

## 3BUILD

### a) Αντικείμενο και Στόχοι του Έργου



Εικόνα 1: Ενδεικτικές εφαρμογές τρισδιάστατων εκτυπωτών κτηρίων – εργαστηριακές εφαρμογές (επάνω) και προτεινόμενες λύσεις (conceptual designs – κάτω)



Εικόνα 2: Φορητό ρομπότ ψεκασμού κονιαμάτων - ETH Zurich

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) αποτελεί επαναστατική τεχνολογία που αναμένεται να επιφέρει ριζοσπαστικές αλλαγές στις παραγωγικές βιομηχανίες. Από πλαστικά αντικείμενα, μεταλλικά μέρη αεροσκαφών, έως τρόφιμα και ανθρώπινα όργανα, η τρισδιάστατη εκτύπωση γνωρίζει αλματώδη ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες με συνεχώς επεκτεινόμενο πεδίο εφαρμογής. Στην βιομηχανία κατασκευής κτηρίων, η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να επιφέρει πρωτόγνωρες αλλαγές, καθώς συνδυάζει εξαιρετικά οφέλη. Ο υψηλός βαθμός ψηφιοποίησης και αυτοματοποίησης επιτρέπει:

- Ευελιξία σχεδιασμού: η κατασκευή πολύπλοκων δομών υψηλής καμπυλότητας γίνεται εφικτή.
- Ταχύτητα κατασκευής: Ο χρόνος κατασκευής μειώνεται τουλάχιστον στο ήμισυ, γεγονός που επιβεβαιώνεται από πιλοτικές και εμπορικές εφαρμογές.
- Μειωμένα απόβλητα. Σχεδόν εξαλείφεται η απόρριψη υλικών λόγω κακού σχεδιασμού ή αστοχίας, επιτρέποντας έτσι την βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της κατασκευής.
- Βελτιωμένα εργατικά κόστη. Η ταχύτητα κατασκευής με 3D printing θα επιτρέπει την απασχόληση του προσωπικού σε μεγαλύτερο αριθμό έργων.

Η παρούσα τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ανέγερσης κτηρίων κυρίως σε εργαστηριακό επίπεδο ή σε κτήρια μικρών διαστάσεων υπό προστατευμένες συνθήκες, χρησιμοποιώντας σταθερές (gantry type) ή αρθρωτές (articulated systems) βάσεις, οι οποίες αντιμετωπίζουν τις εξής προκλήσεις:

1. Οι σταθερές βάσεις στις οποίες στηρίζονται (gantry type) απαιτούν χρονοβόρο εγκατάσταση, ενώ αποτελούνται από μεγάλα και ογκώδη κομμάτια τα οποία είναι δύσκολο να μεταφερθούν και να αποθηκευτούν (εικόνα 1). Στη περίπτωση όπου γίνεται χρήση φορητών συστημάτων (εικόνα 2), τίθεται σημαντικός περιορισμός ως προς τη σταθερότητα της μονάδας εκτύπωσης.
2. Η ύπαρξη σταθερών βάσεων τύπου gantry οδηγεί στην χρήση μηχανών τύπου γερανογέφυρας οι οποίες μπορεί να επιφέρουν περιορισμό στο ύψος κατασκευής ή πολύ μεγάλο κόστος που προκύπτει από τη χρήση επενεργητών όπως τηλεσκοπικούς υδραυλικούς κυλίνδρους και δευτερευόντων συστημάτων

3. Τα αρθρωτά συστήματα λειτουργούν ως πρόβολοι, γεγονός που σημαίνει ότι το κόστος τους αυξάνεται με την απαίτηση για στήριξη. Το κόστος μπορεί να αντισταθμιστεί μειώνοντας το όριο έκτασης, το οποίο επιφέρει επιπλοκές ή και ελάττωση στην δυνατότητα εκτύπωσης.

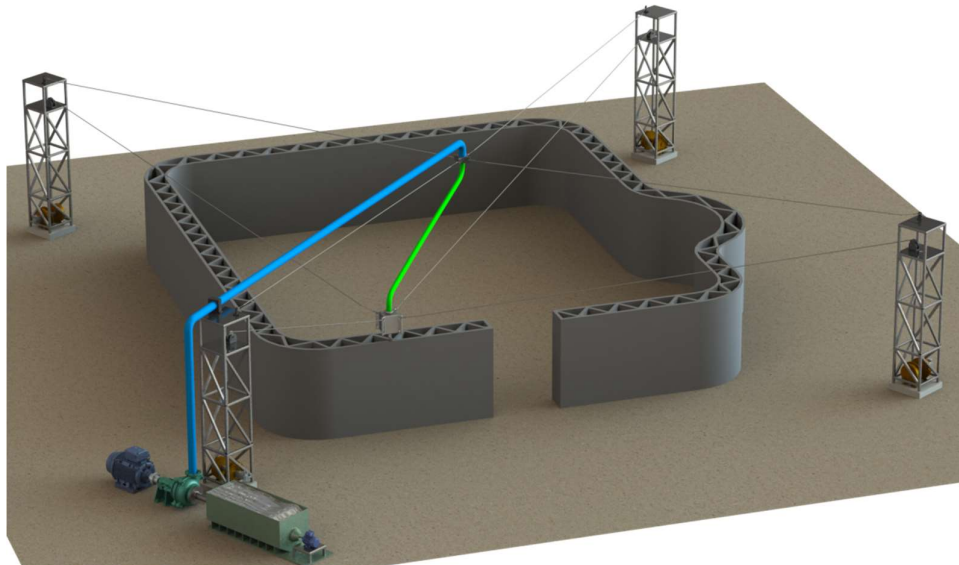
Γίνεται επομένως σαφές πως η υπάρχουσα τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης βρίσκεται ακόμα σε «εμβρυακό» στάδιο με μεγάλο περιθώριο βελτίωσης, ειδικά όσον αφορά την ικανότητα εκτύπωσης, τη σταθερότητα και την φορητότητα. Ο πρωταρχικός στόχος λοιπόν του εν λόγω έργου είναι να γίνει η ανάπτυξη ενός καινοτόμου συστήματος τρισδιάστατης εκτύπωσης με τους εξής βασικούς γνώμονες:

