



## Η υλοποίηση μιας πρωτότυπης αρχιτεκτονικής ιδέας μέσω ακαδημαϊκής έρευνας

Φαίδρα Οικονομοπούλου, Τελέσιλλα Μπριστογιάννη - 14/01/2022

### Qaammat Pavilion

Η Φαίδρα Οικονομοπούλου, επίκουρη καθηγήτρια, και η Τελέσιλλα Μπριστογιάννη, ερευνήτρια και υποψήφια διδάκτωρ, μέλη της ερευνητικής ομάδας πάνω σε γυάλινες κατασκευές (Glass Structures Group) της Αρχιτεκτονικής Σχολής του Πανεπιστημίου του Ντελφτ (TU Delft), είναι γνωστές για την έρευνά τους πάνω σε καινοτόμες δομικές και αρχιτεκτονικές εφαρμογές του χυτού γυαλιού. Η έρευνά τους επικεντρώνεται σε εξελιγμένα συστήματα δόμησης με συμπαγή γυάλινα στοιχεία, τη μελέτη των δομικών ιδιοτήτων του χυτού γυαλιού αλλά και την ανακύκλωση του γυαλιού μέσω χύτευσης (περισσότερα σχετικά με την έρευνα αυτή, [εδώ](#)). Οι δύο ερευνήτριες έχουν συμμετάσχει σε διάφορα καινοτόμα project με χυτό γυαλί, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται η γυάλινη όψη του [Crystal Houses](#) στο Άμστερνταμ (2016), σχεδιασμένη από τους

MVRDV και το [LightVault](#), και μια συνεργασία με τους SOM και το πανεπιστήμιο του Princeton (2020) για την αυτόματη συναρμολόγηση από ρομπότ μιας θολωτής κατασκευής από συμπαγή γυάλινα στοιχεία.

Εισαγωγική εικόνα: Cover Image ©Julien Lanoo

Στις αρχές Νοεμβρίου του 2020, ο αρχιτέκτονας Κωνσταντίνος Οικονομίδης, ιδρυτής του γραφείου Konstantin Arkitekter, επικοινωνήσε με τις δύο ερευνήτριες του TU Delft, για να συνεργαστούν για ένα μικρό -αλλά συναρπαστικό- έργο: το **Qaammat Pavilion**, μία μικρή κατασκευή από συγκολλημένα γυάλινα συμπαγή τούβλα, στο Sarfannguit της Γροινλανδίας.

Το Qaammat pavilion, εμπνευσμένο και σχεδιασμένο από τον αρχιτέκτονα Κωνσταντίνο Οικονομίδα, είναι μια κατασκευή που σηματοδοτεί και προωθεί την άυλη πολιτιστική κληρονομιά των Inuit σε σχέση με το περιβάλλον και το τοπίο. Στόχος τού γυάλινου pavilion είναι να δημιουργήσει ένα ορόσημο στο χωριό Sarfannguit, ένα πολιτιστικό τοπίο στη Δυτική Γροινλανδία και το μοναδικό ενεργό χωριό μέσα στο Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO Aasivissuit - Nipisat. Το ορόσημο, τοποθετημένο στην ανατολική άκρη του Sarfannguit, στο σημείο συνάντησης δύο φιορδ, θα λειτουργεί επίσης ως «κούκος» στο μονοπάτι πεζοπορίας μεταξύ Sarfannguit και Nipisat, μια μελλοντική επέκταση στο υπάρχον μονοπάτι του Αρκτικού Κύκλου. Έτσι, οι πεζοπόροι θα μπορούν να εντοπίσουν από μακριά τη μοναδική αυτή τοποθεσία, ένα πολιτιστικό σημείο με πλούσια και καλοδιατηρημένη υλική και άυλη πολιτιστική κληρονομιά, που συνδέεται με το κλίμα, τη ναυσιπλοΐα και την ιατρική.





