς ένα μουσείο οποιαδήποτε στιγμή είναι κρίσιμης σημασίας και η νοοτροπία της «πρόσβασης για όλους» επηρεάζει την πολιτιστική αξία των επισκέψεων στα μουσεία όλων των επισκεπτών ανεξαρτήτως των σωματικών, αισθητηριακών ή πνευματικών ικανοτήτων τους. Βέβαια, εδώ τίθεται το ζήτημα των ειδικών αναγκών ως μειονοτικό ζήτημα που βασίζεται στον τρόπο που η κοινωνία κατανοεί την αναπηρία και της προσπάθειας αναδιαμόρφωσης της αναπηρίας, στο πλαίσιο των ανθρώπινων δικαιωμάτων, για μια αλλαγή στον ορισμό του «φυσιολογικού» σε «διαφορετικό», ώστε να συμπεριλάβει διαφορές στα φυσικά, γνωστικά ή αισθητηριακά χαρακτηριστικά που δεν εμπίπτουν στην κοινώς αποδεκτή ιδέα για το ποιος είναι φυσιολογικός.

Μέσω της μουσειακής εμπειρίας προστίθεται αξία όχι μόνο στο πολιτιστικό τοπίο, αλλά και στο κοινωνικό σύνολο, γεγονός που επιτυγχάνεται διασφαλίζοντας την ακεραιότητα του μουσείου. Με τον επαναπροσδιορισμό των ικανοτήτων από τα μουσεία, μέσω της δημιουργίας πολυαισθητηριακών εμπειριών που μπορεί ο επισκέπτης να μοιραστεί και να βιώσει με τον δικό του τρόπο, βελτιώνεται η μακροπρόθεσμη μνήμη και ο αντίκτυπος της επίσκεψης στο μουσείο. Η παροχή πληροφοριών με πολυαισθητήρια μέσα παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκμάθηση σημασιολογικών πληροφοριών και γεγονότων, καθώς και στη διαμόρφωση αυτοβιογραφικής μνήμης. Αυτός είναι και ο λόγος που ερευνητές έχουν αναγνωρίσει τη μακροπρόθεσμη μνήμη ως μέσο αξιολόγησης μίας επίσκεψης σε μουσείο (Eardley, et al., 2016).

4. Διάδραση και Δημιουργία στο Σύγχρονο Μουσείο

Το νόημα της διαδραστικής τέχνης είναι άμεσα συνδεδεμένο με την αφή. Η ιδέα της «απτικής οπτικοποίησης» συνεπάγεται τη μεταφορά των ιδιοτήτων της αφής στη σφαίρα της όρασης και αντιμετωπίζει το θέμα της φύσης της αφής έμμεσα, μέσω μίας σωματικής λειτουργίας που περιλαμβάνει τα μάτια και τον εγκέφαλο, χωρίς τα χέρια να είναι μέρος της, αλλά φανταστική προβολή. Μέσω της αφής, εκτός από τη μεμονωμένη επαφή δέρματος και αντικειμένου, πραγματοποιείται η αλληλεπίδραση των αισθήσεων, γεγονός στο οποίο βασίζεται η διαδραστική τέχνη, η οποία συχνά ενσωματώνει όχι μόνο την όραση και την αφή, αλλά και τον ήχο.

Αν και συνήθως θεωρείται δευτερεύουσας σημασίας φαινόμενο, η ιδέα της τέχνης που επιτρέπει την αφή είχε ήδη εμφανιστεί ως ιστορική πρωτοπορία στην αρχή του 20^{ου} αιώνα, ενώ οι συζητήσεις για την επαφή με τα εκθέματα είχαν ξεκινήσει πολύ προηγουμένως. Τα μουσεία και τα εκθεσιακά κέντρα σχεδιάστηκαν ως «ναοί της ομορφιάς και του μεγαλείου», γι' αυτό και οι τρόποι συμπεριφοράς απέναντι στα εκθέματα ήταν πολύ λεπτοί, παρόλο που σε περιπτώσεις, κυρίως συνυφασμένες με τη θρησκεία, η επαφή με ένα άγαλμα ή μία εικόνα αποτελούσε μέρος των παραδόσεων. Ωστόσο, τα αντικείμενα του πολιτισμού είναι άξια θαυμασμού για την ανώτερη δεξιότητα τους, η οποία καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας, τονίζει την ποιότητα του υλικού τους. Έτσι, η απαγόρευση της επαφής συνδέθηκε με την ιδιοκτησία και η πολιτιστική αξία των εκθεμάτων αντικαταστάθηκε με την ανταλλακτική αξία τους.