- 1) Δυνατότητα υλοποίησης του κτισίματος κτηρίων μεγάλου εύρους διαστάσεων (μεγάλοι χώροι εργασίας) και ποικιλομορφίας – όπως αυτή εκφράζεται από τις σύγχρονες τάσεις της αρχιτεκτονικής.
- 2) Περιορισμός του κόστους μέσω του καινοτόμου σχεδιασμού και την αποφυγή εξαρτήσεων σε δευτερεύοντα συστήματα. Σε υπάρχοντες εκτυπωτές, το ενεργό άκρο που εναποθέτει το κονίαμα είναι συνδεδεμένο με το κυρίως σώμα της διάταξης, γεγονός που επιφέρει αύξηση του κόστους αναλογικά με το μέγεθος της κατασκευής. Προτείνεται ο διαχωρισμός σε δύο θεμελιώδη μέρη (σύστημα στήριξης και κεφαλή εκτύπωσης) που θα εγκαθίστανται εύκολα και θα λειτουργούν εναρμονισμένα για μεγάλο εύρος διαστάσεων κατασκευής (Σχήμα 3).
- 3) Βελτιστοποίηση του κόστους, του χρόνου και της ακρίβειας εκτύπωσης του κτηρίου. Το κόστος του κτισίματος μπορεί να επηρεασθεί μέσω δύο βασικών παραγόντων: τον χρόνο κατασκευής και τις ανάγκες σε ανθρώπινο δυναμικό. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες μεγάλης κλίμακας απαιτούν είτε την ανάγκη υψηλής κατάρτισης χειριστή, είτε τον κατά συνθήκη προγραμματισμό του αυτοματοποιημένου συστήματος. Προτείνεται η αξιοποίηση των τεχνολογιών του Computer Aided Design (CAD) και Computer Aided Manufacturing (CAM), με βάση τον τρόπο λειτουργίας των σύγχρονων εργαλειομηχανών (CNC). Το σχέδιο του κτηρίου θα πραγματοποιείται με την χρήση εμπορικών λογισμικών τρισδιάστατης σχεδίασης (CAD) και παράλληλα το σύστημα θα ξεκινάει αυτόματα την κατασκευή του κτηρίου μέσω του CAM. Η αυτοματοποίηση αυτή θα οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση της ταχύτητας και της ακρίβειας κατασκευής, λόγω περιορισμού του ανθρώπινου παράγοντα.
- 4) Εύκολη συντήρηση, αποθήκευση, μεταφορά, τοποθέτηση της διάταξης. Οι συνήθεις διατάξεις είναι κυρίως μεγάλου μεγέθους, με σημαντικές απαιτήσεις για εγκατάσταση και μεταφορά. Οι μηχανές τύπου gantry απαιτούν πολλές εργασίες τοποθέτησης που περιλαμβάνουν την τοποθέτηση και κυρίως την ευθυγράμμιση ογκωδών τροχιών πάνω στις οποίες κινείται το σώμα της μηχανής. Προτείνεται η χρήση αναδιπλούμενων μέσων στήριξης της μηχανής ώστε να μπορούν να επιτευχθούν μικροί όγκοι στην συρρικνωμένη κατάσταση καθώς επίσης και η απουσία κινητών μερών.
- 5) Δυνατότητα χρήσης της διάταξης σε μεγάλη ποικιλία μετεωρολογικών και τοπογραφικών συνθηκών. Οι στόχοι αυτοί υποδεικνύονται από την ίδια την ελληνική πραγματικότητα των νησιών και των ορεινών περιοχών, όπου τόσο η προσέγγιση όσο και η τοποθέτηση τέτοιων συστημάτων μπορεί να αποδειχθεί δύσκολη έως και αδύνατη. Επίσης, η δυνατότητα χρήσης του συστήματος σε ποικίλες καιρικές συνθήκες θα εξετασθεί ώστε να προσδιορισθεί η καταλληλότητα χρήσης σε βροχή, ανέμους κλπ. Η προσαρμοστικότητα του συστήματος σε καιρικές συνθήκες είναι μείζονος σημασίας υπό την έννοια ότι το σύστημα πρέπει να διατηρεί την δυσκαμψία και την κινηματική του ακρίβεια ανεξαρτήτως συνθηκών εξασφαλίζοντας έτσι υψηλή ακρίβεια κατασκευής.
- 6) Επίτευξη υψηλής αντοχής και ικανοποίηση των προδιαγραφών αντισεισμικής ασφάλειας, ιδιαίτερα για τον Ελληνικό χώρο. Τα εκτυπωμένα δοκίμια θα υποβληθούν σε αξιολόγηση της στατικής αντοχής όσο και της δυναμικής τους συμπεριφοράς έναντι σεισμικών δονήσεων γνωστών χαρακτηριστικών. Το νέο δομικό υλικό θα σχεδιασθεί με σκοπό να έχει σταθερή δομική συμπεριφορά αντίστοιχη ή καλύτερη των συμβατικών σκυροδεμάτων.

#### **b) Μεθοδολογία Υλοποίησης του Έργου**

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η διάταξη που θα σχεδιασθεί, θα αποτελείται από δύο βασικά δομικά μέρη: το κυρίως σώμα της διάταξης και μια κεφαλή εκτύπωσης. Η συνολική προτεινόμενη διάταξη εικονίζεται στο Σχ. 3.

- 1) Το κυρίως σώμα της διάταξης αποτελείται από τέσσερις καθ' ύψος και είναι υπεύθυνο για την πρόσδοση της απαιτούμενης στιβαρότητας στο σύστημα ώστε να μπορεί να λειτουργεί ομαλά σε μεγάλη ποικιλία καιρικών συνθηκών διατηρώντας υψηλή ακρίβεια εκτύπωσης. Θα είναι υπεύθυνο για την επίτευξη της υψομετρικής θέσης της κεφαλής εκτύπωσης κατά την λογική των συστημάτων τρισδιάστατης εκτύπωσης σε στρώματα. Σε αντίθεση με τα συνήθη συστήματα, το ύψος του σώματος θα μεταβάλλεται συνεχώς με την πρόοδο της κατασκευής, επιτυγχάνοντας μεγάλο υψομετρικό εύρος κατασκευής.
- 2) Η κεφαλή εκτύπωσης θα είναι υπεύθυνη για την έγχυση του μίγματος του κονιάματος στο χώρο του κτισίματος. Η κεφαλή συνδέεται με το κυρίως σώμα του συστήματος μέσω ρομπότ καλωδίων (cable robot) το οποίο είναι υπεύθυνο για τις μετακινήσεις της κεφαλής στο υψομετρικό επίπεδο που βρίσκεται η κεφαλή (planar motion). Η ίδια η κεφαλή θα είναι υπεύθυνη για την επίτευξη των απαραίτητων περιστροφών ώστε να επιτύχει τον αναγκαίο προσανατολισμό ανάλογα με τις γεωμετρικές απαιτήσεις του κτηρίου προς κατασκευή.



Σχ. 3: Προτεινόμενη διάταξη εκτύπωσης κτηρίων

Αναδιπλούμενα δομικά στοιχεία (Deployable structures – tensegrity )



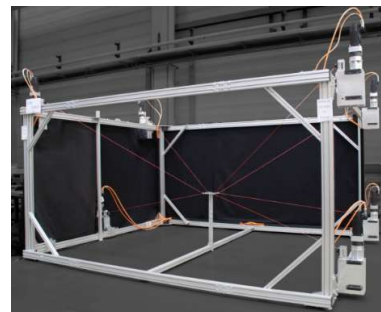
Σχ. 4: ADAM collapsible truss system



Σχ. 5: Brisbane Bridge, Australia – Tensegrity bridge

Οι αναδιπλούμενες διατάξεις και τα tensegrity (tensional integrity) αποτελούν διατάξεις οι οποίες έχουν την δυνατότητα μεταβάλλοντας το σχήμα τους να μεταβάλλουν δραματικά το μέγεθός τους. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε διαστημικές και δομικές εφαρμογές (Σχ. 4,5) και η λειτουργία τους στηρίζεται στον συνδυασμό άκαμπτων δομικών στοιχείων (ράβδοι, δικτυώματα) που υπόκεινται σε θλιπτικά κυρίως φορτία και εύκαμπτων φορέων (καλώδια, συρματόσχοινα) τα οποία είναι υπεύθυνα για την κινηματική σύζευξη των άκαμπτων στοιχείων και υπόκεινται σε εφελκυστικά φορτία. Τέτοιες διατάξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σχεδιασμό του κυρίως σώματος του τρισδιάστατου εκτυπωτή. Τα συστήματα αυτά μπορούν να μεταβάλλουν το ύψος τους και έτσι να επιτυγχάνουν την υψομετρική τοποθέτηση της κεφαλής εκτύπωσης ώστε να μπορεί να γίνεται η εναπόθεση των στρώσεων κονιάματος.