Ο αρχιτέκτονας ήθελε να βεβαιωθεί ότι το έργο του αντανakλούσε τις ζωές, τις ιδέες και τις παραδόσεις των κατοίκων του Sarfannguit. Οπότε το όραμά του ήταν να δημιουργήσει ένα μικρό ravilion από δύο καμπύλους, ελαφρώς κεκλιμένους, διάτρητους τοίχους, φτιαγμένους από συμπαγή γυάλινα τούβλα, που εδράζονται κατευθείαν στον βράχο μέσω μεταλλικών ράβδων - μια μέθοδο δανεισμένη από την τοπική κατασκευή σπιτιών.

Η υλοποίηση του γυάλινου ravilion όμως δεν θα ήταν εύκολη υπόθεση: Ο προϋπολογισμός για την κατασκευή ήταν πολύ χαμηλός. Έτσι, το ravilion έπρεπε να χτιστεί με την εθελοντική εργασία του ντόπιου, ανειδίκευτου σε τέτοιες κατασκευές πληθυσμού, απαιτώντας μια απλή μέθοδο συναρμολόγησης (κόλλησης) των τούβλων. Η τοποθεσία του ravilion σε μια από τις πιο απόμερες γωνιές του κόσμου, ακριβώς βόρεια του Αρκτικού Κύκλου, πάνω σε έναν βράχο δίχως πρόσβαση σε ρεύμα και οδική σύνδεση, έκανε ακόμη πιο επιτακτική μια απλή μέθοδο κατασκευής, που θα έπρεπε, ωστόσο, να μπορεί να αντέχει ως και τους  $-35^{\circ}\text{C}$ .



Ός εκ τούτου, κλειδί για την επιτυχημένη κατασκευή τού Qaammat Pavilion ήταν η εφαρμογή μιας κόλλας για τη σύνδεση των γυάλινων δομικών στοιχείων, τόσο μεταξύ τους όσο και με την υποδομή ανοξείδωτου χάλυβα, που να ικανοποιεί τις δομικές και αισθητικές απαιτήσεις του έργου, να μπορεί να αντέξει τις ακραίες συνθήκες του πολιτικού κλίματος και να μπορεί να προσφέρει μια απλή και σχετικά γρήγορη διαδικασία συναρμολόγησης. Έτσι, την έρευνα (R&D) για το σύστημα συναρμολόγησης των γυάλινων τούβλων ανέλαβαν και διεξήγαγαν η Φαίδρα Οικονομοπούλου και η Τελέσιλλα Μπριστογιάννη, με τη βοήθεια της ερευνήτριας Mariska van der Velden από την Αρχιτεκτονική Σχολή του Πανεπιστημίου του Delft (TU Delft).

Με βάση τα παραπάνω και με δεδομένη την εμπειρία τους, οι ερευνήτριες του TU Delft ξεκίνησαν την έρευνα αναζητώντας κόλλες που να εξασφαλίζουν, μεταξύ άλλων, ικανοποιητική αντοχή απέναντι σε διάτμηση και

εφελκυσμό και θερμοκρασία λειτουργίας έως  $-40^{\circ}\text{C}$ , και να είναι διαφανείς ή ανοιχτόχρωμες για το επιθυμητό οπτικό αποτέλεσμα. Για την εξασφάλιση μιας απλής και γρήγορης κατασκευής, η κόλλα θα έπρεπε επιπλέον να έχει ταχύ χρόνο πήξης ( $<30$  λεπτά) και απόκτησης πλήρους αντοχής ( $<24$  ώρες), αλλά και ικανότητα πλήρωσης αρμών ως και 3 χιλιοστών.



Έως τώρα, σε κατασκευές φτιαγμένες από συγκολλημένα συμπαγή γυάλινα τούβλα, όπως το Crystal Houses, το Atocha Memorial και το LightVault, είχαν εφαρμοστεί ακρυλικές ή εποξικές κόλλες, λόγω της υψηλής μηχανικής αντοχής τους και της υψηλής διαφάνειας που προσφέρουν στην τελική κατασκευή. Ωστόσο, τέτοιες κόλλες, με τυπικό πάχος μικρότερο του ενός χιλιοστού, απαιτούν μια κατασκευή υψηλής ακρίβειας από εξειδικευμένους χτίστες (όπως στο Crystal Houses και το Atocha Memorial), ή ρομποτική συναρμολόγηση (LightVault).