Σταδιακά, επήλθε ο εκδημοκρατισμός του μουσείου, που βασίστηκε στην ιδεολογία της εκπαίδευσης της μάζας, ενώ πλέον είναι πιθανή και η σύγκρισή του με πολυκατάστημα. Θεωρώντας την τέχνη ως κοινωνική δύναμη επήλθε και η ανανέωση του σύγχρονου πολιτισμού με πολυαισθητηριακές και συναισθητικές στρατηγικές. Σε αυτό το σημείο, προβάλλεται και ο προβληματισμός του τι σημαίνει τέχνη που γίνεται αισθητή με την αφή, ποια μέσα χρησιμοποιούνται και ποια είναι η αλληλεπίδραση με το κοινό. Συνήθως, συνδέεται με τα άτομα με προβλήματα όρασης, όπου η αίσθηση της αφής λειτουργεί ως υποκατάστατο της ελλιπούς όρασης. Προσπερνώντας την αποκλειστική σύνδεση της εκτίμησης της τέχνης μέσω της αφής με τα άτομα με προβλήματα όρασης, προκύπτει η διαδραστική τέχνη, η οποία απαιτεί την ενέργεια του κοινού-χρήστη για να λειτουργήσει και να οδηγήσει σε ένα διάλογο μεταξύ επισκεπτών και εκθεμάτων (Huhtamo, 2007).

Τα τελευταία χρόνια, στο πλαίσιο του καθολικού σχεδιασμού και του ορισμού της αναπηρίας ή των μειωμένων δυνατοτήτων ως μία μεταβλητή σχετική με τα συμφοραζόμενα, η οποία αλλάζει με την πάροδο του χρόνου και ανάλογα με τις παραστάσεις βάσει της διασύνδεσης του ατόμου με τα φυσικά, επικοινωνιακά, πληροφοριακά, κοινωνικά και πολιτικά περιβάλλοντα, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές εκθέσεις στον κόσμο, όπου με τα διαθέσιμα πολυμέσα και συνδυασμούς πολυαισθητηριακών επιλογών, αλλάζουν την συνηθισμένη εμπειρία του επισκέπτη στο μουσείο. Βέβαια, το Μουσείο του Λούβρου ήταν ένα από τα πρώτα μουσεία που εγκαινίασε μία έκθεση αφής ανοιχτή προς όλους με μία βασική συλλογή αντιγράφων δημοφιλών εκθεμάτων, η οποία στη συνέχεια συμπληρωνόταν με προσωρινές εκθέσεις αφής, ενώ συχνά συνεργάζεται με ιδρύματα και χώρους δημιουργίας για την πραγματοποίηση απτικών αναπαραστάσεων που παρουσιάζονται δοκιμαστικά σε ομάδες ατόμων για τη διεκπεραίωση ερευνών (Fletcher, 2013).

Όσον αφορά τις τρισδιάστατα εκτυπωμένες αναπαραστάσεις, αξίζει να αναφερθεί η έρευνα που έγινε στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, κατά την οποία πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση των τρισδιάστατα εκτυπωμένων αντιγράφων με δυνατότητα αφής ως μόνιμο μέρος του εκθεσιακού χώρου. Με αφορμή των ήδη διαμορφωμένων παροχών πολυαισθητηριακών εμπειριών, που προσφέρει το μουσείο, που ενθαρρύνουν τους επισκέπτες να αλληλεπιδρούν άμεσα με τα εκθέματα, πραγματοποιήθηκε η ερευνητική αξιολόγηση μέσω σύντομων συνεντεύξεων σε συνδυασμό με ανάλυση περιεχομένου, επικοινωνώντας απευθείας με τους επισκέπτες του μουσείου εντός του εκθεσιακού χώρου, προκειμένου να αξιολογηθούν οι απόψεις σχετικά με την εισαγωγή τρισδιάστατα εκτυπωμένων αντιγράφων στο μουσείο. Δημιουργήθηκαν πέντε αντίγραφα με διαφορετική μέθοδο τρισδιάστατης εκτύπωσης, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία συνεντεύξεων που είχαν τη μορφή εργαστηρίου, στην οποία έλαβαν μέρος επισκέπτες μεγάλου εύρους ηλικιών.