Ρομπότ καλωδίων (cable robots)



Σχ. 6: Ρομπότ καλωδίων δισδιάστατης μετακίνησης (αριστερά) και τρισδιάστατης (δεξιά)

Τα ρομπότ καλωδίων είναι συστήματα που χρησιμοποιούν εύκαμπτους φορείς (καλώδια, συρματόσχοινα κ.λ.π.) για την μετακίνηση αντικειμένων είτε σε δύο είτε σε τρεις διαστάσεις. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σε μεγάλες

βιομηχανικές αποθήκες (Σχ. 6) για μετακίνηση εμπορευμάτων ή ακόμα έλεγχο της κίνησης εργαλείων (συγκολλήσεις). Όπως έχει αποδειχθεί για τον έλεγχο N βαθμών ελευθερίας χρειάζονται κατ' ελάχιστον N+1 καλώδια. Η κεφαλή έγχυσης του κονιάματος (κεφαλή εκτύπωσης) θα ελέγχεται από καλώδια που θα κινούνται από βαρούλκα ελεγχόμενα από ζεύγη σερβο-κινητήρων -μειωτήρων ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ακρίβεια (1-2cm).

Στα πλαίσια της υλοποίησης του έργου, προτείνεται μετά το πέρας του σχεδιασμού, να γίνει υλοποίηση ενός τέτοιου εκτυπωτή υπό κλίμακα, ώστε να γίνουν τα απαραίτητα πειράματα σε εργαστηριακό επίπεδο για την απόδειξη της λειτουργικότητάς του. Ο σχεδιασμός του μικρού εκτυπωτή θα είναι τέτοιος ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα αναβάθμισή του και τα πειραματικά συμπεράσματα να μπορούν να επεκταθούν και για τον τελικό εκτυπωτή μεγάλου μεγέθους. Τα πειράματα περιλαμβάνουν την κατασκευή ενός κτηρίου μικρού μεγέθους – περίπου 80m<sup>2</sup> – όσο το μέσο μέγεθος ενός διαμερίσματος με ποικιλία γεωμετρικών χαρακτηριστικών (ύψη και πάχη τοίχων, καμπυλότητες κλπ.) ώστε να γίνει αξιολόγηση της απόδοσης της διάταξης. Μια άλλη παράμετρος που μπορεί να ελεγχθεί είναι η πιθανότητα να γίνεται η ανάμειξη των συστατικών των κονιαμάτων απευθείας στην κεφαλή του εκτυπωτή αμέσως πριν την έκχυση/ ψεκασμό του μείγματος, αντίθετα με τη συνήθη πρακτική που επιβάλλει την ανάμειξη αυτή να γίνεται πριν από την έναρξη της κατασκευής. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση μιας αντλίας κονιάματος μονού κοχλία στην κεφαλή εκτύπωσης. Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου καινοτόμου σχεδιασμού περιλαμβάνουν την ελαχιστοποίηση του απαραίτητου εξοπλισμού προετοιμασίας του μίγματος, καθώς επίσης και αύξηση της παραγωγικότητας και βελτιστοποίηση του χρόνου κατασκευής καθώς ο όγκος των ανενεργών μηχανικών συστημάτων και ανθρωπίνων πόρων ελαχιστοποιείται. Η προτεινόμενη τροποποίηση χρήζει μελέτης ώστε να εξετασθεί η δυνατότητα υλοποίησής της καθώς και να ερευνηθούν πλήρως τα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει. Στα πλαίσια του σχεδιασμού του συστήματος περιλαμβάνεται ο σχεδιασμός και ο καθορισμός του κονιάματος ως προς τη σύσταση και τις λειτουργικές του προδιαγραφές (ρεολογία, συνεκτικότητα, χρόνοι πήξης κλπ.), καθώς και η μελέτη, προσομοίωση και αποτίμηση της συμπεριφοράς μέσω πειραμάτων της στατικής και δυναμικής αντοχής έναντι σεισμικών καταπονήσεων των δομικών στοιχείων και της συνολικής εκτυπωμένης κατασκευής (κτηρίου). Επίσης, θα γίνει διερεύνηση της πιθανής διεθνούς αγοράς κατασκευαστικών υλικών κατάλληλων προς χρήση/αξιοποίηση τρισδιάστατης εκτύπωσης όπως καθώς και να αναδειχθεί ο στόχος ανάπτυξης πράσινων επιτελεστικών κατασκευαστικών υλικών (green functional construction materials) μέσω της αξιοποίησης παραπροϊόντων του τομέα της Κατασκευής

### c) Περιγραφή ενοτήτων εργασίας και παραδοτέων

A/A ΕΕ	<u>1</u>	Μήνας Έναρξης	T <sub>0</sub> +0	Μήνας Λήξης	T <sub>0</sub> +4
Τίτλος ΕΕ	ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΛΥΣΕΩΝ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ STATE OF THE ART				
Είδος Έρευνας					
Συντονιστής της ΕΕ	TITAN				
A/A Φορέα	01	02	03	04	
Συντομογραφία Φορέα	TITAN	SIKA	ΚΩΣ	ΕΜΠ	
Προϋπολογισμός	12000	2800	0	21170	
Ανθρ/μήνες	4	1	0	6	

**Στόχος: Καθορισμός προδιαγραφών σχεδιασμού των συστημάτων της τελικής διάταξης**

**Εργασίες:** Τα βασικά βήματα του 1<sup>ου</sup> πακέτου εργασίας περιλαμβάνουν:

- Έρευνα υπαρχουσών λύσεων με χρήση της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης στον κατασκευαστικό τομέα είτε σε βιομηχανικό είτε σε εργαστηριακό επίπεδο
- Αξιολόγηση των υπαρχουσών τεχνολογιών και λύσεων με κατασκευαστικές και δομικές παραμέτρους:
  - ο Συστήματα του κυρίως σώματος της διάταξης (λ.χ. gantry type, τηλεσκοπικοί υδραυλικοί κύλινδροι, ρομποτικές διατάξεις) – η μελέτη των υπαρχουσών διατάξεων γίνεται αναφορικά με τον όγκο και το βάρος της διάταξης, τους βαθμούς ελευθερίας που επιτυγχάνει, την στιβαρότητά της, την κινηματική της ακρίβεια κ.τ.λ.
  - ο Διαμόρφωση της κεφαλής εκτύπωσης
  - ο Σύσταση και ρεολογική συμπεριφορά κονιάματος, προσδιορισμός και εξαγωγή κρίσιμων παραμέτρων/ ιδιοτήτων αναφοράς (benchmarking properties) όπως εξώθηση/ extrudability, ρευστότητα/ flowability, δομησιμότητα/ buildability, χρόνος παράθυρου ευκαιρίας/ open time (όπου οι τιμές των παραπάνω ιδιοτήτων κινούνται σε αποδεκτά όρια εργασίας/ λειτουργίας), συγκολλησιμότητα στρώσης/ layer adhesiveness.
- Αξιολόγηση των υπαρχουσών τεχνολογιών και λύσεων με λειτουργικές παραμέτρους:

- Ταχύτητα εκτύπωσης κτηρίου (ανά μονάδα επιφάνειας)
- Μέγιστες διαστάσεις του προς κατασκευή κτηρίου
- Προσαρμοστικότητα στην γεωμορφολογία του εργοταξίου
- Ταχύτητα, κόστος και χρόνος εγκατάστασης της μηχανής στο χώρο κτισίματος
- Κόστος διάταξης

Στα πλαίσια της έρευνας της αγοράς, πρέπει να πραγματοποιηθεί και έρευνα πραγματοποιθέντων έργων ώστε να προκύψουν συμπεράσματα αναφορικά με τα παραγόμενα προϊόντα (κτήρια) και να τεθούν τα προσδοκώμενα αποτελέσματα με γνώμονα τις διάφορες παραμέτρους των κτηρίων που θα μπορούν να παραχθούν από την εν λόγω διάταξη. Στόχος της παραπάνω μελέτης είναι η αναγνώριση των μειονεκτημάτων κάθε τεχνολογίας και η πρόκριση των πιθανών λύσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να καταπολεμήσουν αυτά τα μειονεκτήματα.

#### Φάσεις:

Φ1.1 (T<sub>0</sub>+0, T<sub>0</sub>+1) Καθορισμός βασικών παραμέτρων αξιολόγησης υπαρχουσών λύσεων και εφαρμογών

Φ1.2 (T<sub>0</sub>+1, T<sub>0</sub>+4) Συνολική έρευνα εφαρμογής της τεχνολογίας και κατάρτιση πινάκων αξιολόγησης υπαρχουσών τεχνολογιών/ εφαρμογών με τα κριτήρια που έχουν τεθεί. Πρόκριση των τεχνολογιών που θα μελετηθούν/ χρησιμοποιηθούν στην προς σχεδιασμό διάταξη.

#### ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ (TITAN, SIKA, ΕΜΠ)

Π1.1 Αναφορά διερεύνησης υπαρχουσών τεχνολογιών και κατάρτιση πινάκων αξιολόγησης αυτών με βάση τα τεθέντα κριτήρια και επιλογή τεχνολογίας υλοποίησης (T<sub>0</sub>+04).

ΦΟΡΕΑΣ	Συνοπτική περιγραφή ρόλου φορέα					
ΕΜΠ	Αξιολόγηση υπαρχουσών τεχνολογιών					
SIKA	Μελέτη και αξιολόγηση τεχνολογίας κονιαμάτων σε υπάρχουσες εφαρμογές					
TITAN	Έρευνα αγοράς και κατάρτιση κριτηρίων αξιολόγησης – αναμενόμενων στόχων					
A/A ΕΕ	2	Μήνας Έναρξης	T <sub>0</sub> +2	Μήνας Λήξης	T <sub>0</sub> +18	
Τίτλος ΕΕ	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ					
Είδος Έρευνας	Έρευνα και ανάπτυξη					
Συντονιστής της ΕΕ	SIKA					
A/A Φορέα	01	02	03	04		
Συντομογραφία Φορέα	TITAN	SIKA	ΚΩΣ	ΕΜΠ		
Προϋπολογισμός	40751	129750	0	25540		
Ανθρ/μήνες	10	23.21	0	7		

#### Στόχος: Σχεδιασμός και ανάπτυξη κονιαμάτων κατάλληλων για τρισδιάστατη εκτύπωση

**Εργασίες:** Το πακέτο εργασίας περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη κονιαμάτων κατάλληλων για εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι παράμετροι που πρέπει να ελεγχθούν αναφορικά με αυτό το πακέτο εργασίας είναι οι εξής:

1. Χρόνοι προετοιμασίας κονιάματος. Ανάλυση σύστασης κονιάματος και απαιτήσεων του καθώς και σύγκρισή του με τα συνήθη κονιάματα. Μελέτη του απαιτούμενου χρόνου προετοιμασίας πριν από την έναρξη της εκτύπωσης.
2. Χρόνοι πήξης. Η εφαρμογή της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε κτήρια, δεν περιλαμβάνει υποστηρικτικές διατάξεις για το εγχόμενο κονίαμα όπως συμβαίνει στις συνήθεις συμβατικές πρακτικές κατασκευής κτηρίων, επομένως η ταχύτητα πήξεως του κονιάματος πρέπει να είναι μικρότερη από την συνήθη ώστε να εξασφαλίζεται η δομική ακεραιότητα του κτηρίου.
3. Η συνεκτικότητα του κονιάματος. Η συνεκτικότητα του κονιάματος είναι άμεσα συνδεδεμένη με την λειτουργία της κεφαλής εκτύπωσης καθώς επίσης και με τα δευτερεύοντα συστήματα όπως η αντλία που θα διακινεί το κονίαμα. Επίσης συνδέεται άμεσα με την παραμόρφωση του εγχόμενου στρώματος κονιάματος κατά την διάρκεια της εκτύπωσης, το οποίο επίσης επηρεάζει την δομική και γεωμετρική ακεραιότητα του κτηρίου.
4. Ανάμιξη των συστατικών του κονιάματος. Η σύσταση του κονιάματος πρέπει να ελεγχθεί καθώς σε πρώτο τουλάχιστον στάδιο δεν περιλαμβάνεται οπλισμός και επομένως η στιβαρότητα του εκτυπωμένου κτηρίου προκύπτει από τις ιδιότητες του κονιάματος. Θα πραγματοποιηθεί έλεγχος για την πιθανότητα χρήσης ινωπλισμένου κονιάματος (short

fibres, chopped fibres κλπ.). Επίσης πρέπει να πραγματοποιηθεί μελέτη για το σημείο όπου θα γίνεται η ανάμιξη του κονιάματος πριν από την έγχυση (λ.χ. εσωτερικά της κεφαλής εκτύπωσης).

5. Η επίτευξη της επιθυμητής αντοχής του κονιάματος. Η απουσία μεταλλικών σπλισμών μειώνει την αντοχή του κτηρίου και αυτή είναι μια παράμετρος η οποία πρέπει να διερευνηθεί εις βάθος ώστε να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά αντοχής του προκύπτοντος κονιάματος, λαμβάνοντας υπόψιν την σεισμογενή συμπεριφορά της Ελλάδας.
6. Από τις ιδιότητες του κονιάματος θα προκύψουν και οι ανάγκες καθαρισμού της κεφαλής εκτύπωσης. Πρέπει να διερευνηθούν οι εκτιμώμενοι χρόνοι μεταξύ διαδοχικών καθαρισμών της κεφαλής καθώς όπως είναι κατανοητό αποτελούν νεκρούς χρόνος (idle hours) της διάταξης και η ενδεχόμενη παύση της εκτύπωσης για τον καθαρισμό της κεφαλής να κρίνεται απαγορευτική σύμφωνα με τις προαναφερθείσες παραμέτρους της πήξης του κονιάματος και της διαστρωματικής συνάφειας που αναλύεται παρακάτω.
7. Άλλη μία παράμετρος που πρέπει να διερευνηθεί είναι η συνάφεια που θα έχει το κάθε στρώμα με το υποκείμενο. Με την σειρά της αυτή η παράμετρος έχει να κάνει με τον μέγιστο χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ δύο στρώσεων ώστε επιτυγχάνεται επαρκής πρόσφυση και συνάφεια των δύο στρωμάτων. Η παράμετρος αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς συνδέεται άμεσα με τις διαστάσεις του προς κατασκευή κτηρίου και την ταχύτητα κίνησης της κεφαλής εκτύπωσης.