Εδώ, η ευκολία συναρμολόγησης και η αντοχή της κόλλας ενάντια σε πολικές θερμοκρασίες (και όχι η υψηλή μηχανική αντοχή) αποδείχθηκαν τα βασικά κριτήρια, καθορίζοντας ως κύριες υποψήφιες, κόλλες σιλικόνης ή πολυουρεθάνης δύο συστατικών. Αυτές οι κόλλες είναι γνωστές για τη σταθερότητα των μηχανικών τους ιδιοτήτων απέναντι σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Επίσης έχουν αυξημένη ικανότητα πλήρωσης αρμών, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς, για να είναι εύκολη η κατασκευή, η επιλεγμένη κόλλα πρέπει να δρα αντίστοιχα με ένα κονίαμα κοινής τοιχοποιίας. Θα πρέπει, δηλαδή, να μπορεί να καλύψει με το πάχος της στους αρμούς τις αποκλίσεις από τις ιδανικές διαστάσεις των γυάλινων τούβλων. Με βάση τα παραπάνω, οι ερευνήτριες κατέληξαν σε μια επιλογή από κόλλες, στις οποίες διεξήγαγαν πειράματα αντοχής στα εργαστήρια του TU Delft σε (i)  $20^{\circ}\text{C}$  και (ii)  $-5^{\circ}\text{C}$ , ώστε να αξιολογήσουν τις μηχανικές τους ιδιότητες. Επίσης, κόλλησαν μικρά πρωτότυπα με την κάθε κόλλα, ώστε να αξιολογήσουν την ταχύτητα αντίδρασης και ανάπτυξης αντοχής, καθώς και την ευκολία συναρμολόγησής της.





Μέσω των πειραμάτων, οι ερευνήτριες κατέληξαν στην επιλογή μιας πειραματικής κόλλας ταχείας δράσης, που διαμορφώθηκε ειδικά για αυτό το έργο από την Dow, με αντοχή διάτμησης περίπου 1 MPa και ικανότητα πλήρωσης αρμών έως 3 mm -που διευκολύνει κατά πολύ τη συναρμολόγηση-, για τη συγκόλληση του pavilion. Με βάση τις προϋποθέσεις που έθεσε η ομάδα του TU Delft, η Dow αφαίρεσε τη χρωστική ουσία του αντιδρώντος συστατικού της κόλλας, προκειμένου να επιτύχει ένα τελικό λευκό χρώμα αντί για σκούρο γκρι, και άλλαξε τη σύστασή της ώστε να μπορεί να στερεοποιηθεί εντός λίγων λεπτών και να αποκτά την πλήρη αντοχή της εντός 24 ωρών. Μόνο οι κάτω σειρές του pavilion συγκολλήθηκαν με μια άλλη κόλλα υψηλότερης αντοχής, που ήταν απαραίτητη σε αυτή τη θέση λόγω της μειωμένης αλληλοεπικάλυψης των τούβλων. Εδώ, στις πρώτες, κάτω σειρές του pavilion, οι ανοχές είναι ελάχιστες και μπορούν να αντισταθμιστούν με την περιορισμένη (1mm) ικανότητα πλήρωσης κενού αυτής της κόλλας.