Η ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν στο τέλος αυτής της αξιολόγησης έδειξαν πως οι επισκέπτες θεωρούν πως η επαφή με τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντίγραφα μπορεί να ενισχύσει τη μουσειακή τους εμπειρία και πως θα πρέπει να υπάρχει σε περισσότερα μουσεία. Συγχρόνως, ενώ η πλειοψηφία συμφωνεί πως αυτή η προσέγγιση θα ήταν ενθαρρυντική για την επίσκεψη περισσότερων μουσείων, σχεδόν το ένα τρίτο των δήλωσε πως δεν θα προκαλούσε κάποια αλλαγή στις συνήθειες επίσκεψης μουσείων. Η μάθηση, η ευχαρίστηση και η καλύτερη εκτίμηση των εκθεμάτων, παράλληλα με τη διατήρηση του πρωτότυπου και την ικανότητα αλληλεπίδρασης με τα αντικείμενα του μουσείου είναι οι πιο δημοφιλείς λόγοι που αναφέρονται από τους επισκέπτες που επιθυμούν να δουν περισσότερα από τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντίγραφα. Βέβαια, παρουσιάστηκε η ανάγκη για παροχή περισσότερων πληροφοριών σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση, το βασικό τρόπο λειτουργίας της, τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της, τις γνώσεις που αφορούν την αυθεντικότητά της και τους τρόπους παρουσίασης, που πρέπει να ερευνηθεί περαιτέρω και να αντιμετωπιστεί σωστά πριν από την ευρεία εφαρμογή της (Wilson, et al., 2017).

Παρόλο που σε χώρες του εξωτερικού οι χώροι τέχνης και πολιτισμού έχουν ενσωματώσει σε μεγαλύτερο βαθμό εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης, υπάρχουν στην Ελλάδα χώροι πολιτισμού που έχουν φιλοξενήσει τα τελευταία χρόνια εκθέσεις σχετικές με την τρισδιάστατη εκτύπωση είτε στο πλαίσιο προσωρινών εκθέσεων είτε ως μόνιμες συλλογές. Για παράδειγμα, στη Στέγη Γραμμάτων και Τεχνών είχε πραγματοποιηθεί η έκθεση 3D Printing, όπου εκτέθηκαν δημιουργίες από τομείς της επιστήμης, της αρχιτεκτονικής, της μόδας, του design και της τέχνης με σκοπό την εξοικείωση των επισκεπτών με την τρισδιάστατη εκτύπωση και τα έργα που δημιουργούνται μέσω αυτής (www.elculture.gr). Από την άλλη, μέσω του προγράμματος RE3CAP (Research, Recovery, Revival of Classic Attic Pottery – Ανάλυση, Ανάκτηση, Αναβίωση της Κλασικής Αττικής Κεραμικής), ερευνητές σάρωσαν αντικείμενα από το Μουσείο Μπενάκη, το Αρχαιολογικό Μουσείο Πάφου και το Αρχαιολογικό Μουσείο Κυθήρων και μετά προχώρησαν στην εκτύπωση αντιγράφων τους σε πλαστικό, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως μοντέλα για την κατασκευή χειροποίητων κεραμικών τεχνολογικά πιστών αντιγράφων. Έτσι, με αφετηρία αυτό το πρόγραμμα, το Μουσείο Κυθήρων είναι το πρώτο στην Ελλάδα που διαθέτει μια απτική συλλογή (www.tovima.gr).

Εικόνα 2. RVR CHAIR – Studio Dirk Vander Kooji



Πηγή: <https://www.elculture.gr/blog/article/3d-printing-sti-stegi-grammatwn-kai-texnwn/>

Η πρόσβαση στις λειτουργίες της τρισδιάστατης σάρωσης, του σχεδιασμού, του χειρισμού, της εκτύπωσης και της κοινής χρήσης επιτρέπει στο κοινό να ασχοληθεί με τις συλλογές του μουσείου απτά και δημιουργικά. Αυτές οι συμμετοχικές ενέργειες αυξάνουν τον χρόνο αλληλεπίδρασης με το αντικείμενο ή την ψηφιακή εκδοχή του και εμβαθύνουν τη συναισθηματική σχέση των επισκεπτών με το αντικείμενο, επιτρέποντάς τους να το θεωρούν δικό τους. Έτσι, οι χώροι δημιουργίας που ενσωματώνονται σε μουσεία μπορούν να θεωρηθούν και ως άτυποι χώροι μάθησης, οι οποίοι ενθαρρύνουν τους επισκέπτες να εμβαθύνουν περισσότερο στις πολιτιστικές γνώσεις που σχετίζονται με τα αντικείμενα που συνάντησαν κατά την επίσκεψή τους στο μουσείο. Με αυτό το σκοπό, ερευνητές και εκπαιδευτικοί απαιτείται να αναπτύξουν εκπαιδευτικά περιβάλλοντα που υποστηρίζουν την παρότρυνση και τη συνεργασία, και συγκεκριμένα για την ψηφιακή κατασκευή, τη διερεύνηση του δυναμικού των εμπειριών τρισδιάστατης εκτύπωσης για τη διευκόλυνση συμμετοχικών διαδικασιών