#### Φάσεις:

Φ2.1 (T<sub>0</sub>+02, T<sub>0</sub>+4) Ανάλυση προδιαγραφών κονιάματος και κατάστρωση πορείας μελέτης προσανατολισμένης στην επίτευξη των λειτουργικών προδιαγραφών.

Φ2.2 (T<sub>0</sub>+4, T<sub>0</sub>+18) Παραγωγή τελικού κονιάματος (ή εναλλακτικών κονιαμάτων). Πραγματοποίηση ελέγχων αντοχής και μηχανικών ιδιοτήτων των κονιαμάτων και συγκρότηση αναφοράς μηχανικών ιδιοτήτων.

#### ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ (SIKA, TITAN, ΕΜΠ)

Π2.1 Αναφορά προδιαγραφών τελικού κονιάματος (T<sub>0</sub>+04)

Π2.2 Αναφορά μηχανικών ιδιοτήτων τελικού κονιάματος (ή οικογένειας κονιαμάτων), χημικής σύστασης και λοιπών παραμέτρων (χρόνοι πήξης, παραγωγής, προετοιμασίας) και οδηγίες χρήσης (T<sub>0</sub>+18)

ΦΟΡΕΑΣ	Συνοπτική περιγραφή ρόλου φορέα					
SIKA, TITAN	Μελέτη και καθορισμός προδιαγραφών κονιάματος και ανάπτυξη πρώτων υλών για την παραγωγή αυτού					
ΕΜΠ	Καθορισμός παραμέτρων κονιάματος και σχεδιασμός του					
/Α ΕΕ	3	Μήνας Έναρξης	T <sub>0</sub> +02	Μήνας Λήξης	T <sub>0</sub> +24	
Τίτλος ΕΕ	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ					
Είδος Έρευνας	Σχεδιασμός και ανάπτυξη					
Συντονιστής της ΕΕ	ΕΜΠ					
Α/Α Φορέα	01	02	03	04		
Συντομογραφία Φορέα	TITAN	SIKA	ΚΩΣ	ΕΜΠ		
Προϋπολογισμός	21000	14000	0	135010		
Ανθρ/μήνες	5	3.57	0	49		

**Στόχος: Ανάλυση και σχεδιασμός τελικής διάταξης πλήρους κλίμακας και μικρότερης διάταξης ημίσειας κλίμακας για την πραγματοποίηση προκαταρκτικών πειραμάτων**

**Περιγραφή Εργασιών:** Οι εργασίες που περιλαμβάνονται στο 3<sup>ο</sup> πακέτο εργασίας είναι:

1. Ανάλυση και σχεδιασμός κεφαλής εκτύπωσης. Η διαδικασία σχεδιασμού της κεφαλής εκτύπωσης πραγματοποιείται ταυτόχρονα με το πακέτο εργασίας ΕΕ-02 (μελέτη κονιάματος) ώστε να καθοριστούν πλήρως οι λειτουργικές της απαιτήσεις (π.χ. ενδεχόμενη ανάμιξη συστατικών κονιάματος εντός της κεφαλής). Κατασκευαστική διαμόρφωση κεφαλής ώστε να επιτυγχάνονται η σταθερή παροχή κονιάματος, η σύνδεση με το σώμα της διάταξης και η πιθανή ενσωμάτωση επενεργητών για επίτευξη κινήσεων και/ή περιστροφών
2. Ανάλυση και σχεδιασμός σώματος μηχανής.
  - a. Επιλογή κατάλληλων μηχανισμών κατακόρυφων μετακινήσεων (υψομετρικές μετακινήσεις ανάμεσα στα στρώματα εκτύπωσης)

- b. Επιλογή δομικών στοιχείων. Στατική και δυναμική ανάλυση σώματος μηχανής και επίτευξη ικανοποιητικής στιβαρότητας καθόλο το εύρος της επέκτασής του. Ανάλυση συμπεριφοράς συναρτήσει των κινήσεων της κεφαλής και των εξωτερικών φορτίσεων (άνεμοι κ.τ.λ.)
- c. Μελέτη και ανάλυση της προσαρμοστικότητας και των λειτουργικών παραμέτρων της μετακίνησης, αποθήκευσης εγκατάστασης και συντήρησης του εξοπλισμού.
- d. Εκτός από το σώμα της τελικής μηχανής, θα γίνει και σχεδιασμός μιας μικρότερης διάταξης (διατηρώντας την ίδια κεφαλή εκτύπωσης) ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν τα απαραίτητα πειράματα αποτύπωσης της λειτουργικής συμπεριφοράς της διάταξης.
3. Επιλογή συστήματος ελέγχου της κίνησης της κεφαλής εκτύπωσης. Οι σχετικές παράμετροι που θα ληφθούν υπόψη και θα εξετασθούν είναι:
- a. Η ταχύτητα των μετακινήσεων της κεφαλής για την επίτευξη της απαραίτητης ταχύτητας εκτύπωσης όπως αυτή θα καθοριστεί στο πακέτο εργασίας ΕΕ-01.
- b. Η ακρίβεια των εν λόγω μετακινήσεων. Η ακρίβεια των μετακινήσεων συνδέεται ευθέως με την διαστατική ακρίβεια του προς κατασκευή κτηρίου και απαιτείται βελτιστοποίηση αυτής.
- c. Ο έλεγχος της δυναμικής απόκρισης του συστήματος κίνησης της κεφαλής. Το σύστημα κίνησης της κεφαλής πρέπει να βελτιστοποιηθεί ως προς την δυναμική του συμπεριφορά ώστε να προκαλεί τις ελάχιστες δυνατές ταλαντώσεις στην κεφαλή εκτύπωσης (ιδίως σε σημεία απότομων αλλαγών του διανύσματος της ταχύτητάς της – εκκίνηση, σταμάτημα, αλλαγή κατεύθυνσης), διασφαλίζοντας έτσι την διαστατική ακρίβεια.
4. Δημιουργία κατάλληλης μονάδας ελέγχου (control unit) και λογισμικό επικοινωνίας (interface) μεταξύ χρήστη και μηχανής. Οι κύριες λειτουργίες που πρέπει να επιτελούν αυτά τα τμήματα του σχεδιασμού είναι:
- a. Δημιουργία σημείου αναφοράς (global positioning / initialisation point) της διάταξης ώστε να δημιουργείται ένα καθολικό σύστημα συντεταγμένων ως προς το οποίο θα πραγματοποιείται η εκτύπωση. Ο ορισμός του σημείου αναφοράς θα πρέπει να είναι ανεξάρτητος από τον τρόπο που θα στηθεί η διάταξη ώστε να διευκολύνεται η χρήση της και ο προγραμματισμός της.
- b. Δημιουργία κυκλώματος ελέγχου της διάταξης. Ο έλεγχος της ακρίβειας των μετακινήσεων (υψομετρικών ή στο επίπεδο) πρέπει να γίνεται ώστε να διασφαλίζεται η ακρίβεια της κατασκευής. Για τον σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποικίλα μετρητικά συστήματα όπως ιντερφερόμετρα (laser interferometry) κ.α.
- c. Δημιουργία λογισμικού αλληλεπίδρασης με τον χρήστη. Όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή του έργου, το σύστημα θα έχει ενσωματωμένο λογισμικό CAD και CAM ώστε να μπορεί να πραγματοποιεί τις εκτυπώσεις των κτηρίων χρησιμοποιώντας αρχεία τρισδιάστατης σχεδίασης (CAD), ενώ ταυτόχρονα μέσω του λογισμικού CAM θα γίνεται η σχεδίαση της διαδικασίας της εκτύπωσης πριν από την έναρξη της διαδικασίας. Δεν απαιτείται δηλαδή χειριστής της μηχανής, τουναντίον, η διαδικασία εκτύπωσης θα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη.