Τα logistics για την ολοκλήρωση του έργου αποδείχτηκαν ίσως η μεγαλύτερη πρόκληση. Η έρευνα έπρεπε να ολοκληρωθεί μέχρι το καλοκαίρι του 2021, καθώς ήταν κρίσιμο η κατασκευή του ravnilion να διεξαχθεί μεταξύ Ιουλίου και Σεπτεμβρίου, όταν η μέση θερμοκρασία είναι γύρω στους 10°C. Η πιο κοντινή πόλη στη Γροινλανδία, το Sisimiut, ήταν μια ώρα μακριά με καΐκι (αυτό ισχύει κατά τους θερινούς μήνες, ενώ τον χειμώνα η διαδρομή γίνεται ενίοτε και με έλκηθρα οδηγούμενα από σκύλους όταν παγώσει το φιόρδ). Έτσι, όλα τα υλικά έπρεπε να σταλθούν στο Sisimiut, κι από εκεί με τη βοήθεια ντόπιων καπετάνιων και ψαράδων να φτάσουν στο Sarfannguit, από όπου θα μεταφέρονταν με οχήματα ATV περίπου ένα χιλιόμετρο πιο πέρα, στην τελική τοποθεσία. Λόγω του περιορισμένου προϋπολογισμού, η έρευνα έγινε αφιλοκερδώς. Οι ερευνήτριες και ο αρχιτέκτονας ήρθαν σε επαφή με την **Wonderglass**, που παρήγαγε και διέθεσε τα γυάλινα τούβλα σε τιμή κόστους, και την **Dow**, που ανέπτυξε και παρασκεύασε την ειδική κόλλα για αυτό το πρότζεκτ, την οποία και παρείχε δωρεάν.





Η συγκόλληση της γυάλινης κατασκευής ξεκίνησε τον Αύγουστο του 2021. Τότε, η Τελέσιλλα και η Φαίδρα ταξίδεψαν στο Sarfannguit της Γροινλανδίας όπου παρέμειναν για δύο εβδομάδες, ώστε να βοηθήσουν στην κατασκευή και να εκπαιδεύσουν τον αρχιτέκτονα και τους ντόπιους πάνω στη διαδικασία κόλλησης της γυάλινης τοιχοποιίας, συναρμολογώντας μαζί τους τις πρώτες 15 σειρές του pavilion. Η κατασκευή ολοκληρώθηκε από τον ίδιο τον αρχιτέκτονα με τη βοήθεια λίγων ντόπιων στα τέλη Σεπτεμβρίου του ίδιου χρόνου, λίγο πριν αρχίσει να πέφτει η θερμοκρασία υπό το μηδέν. Το pavilion εγκαινιάστηκε στις αρχές Οκτωβρίου 2021.

Η κατασκευή του Qaammat Pavilion τονίζει τις πρακτικές προκλήσεις που συνδέονται με το κόλλημα γυάλινων τούβλων, σε μια δυσπρόσιτη τοποθεσία που χαρακτηρίζεται από ακραίες καιρικές συνθήκες. Επισημαίνει περαιτέρω τη σημασία της επιλογής κόλλας σε αρχικό στάδιο του σχεδιασμού και βάσει των υλικοτεχνικών περιορισμών που επιβάλλονται, προκειμένου η υλοποίηση του σχεδίου να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην αρχιτεκτονική ιδέα. Η πειραματική επιβεβαίωση ενός τέτοιου καινοτόμου συστήματος δόμησης από συγκολλημένα γυάλινα χυτά στοιχεία, παραμένει απαραίτητη προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής εφαρμογή του, καθώς δεν διατίθενται σχετικοί οικοδομικοί κανονισμοί και δεδομένα αντοχής. Αλλά κυρίως η επιτυχής ολοκλήρωση του Qaammat Pavilion δείχνει ότι μια στενή συνεργασία μεταξύ του αρχιτέκτονα, των ερευνητών και των προμηθευτών υλικών είναι απαραίτητη για την επιτυχία της υλοποίησης μιας τέτοιας καινοτόμας κατασκευής.