μάθησης για την ταυτόχρονη προώθηση του ψηφιακού και πολιτιστικού περιεχομένου και την αποτελεσματικότητα της σχεδίασης τρισδιάστατων αναπαραστάσεων των εκθεμάτων για χρήση σε διάφορα πλαίσια μουσειακής εκμάθησης.

Βάσει αυτών των παραδοχών, έχουν δοκιμαστεί χώροι δημιουργίας σε μουσεία, όπως το Bata Shoe Museum στο Τορόντο, στο οποίο, σε συνεργασία με ερευνητές από το Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου του Τορόντο, πραγματοποιήθηκε μία έρευνα μελέτης παιδιών που μαθαίνουν να εκτυπώνουν τρισδιάστατα στο χώρο του μουσείου και παρέχει πληροφορίες για τη βελτίωση παρόμοιων μελλοντικών προγραμμάτων. Η ερευνητική ομάδα δημιούργησε ένα εργαστήριο τρισδιάστατης εκτύπωσης στο μουσείο, το οποίο περιλάμβανε επιδείξεις, στις οποίες τα παιδιά και οι γονείς τους μπορούσαν να αγγίξουν και να αλληλεπιδράσουν με ποικίλες τρισδιάστατα εκτυπωμένες αναπαραστάσεις και στη συνέχεια να λάβουν μέρος στις διαδικασίες ψηφιακής κατασκευής και τρισδιάστατης εκτύπωσης, συμπεριλαμβανόμενης και της επισκόπησης του λογισμικού τρισδιάστατου σχεδιασμού και τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής που ενδέχεται να είναι κατάλληλες για μουσεία. Αυτή η σύντομη μελέτη απέδειξε πως η τρισδιάστατη εκτύπωση, όταν χρησιμοποιείται σε έναν εργαστηριακό χώρο δημιουργίας σε συνδυασμό με ειδικά μουσειακά παιδαγωγικά εργαλεία, μπορεί να υποστηρίξει ένα γόνιμο μαθησιακό περιβάλλον που επιτρέπει στους μαθητές να συνδέσουν τις ιστορικές τεχνολογίες με τις σύγχρονες, και έτσι, να συνδεθούν περισσότερο με το μουσείο και να κατανοήσουν καλύτερα ακόμα και περίπλοκα θέματα που σχετίζονται με το περιεχόμενο του μουσείου και τα εκθέματά του (Turner, et al., 2017).

Ένα ακόμα παράδειγμα δημιουργικού χώρου μέσα σε μουσείο παρουσιάστηκε στο Ιατρικό Μουσείο της Κοπεγχάγης, όπου ερευνητές έστησαν ένα μικρό εργαστήριο βιολογίας με σκοπό τη διασταύρωση με δύο σημαντικές τάσεις στο σύγχρονο μουσείο, το αίτημα να γίνουν τα μουσεία πιο ανοιχτά στους εκάστοτε ενδιαφερόμενους μέσω της συνεργασίας και το ενδιαφέρον για την επίδειξη της επιστήμης που βρίσκεται σε εξέλιξη. Και οι δύο αυτές τάσεις συνδέονται με έναν γενικό εκδημοκρατισμό δομών, όπως μουσεία, ιδρύματα και πανεπιστήμια, την ενθάρρυνση των χώρων πολιτισμού να συνεργαστούν με τους επισκέπτες έτσι ώστε να γίνονται πολιτιστικοί συμμετέχοντες και όχι παθητικό κοινό, και την αντιμετώπιση της πρόκλησης συλλογικής παραγωγής ενός φυσικού μουσειακού χώρου αντί την απλή εκπροσώπηση διαφορετικών απόψεων. Δημιουργείται και προτείνεται, λοιπόν, η συγκρότηση χώρων δημιουργίας ή εργαστηρίων, όπου οι άνθρωποι μπορούν να συναντηθούν και να εργαστούν από κοινού σε έργα, για παράδειγμα από την κατασκευή ρομπότ ή την ανάπτυξη λογισμικού έως τη χρήση τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής (Davies, et al., 2015).