#### Φάσεις:

Φ3.1 ( $T_0+0$ ,  $T_0+12$ ) Ανάλυση και σχεδιασμός κεφαλής εκτύπωσης χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα τα δεδομένα που προκύπτουν από το πακέτο εργασίας ΕΕ-02, στο οποίο καθορίζονται τα χαρακτηριστικά του κονιάματος και τα οποία επηρεάζουν την διάταξη και την απαιτούμενη λειτουργική συμπεριφορά της κεφαλής εκτύπωσης.

Φ3.2 ( $T_0+12$ ,  $T_0+20$ ) Ανάλυση και σχεδιασμός του κυρίως σώματος της διάταξης περιλαμβάνοντας τα δομικά στοιχεία και τα ρομπότ που πραγματοποιούν τις κινήσεις του σώματος και της κεφαλής.

Φ3.3 ( $T_0+20$ ,  $T_0+24$ ) Δημιουργία λογισμικού διεπαφής μηχανής-χρήστη και συστήματος ελέγχου μηχανής.

#### ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ (ΕΜΠ)

Π3.1 Φάκελος σχεδίων και τεχνική έκθεση υποσυστημάτων διάταξης πλήρους κλίμακας και ημίσειας κλίμακας ( $T_0+20$ )

Π3.2 Αναφορά συστήματος ελέγχου διάταξης και λογισμικό διεπαφής ( $T_0+24$ )

ΦΟΡΕΑΣ	Συνοπτική περιγραφή ρόλου φορέα						
ΕΜΠ	Σχεδιασμός και ανάλυση διάταξης τρισδιάστατης εκτύπωσης						
A/A ΕΕ	4	Μήνας Έναρξης	$T_0+06$	Μήνας Λήξης	$T_0+30$		
Τίτλος ΕΕ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΑΙ ΗΜΙΣΕΙΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ						
Είδος Έρευνας	Κατασκευαστική						
Συντονιστής της ΕΕ	ΚΩΣ						
A/α Φορέα	01	02	03	04			

<b>Συνομογραφία Φορέα</b>	TITAN	SIKA	ΚΩΣ	ΕΜΠ			
<b>Προϋπολογισμός</b>	15000	5600	220128	26082			
<b>Ανθρ/μήνες</b>	5	2	68	14			

**Στόχος** Κατασκευή των πρωτοτύπων τρισδιάστατων εκτυπωτών πλήρους και ημίσειας κλίμακας και διασφάλιση της κατασκευαστικής αρτιότητας και ακρίβειας.

**Περιγραφή Εργασιών:** Οι εργασίες του πακέτου εργασίας ΕΕ-04 μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες:

1. Κατασκευή κεφαλής εκτύπωσης διάταξης τρισδιάστατης εκτύπωσης
2. Κατασκευή σώματος μηχανής πλήρους και ημίσειας κλίμακας
3. Διασφάλιση κατασκευαστικής ακρίβειας επιμέρους τεμαχίων – υποσυστημάτων
4. Συναρμολόγηση διατάξεων
5. Πειραματική επαλήθευση κινηματικής και δυναμικής συμπεριφοράς διάταξης

#### ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ (ΚΩΣ, ΕΜΠ)

Π4.1 Αναφορά κατασκευής διάταξης τρισδιάστατης εκτύπωσης ημίσειας κλίμακας και αναφορά λειτουργίας (T<sub>0</sub>+18)

Π4.2 Αναφορά κατασκευής διάταξης πλήρους κλίμακας και αναφορά λειτουργίας (T<sub>0</sub>+30)

ΦΟΡΕΑΣ	Συνοπτική περιγραφή ρόλου φορέα					
TITAN	Συμμετοχή στην διεξαγωγή των κατάλληλων πειραμάτων για την επαλήθευση της κινηματικής και δυναμικής συμπεριφοράς του τρισδιάστατου εκτυπωτή.					
SIKA	Συμμετοχή στην διασφάλιση της ορθής λειτουργίας της κεφαλής εκτύπωσης καθώς και των συστημάτων διακίνησης του κονιάματος.					
ΕΜΠ	Διασφάλιση ποιότητας και μετρήσεις διαστατικής ακρίβειας κατεργασιών καθώς και σχεδιασμός και διεξαγωγή κατάλληλων πειραμάτων εργαστηριακού περιβάλλοντος για την επαλήθευση της κινηματικής και δυναμικής συμπεριφοράς του τρισδιάστατου εκτυπωτή.					
ΚΩΣ	Εργασίες κατεργασιών και συναρμολόγησης συστήματος					
A/A ΕΕ	5	<b>Μήνας Έναρξης</b>	T <sub>0</sub> +18	<b>Μήνας Λήξης</b>	T <sub>0</sub> +36	
<b>Τίτλος ΕΕ</b>	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΑΙ ΗΜΙΣΕΙΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ)					
<b>Είδος Έρευνας</b>	Κατασκευαστική					
<b>Συντονιστής της ΕΕ</b>	TITAN					
<b>A/a Φορέα</b>	01	02	03	04		
<b>Συνομογραφία Φορέα</b>	TITAN	SIKA	ΚΩΣ	ΕΜΠ		
<b>Προϋπολογισμός</b>	92000	28700	29868	87335		
<b>Ανθρ/μήνες</b>	24	7,39	8	34		

**Στόχος** Η κατασκευή κατάλληλων δοκιμών για τις δύο διατάξεις (πλήρους και ημίσειας κλίμακας) ώστε να πραγματοποιηθούν τα απαραίτητα πειράματα και να αποδειχθεί η ορθή λειτουργία της διάταξης.