Image ©Julien Lanoo

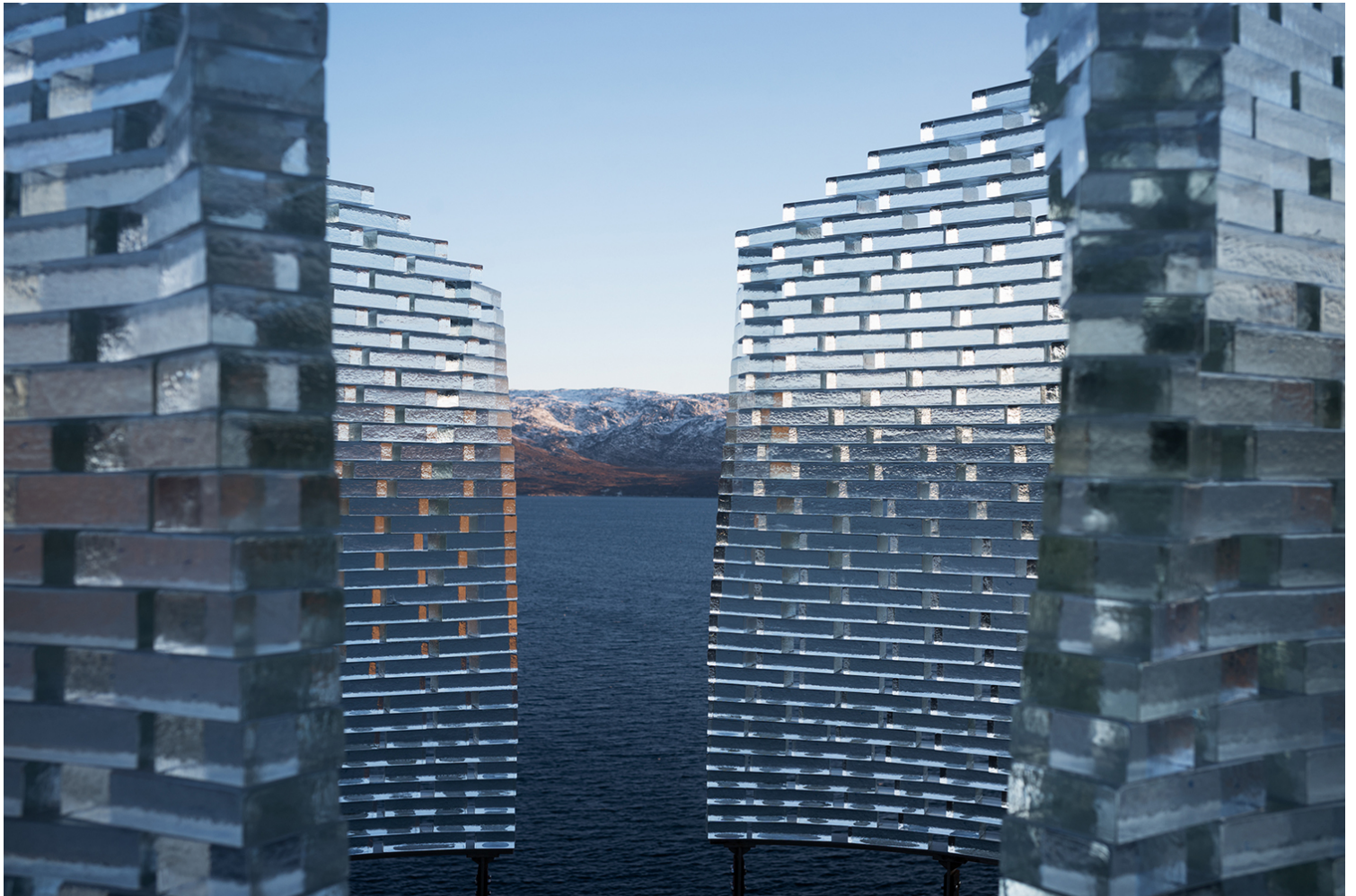


Image ©Julien Lanoo

Για περισσότερες φωτογραφίες του ολοκληρωμένου έργου πατήστε [εδώ](#).

## Credits

Αρχιτέκτονας: **Κωνσταντίνος Οικονομίδης (Konstantin Arkitekter)**

Ανάθεση έργου: Qeqqata Municipality για το UNESCO World Heritage - Aasivissuit-Nipisat, Γροινλανδία

Σε συνεργασία με: Sisimiut Museum (Sisimiut Katersugaasiviat)

Έρευνα (R&D) για το σύστημα συναρμολόγησης των γυάλινων τούβλων: Τελέσιλλα Μπριστογιάννη και Φαίδρα Οικονομοπούλου με την βοήθεια της Mariska van der Velden, TU Delft

Γυάλινα τούβλα: Wonderglass

Κόλλα: Dow