5. Συμπεράσματα και Προτάσεις για τη Ρομποτική Προσθετική Κατασκευή στους Χώρους Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Μετά την αναφορά των τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής, των χαρακτηριστικών, των ιδιοτήτων τους και την συνεισφορά τους στην πολιτιστική κληρονομιά είναι εύκολο να γίνει κατανοητό πως η εμφάνιση ενός τρισδιάστατου οικοσυστήματος παραγωγής που μπορεί να είναι ευρέως προσβάσιμο και εύκολο στη χρήση, καθιστά τις τεχνολογίες αυτές και τις εφαρμογές τους ιδιαίτερα και άμεσα ενδιαφέρουσες. Σε τομείς όπως η διατήρηση, η εκπαίδευση, η πρόσβαση σε συλλογές, ο προγραμματισμός των εκθέσεων, ωριμάζουν ευκαιρίες για διερεύνηση σε μουσεία όλων των ειδών. Συνολικά, η παρουσίαση τρισδιάστατα εκτυπωμένων αντικειμένων στο κοινό των μουσείων παραμένει σε σχετικά αρχικά στάδια, αλλά έρευνες έχουν επισημάνει τα κύρια σημεία που αξίζει να μελετηθούν από τους επαγγελματίες των μουσείων σε συνεργασία με της εκάστοτε περίπτωσης κατεύθυνσης ειδικούς. Με την πάροδο του χρόνου, όταν αποκτηθεί και μεγαλύτερη κατανόηση της προτίμησης των επισκεπτών, τα απτά τρισδιάστατα αντίγραφα και η διάδραση των επισκεπτών

σε χώρους δημιουργίας είναι πιθανό να γίνουν ανεκτίμητος πόρος για τις εκθέσεις και την προβολή των μουσείων.

Ο σχεδιασμός με τη βοήθεια ρομποτικών τεχνολογιών και προσθετικής κατασκευής συνεπάγεται και την έμφαση που δίνεται στην ενίσχυση των αισθητηριακών ικανοτήτων κατά τη διάρκεια της επίσκεψης στους χώρους πολιτισμικής κληρονομιάς. Συνεπώς, ο χρήστης γίνεται ο πρωταγωνιστής ενός νέου είδους επισκέψεων που αναδιαμορφώνει τη σχέση του με το έργο τέχνης. Το επικοινωνιακό στοιχείο εξελίσσεται σύμφωνα με το πλαίσιο αναφοράς, τη μεταβλητή χρόνου και τη γνώση. Άρα, η καλή σχέση μεταξύ μουσείου και επισκεπτών βασίζεται στην ενεργοποίηση μίας πολυαισθητηριακής διαδικασίας. Αποσκοπώντας σε μία ολοκληρωμένη μουσειακή εμπειρία απαιτείται ο επαναπροσδιορισμός των τρόπων αλληλεπίδρασης των επισκεπτών με τα εκθέματα και η εξέλιξη των μέσων που ενισχύουν το νόημά τους.

Μέσω θεσμικών και ιδρυματικών ενεργειών, σε συνδυασμό με πορίσματα από ερευνητικές αξιολογήσεις του κοινού των μουσείων, τα εκθέματα μπορούν να γίνουν διαθέσιμα σε όλους με την πρόσβαση στο διαδίκτυο και τις παροχές της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Η δυνατότητα μεταφοράς αντικειμένων σε κατάλληλη κλίμακα, η βελτίωση των απτικών χαρακτηριστικών τους και η μετάφραση μη απτικών χαρακτηριστικών για ευκολότερη αντίληψη, μπορεί να εμπλουτίσει τη μουσειακή εμπειρία πέρα από τα φυσικά πρωτότυπα αντικείμενα. Βάσει της φιλοσοφίας του καθολικού σχεδιασμού, όλοι οι επισκέπτες επωφελούνται από αυτές τις βελτιώσεις, και κυρίως τα άτομα που δεν μπορούσαν να εκτιμήσουν τα αυθεντικά αντικείμενα, όπως τυφλοί ή άτομα με προβλήματα όρασης, άτομα με μαθησιακές δυσκολίες, παιδιά και ηλικιωμένοι.