**Περιγραφή Εργασιών:** Οι εργασίες του εν λόγω πακέτου εργασίας περιλαμβάνουν τα εξής στάδια:

1. Κατάστρωση κατάλληλων μοντέλων δοκιμών (πλήρους και ημίσειας κλίμακας) και αριθμητική προσομοίωση συμπεριφοράς τους
2. Κατασκευή του πρώτου μικρού δοκιμίου (ημίσειας κλίμακας) σε περιβάλλον εργαστηρίου και πειραματικός έλεγχος συμπεριφοράς του σε σεισμική καταπόνηση
3. Κατασκευή του δοκιμίου πλήρους κλίμακας (80τμ x 3μ)

#### ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ (ΕΜΠ)

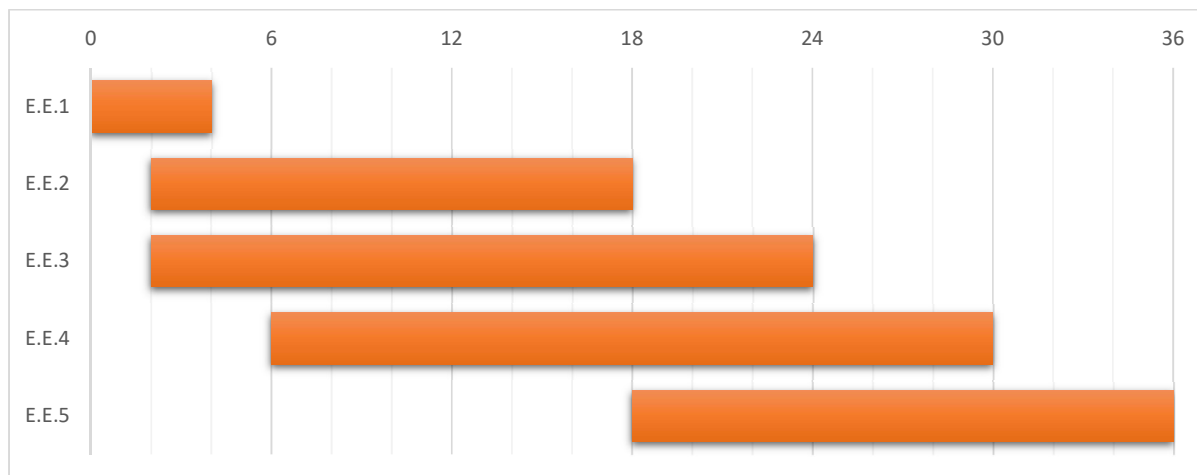
Π5.1 Αποτελέσματα ανάλυσης συμπεριφοράς μικρού δοκιμίου (T<sub>0</sub>+24)

Π5.2 Αποτελέσματα ανάλυσης συμπεριφοράς πλήρους δοκιμίου (T<sub>0</sub>+36)

ΦΟΡΕΑΣ	Συνοπτική περιγραφή ρόλου φορέα					
--------	---------------------------------	--	--	--	--	--



ΕΜΠ	Επίβλεψη κατασκευής δοκιμών μικρού μεγέθους, πειραματικός έλεγχος ιδιοτήτων εκτυπωθέντων στοιχείων (μοντέλο ημίσειας κλίμακας)
ΚΩΣ	Κατασκευή δοκιμών, τελική ρύθμιση 3-διάστατου εκτυπωτή
ΣΙΚΑ	Παραγωγή και έλεγχος κονιαμάτων μετά το πέρας της κατασκευής των δοκιμών
ΤΙΤΑΝ	Επιλογή τσιμέντου / αδρανών και επίβλεψη κατασκευής δοκιμίου πλήρους κλίμακας



Διάγραμμα Gantt με τον προγραμματισμό των εργασιών του έργου

#### d) Αναμενόμενα αποτελέσματα

Το έργο με την ολοκλήρωσή του αναμένεται να προσφέρει έναν καινοτόμο τρισδιάστατο εκτυπωτή για το κτίσιμο μεγάλων κτηρίων. Ενώ τα πρώτα βήματα για την ενσωμάτωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στον οικοδομικό τομέα έχουν ήδη γίνει, εντούτοις η χρήση τους περιορίζεται κυρίως σε μικρά κτήρια και εργαστηριακά περιβάλλοντα (κλειστά και προστατευμένα). Τα οφέλη από την κατασκευή μιας τέτοιας καινοτομικής διάταξης είναι πολλαπλά.

- Σημαντική μείωση κόστους και χρόνου ανέγερσης νέων κτηρίων λόγω της αυτοματοποίησης της διαδικασίας και της δραματικής μείωσης των εργατικών που απαιτούνται αφενός και τη χρήση ταχύπηκτων κονιαμάτων αφετέρου.
- Μείωση της επικινδυνότητας ανέγερσης ενός κτηρίου λόγω της αυτοματοποίησης της εργασίας. Η σύγχρονη πρακτική κτισίματος των κτηρίων αποτελεί μια αρκετά επικίνδυνη διαδικασία η οποία θέτει σε κίνδυνο (άμεσο ή έμμεσο) πληθώρα εργαζομένων. Σε αυτό το πλαίσιο, η αυτοματοποίηση της διαδικασίας κτισίματος κτηρίων θα οδηγήσει σε πολύ ασφαλή διαδικασία χωρίς την ύπαρξη τραυματισμών του ανθρώπινου δυναμικού.
- Δυνατότητα ευκολότερης δόμησης σε δυσπρόσιτες / δύσβατες περιοχές. Ευκαιρίες για οικιστική ανάπτυξη απομονωμένων περιοχών (νησιών, ορεινών περιοχών κλπ.)
- Ευκολία δημιουργίας περίπλοκων (π.χ. καμπύλων) αρχιτεκτονικών μορφών σε κτήρια λόγω των δυνατοτήτων που προσφέρει η προτεινόμενη μεθοδολογία εκτύπωσης. Η χρήση της προτεινόμενης μεθοδολογίας μπορεί με τον τρόπο αυτό να οδηγήσει σε αισθητική αναβάθμιση του δομημένου περιβάλλοντος (αστικό ή άλλο τοπίο).
- Δυνατότητα χρήσης της προτεινόμενης μεθοδολογίας για επέκταση / επιδιόρθωση κτηρίων με περιορισμένο κόστος λόγω του υψηλού αυτοματισμού, της μικρής ανάγκης σε υποδομές και της ταχύτητας εκτύπωσης.
- Ελάττωση της αισθητικής, κυκλοφοριακής και ηχητικής όχλησης που δημιουργεί ένα κλασσικό εργοτάξιο κατά την ανέγερση ενός κτηρίου λόγω της ταχύτητας εκτέλεσης του έργου αλλά και της μικρής ανάγκης χρήσης υποδομών.

#### e) Οικονομική και εμπορική αξιοποίηση των αποτελεσμάτων

Η εμπορική εκμετάλλευση του συγκεκριμένου ερευνητικού έργου, θα πραγματοποιηθεί από τις συνεργαζόμενες εταιρείες ΣΙΚΑ, ΤΙΤΑΝ και ΚΩΣ.

Μέχρι τώρα η τρισδιάστατη εκτύπωση σκυροδέματος περιορίζεται σε κατασκευές με εξειδικευμένο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον ή σε οικοδομικές κατασκευές μικρού μεγέθους, με ογκώδεις εκτυπωτές οι οποίοι έχουν περιορισμένη δυνατότητα μεταφοράς. Η ποιότητα της τελικής επιφάνειας του σκυροδέματος παραμένει σε χαμηλά επίπεδα με πολλές γραμμώσεις. Τέλος, οι κατασκευές αυτές δεν έχουν δοκιμαστεί στατικά για την καταλληλότητά τους σε σεισμικό περιβάλλον.

Η υποβαλλόμενη πρόταση στοχεύει να αντιμετωπίσει τις ανωτέρω ανεπάρκειες, καθώς από το υποβαλλόμενο έργο αναμένεται να προκύψει η τεχνική δυνατότητα εκτύπωσης κατασκευών σκυροδέματος σε μέγεθος μιας συνήθους κατοικίας της τάξεως των 80m<sup>2</sup>, με εκδιπλούμενο δομοστοιχειωτό εκτυπωτή και προσαρμοσμένο κατασκευαστικό κονίαμα, τα οποία θα επιτρέπουν υψηλή δυνατότητα φορητότητας και προσαρμογής στις συνθήκες της κατασκευής

σε ιδιαίτερα ανταγωνιστικό κόστος.