Ωστόσο, υπάρχει η ανάγκη για καθορισμό προτύπων για τη δημιουργία πολυαισθητήριων τρισδιάστατων αντικειμένων που θα εγγυώνται τη βέλτιστη μεταφορά πληροφοριών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη διερεύνηση των δυνατοτήτων των εφαρμογών της προσθετικής κατασκευής στην πολιτιστική κληρονομιά, τη δοκιμή τους και την κωδικοποίησή τους. Όσον αφορά την τεχνολογία, με την συνεχόμενη ανάπτυξη των μεθόδων σάρωσης και αναπαραγωγής, την προσαρμογή περισσότερων υλικών στη διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης και το συνδυασμό της προσθετικής κατασκευής με τους ρομποτικούς βραχίονες, αναμένεται πως θα αυξηθούν οι δυνατότητες εφαρμογής και συνεισφοράς της προσθετικής κατασκευής στην πολιτιστική κληρονομιά.

Ευχαριστίες

Η έρευνα αυτή υποστηρίχθηκε οικονομικά από την Πρωτοβουλία «Περιφερειακή Αριστεία», στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία» (ΕΠΑνΕΚ), το οποίο συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (MIS 5047046).

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677-688.
- Ballarin, M., Balletti, C., & Vernier, P. (2018). REPLICAS IN CULTURAL HERITAGE: 3D PRINTING AND THE MUSEUM EXPERIENCE. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(2).
- Balletti, C., Ballarin, M., & Guerra, F. (2017). 3D printing: State of the art and future perspectives. *Journal of Cultural Heritage*, 26, 172-182.
- Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011). *Could 3D printing change the world. Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council, Washington, DC, 3.
- Davies, S. R., Tybjerg, K., Whiteley, L., & Söderqvist, T. (2015). Co-Curation as Hacking: Biohackers in Copenhagen's Medical Museion. *Curator: The Museum Journal*, 58(1), 117-131.
- Eardley, A. F., Mineiro, C., Neves, J., & Ride, P. (2016). Redefining Access: Embracing multimodality, memorability and shared experience in Museums. *Curator: The Museum Journal*, 59(3), 263-286.
- Fletcher, V. (2013). Museums around the world that enliven our souls: Inclusion through rich experience. *Curator: The Museum Journal*, 56(3), 297-305.
- Formati, F., & Scognamiglio, C. (2020, November). Design of robotic and additive manufacturing for cultural heritage. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 949, No. 1, p. 012042). IOP Publishing.
- Grau, O., 2007. *MediaArtHistories: Media Art Histories: Mediaart Histories*. MIT Press.
- Huhtamo, E. (2007). *Twin–Touch–Test–Redux: Media Archaeological Approach to Art, Interactivity, and Tactility*. MediaArtHistories. Mit Press.
- Laarman, J., Jokic, S., Novikov, P., Fraguada, L. E., & Markopoulou, A. (2014). Anti-gravity additive manufacturing. *Fabricate 2014: Negotiating design & making*, 191-197.
- Neely, L., & Langer, M. (2013, April). Please feel the museum: The emergence of 3D printing and scanning. In *Museums and the Web* (Vol. 1, p. 2). Silver Springs, MD: Museums and the Web.
- Neumüller, M., Reichinger, A., Rist, F., & Kern, C. (2014). 3D printing for cultural heritage: Preservation, accessibility, research and education. In *3D Research Challenges in Cultural Heritage* (pp. 119-134). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286-1296.
- Turner, H., Resch, G., Southwick, D., McEwen, R., Dubé, A. K., & Record, I. (2017). Using 3D printing to enhance understanding and engagement with young audiences: lessons from workshops in a museum. *Curator: The Museum Journal*, 60(3), 311-333.
- Urhal, P., Weightman, A., Diver, C., & Bartolo, P. (2019). Robot assisted additive manufacturing: A review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 59, 335-345.
- Wilson, P. F., Stott, J., Warnett, J. M., Attridge, A., Smith, M. P., & Williams, M. A. (2017). Evaluation of touchable 3D-printed replicas in museums. *Curator: The Museum Journal*, 60(4), 445-465.

Διαδικτυακές πηγές

<https://www.elculture.gr/blog/article/3d-printing-sti-stegi-grammatwn-kai-texnwn/>

<https://www.tovima.gr/2016/02/19/science/arxaia-keramika-apo-3d-printer/>