Σε μια κατοικία συνήθους μεγέθους, η εργασία της κατασκευής αντιπροσωπεύει περίπου το 50% του συνολικού κατασκευαστικού κόστους, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό προέρχεται κυρίως από το κόστος των υλικών κατασκευής. Με τη τεχνολογία του εκδιπλούμενου εκτυπωτή σε συνδυασμό με τα προσαρμοσμένα κονιάματα, το κόστος εργασίας είναι γνωστό ότι μπορεί να μειωθεί στα επίπεδα του 20% του αρχικού κόστους, ενώ ο χρόνος κατασκευής μειώνεται επίσης σε αντίστοιχο ποσοστό.

Παράλληλα, η συγκεκριμένη τεχνολογία προσφέρει αυξημένη Προστιθέμενη Αξία σε κατασκευές με υψηλές αρχιτεκτονικές απαιτήσεις, καθώς επιτρέπει τη δυνατότητα εκτύπωσης μη-συμβατικών σχημάτων και επιφανειών με αυξημένο βαθμό πολυπλοκότητας (π.χ. Moebius Bands), τα οποία με τη συνήθη κατασκευαστική διαδικασία είναι αρκετά δύσκολο και κοστοβόρο να παραχθούν σε αποδεκτή ποιότητα.

Η αυτοματοποίηση των διαδικασιών παραγωγής, θα προσφέρει επιπλέον αυξημένο επίπεδο ελέγχου, καθώς μειώνεται η πιθανότητα ανθρώπινου λάθους και εξασφαλίζεται σταθερή ποιότητα του τελικού αποτελέσματος.

Παράλληλα οι δοκιμές αντοχής των στοιχείων σε σεισμικές δονήσεις, θα τεκμηριώσουν για πρώτη φορά το επίπεδο της αντισεισμικής επάρκειας μιας τέτοιας κατασκευής. Νέες τεχνολογίες κονιαμάτων και σκυροδέματος, όπως η χρήση μικρο- και νάνο- ιών αναμένεται να προσφέρουν σημαντική ενίσχυση της αντισεισμικής ταυτότητας των τρισδιάστατων εκτυπωμένων στοιχείων. Οι εταιρείες SIKA και TITAN διαθέτουν πολύχρονη εμπειρία και βάθος γνώσης που θα αξιοποιηθεί για την επίτευξη υψηλού βαθμού αντισεισμικότητας. Όλες οι παραγόμενες τεχνολογίες θα κατοχυρωθούν με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (πατέντα).

Το Ανταγωνιστικό Πλεονέκτημα (Competitive Advantage) πάνω στο οποίο θα στηριχθεί η εμπορική προώθηση, είναι ο συνδυασμός του μειωμένου κόστους εργασίας, της αυξημένης ταχύτητας ολοκλήρωσης, της δυνατότητας παραγωγής μη-συμβατικών σχημάτων, της σταθερής τελικής ποιότητας και της δυνατότητας μεταφοράς του εκτυπωτή in-situ.

Η εμπορική εκμετάλλευση θα προωθηθεί στις χώρες που δραστηριοποιούνται οι συνεργαζόμενες εταιρείες SIKA και TITAN, σε συνεργασία με επιλεγμένους Αρχιτέκτονες και Κατασκευαστές, ενώ η εταιρεία ΚΩΣ θα αναλάβει την μηχανολογική υποστήριξη / κατασκευή του συστήματος. Οι εταιρείες θα στοχεύσουν στη επέκταση της τρισδιάστατης εκτύπωσης σκυροδέματος, τόσο σε συνήθεις κατασκευές ευρείας χρήσης (π.χ. μια μέση κατοικία), όσο και σε κατασκευές ιδιαίτερου αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος. Μέσω της χρήσης του μεταφερόμενου εκδιπλούμενου εκτυπωτή, θα είναι δυνατή η ανέγερση in-situ της ζητούμενης κατασκευής, με μειωμένο εργατικό κόστος, αυξημένη ταχύτητα και υψηλά στάνταρντ ποιοτικού ελέγχου.

#### f) Δραστηριότητες Διάχυσης και Δημοσιότητας

**1. Επιστημονικές Δημοσιεύσεις.** Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από το έργο θα δημοσιευθούν σε υψηλού επιπέδου διεθνή επιστημονικά περιοδικά, ενώ σε αυτά θα έχει γίνει αναφορά στο πρόγραμμα «Ερευνώ-Δημιουργώ-Καινοτομώ». Θα καταβληθεί, παράλληλα, προσπάθεια να δημιουργηθούν όσο περισσότερες νέες ανοιχτές δημοσιεύσεις. Θα δημοσιευθούν κατ' ελάχιστον τρία άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά.

**2. Συμμετοχές σε συνέδρια και συμπόσια.** Τα αποτελέσματα θα γίνουν επίσης ευρέως γνωστά μέσω συμμετοχών σε διεθνή συνέδρια, είτε ως ξεχωριστά άρθρα, είτε ως δομημένες συνεδρίες.

**3. Ιστοσελίδα του έργου και μέσα κοινωνικής δικτύωσης.** Μία ιστοσελίδα του έργου και μία σελίδα στο Facebook αναμένεται να κατασκευαστούν αλλά και να διατηρηθούν και να συντηρηθούν από το ΕΜΠ. Η ιστοσελίδα θα περιλαμβάνει ένα ανοιχτό μέρος για το ευρύ κοινό αλλά και ένα αποκλειστικά για εταίρους του έργου. Το ανοιχτό κομμάτι αναμένεται να είναι ενεργό κατ' ελάχιστον για 5 χρόνια κατά τη διάρκεια αλλά και μετά το τέλος του έργου. Στην κεφαλίδα της ιστοσελίδας να αναμένεται να υπάρχει το λογότυπο του ΕΣΠΑ. Το ανοιχτό κομμάτι θα παρουσιάζει μία συνολική εικόνα του πρότζεκτ αλλά και θα παρέχει τα παρακάτω στοιχεία:

- Δημοσιεύσεις ανοιχτές στο κοινό με αποτελέσματα που θα προκύψουν από το έργο.
- Παρουσιάσεις από εταίρους του έργου σε επιστημονικές συναντήσεις, συνέδρια, σεμινάρια κ.α.
- Συνδέσμους για σχετικές ιστοσελίδες αλλά και στοιχεία επικοινωνίας.
- Τεχνικές οδηγίες και παραδείγματα εφαρμογών και νέων προϊόντων.

**4. Διεθνές σεμινάριο/συμπόσιο.** διάρκειας 3 ημερών πρόκειται να οργανωθεί από το ΕΜΠ προκειμένου να συζητηθούν ζητήματα από ειδικούς και μέλη των ερευνητικών ομάδων που αφορούν σε όλες τις προκλήσεις που πιθανώς να χρειαστεί να αντιμετωπιστούν σε επίπεδο εφαρμογών και υλοποιήσεων.

**5. Επισκέψεις σε εκθέσεις διεθνούς κύρους,** με στόχο την προβολή της παραχθείσας τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης