

Υψηλής Θερμομονωτικής Ικανότητας Κονίαμα βασισμένο στην Αερογέλη

High Insulative Render based on aerogel

Σπυράγγελος ΛΥΚΟΥΔΗΣ¹

Λέξεις κλειδιά: Αερογέλη, Θερμική Αγωγιμότητα, Θερμομονωτικό Κονίαμα, Διάχυση Υδρατμών, Aerogel, Gel type Aerogel, Thermal Conductivity, Aerogel Based Rendering, Vapour Transmission Resistance, Insulation Rendering

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Ενα από τα σημαντικότερα προβλήματα της διαβίωσης των ανθρώπων είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας εξαιτίας της ελλιπούς μόνωσης ιδιαίτερα των παλιών κατασκευών.

Ο στόχος της εργασίας είναι η πραγματοποίηση δοκιμαστικών με κονίαμα με εξαιρετικές θερμομονωτικές ιδιότητες, με κύρια εφαρμογή τη χρήση της στην θερμομόνωση κτιρίων. Η ερευνητική ιδέα για την επίτευξη του προαναφερόμενου στόχου είναι η σύνθεση της τσιμεντοκονιάς να βασισθεί σε αδρανή υλικά τύπου αερογέλης (aerogel), τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα.

Το συγκεκριμένο υλικό προστιθέμενο σαν ένα λεπτό στρώμα σοβά στα κτίρια (διατηρητέα, ήδη υπάρχοντα, καινούργια) προσφέρει εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες.

Ταυτόχρονα εξαιτίας της φύσης της αερογέλης οι κατασκευές αποκτούν εξαιρετικά μεγάλη ανθεκτικότητα στη φωτιά (αντοχή στη φωτιά της αερογέλης έως 1800⁰C), εξαιρετικά μεγάλη ηχομόνωση και εξαιρετική ικανότητα διαπνοής.

Η αερογέλη (aerogel) είναι ένα υλικό το οποίο προκύπτει κατόπιν αφαίρεσεως όλου του υγρού από ένα αρχικό υπερκορεσμένο πορώδες διατηρώντας σε μεγάλο βαθμό τη δομή του αρχικού πορώδους. Λόγω της ιδιαίτερης μικροδομής της, η αερογέλη έχει εξαιρετικά μικρή θερμική αγωγιμότητα ($\lambda \sim 0,013 \text{ W/m.K}$), την μικρότερη από κάθε άλλο γνωστό υλικό καθώς και εξαιρετικά μικρή πυκνότητα.

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν δοκιμαστικά παραγωγής του θερμομονωτικού κονιάματος βασισμένου στην αερογέλη, τα φυσικά/μηχανικά χαρακτηριστικά του καθώς και οι δυνατότητες εφαρμογής του σε υφιστάμενες/νέες κατασκευές

ABSTRACT: Aerogel is a kind of synthetic porous material, in which the liquid component of the gel is replaced with a gas. Aerogel has specific acoustic properties and remarkably lower thermal conductivity (0.013 W/mK) than the other commercial insulating materials. It also has superior physical and chemical characteristics like the translucent structure. Therefore, it is considered as one of the most promising thermal insulating materials for building applications. Aerogel can have many applications in residential and industrial buildings. Although current cost of aerogel still remains higher compared to the conventional insulation materials, intensive efforts are made to reduce its manufacturing cost and hence enable it to become widespread all over the world. In this study is attempted laboratory tests on this high insulation render in order to evaluated the properties of the render in fresh and hardened state.

¹ Προϊστάμενος Εργαστηρίου ΠΥΘ, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καταγραφή της κατάστασης των κτιρίων της χώρας μας και η μελέτη των ενεργειακών ισοζυγίων τους, καταδεικνύει ότι το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνουν ουσιαστικά «σπαταλιέται», διότι είναι θερμικά αθωράκιστα .

Η ανωτέρω διαπίστωση προκύπτει από τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην έκθεση «Μακροπρόθεσμη στρατηγική για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος», όπου σύμφωνα με αυτά στον κτιριακό τομέα (οικιακό και τριτογενή), το έτος 2012, καταναλώθηκε το 65% της εγχώριας ηλεκτρικής ενέργειας και το 45% του συνόλου της ενέργειας. Οι καταναλωθείσες δε, αυτές ποσότητες ενέργειας, εκτιμάται ότι αντιστοιχούν στο 52% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που εκλύθηκαν από της χώρας μας για το έτος αυτό. Περαιτέρω, βάσει της απογραφής του 2011, προκύπτει ότι το 55% των κτιρίων της χώρας μας, με χρήση κατοικίας, έχει κατασκευαστεί πριν το 1980, και ως εκ τούτου είναι πλήρως θερμικά απροστάτευτα.

Επιπροσθέτως, το 80% της ενέργειας που καταναλώνουν είναι για τη θέρμανση και τον κλιματισμό τους. Λαμβάνοντας υπόψη, όλα τα δεδομένα των ενεργειακών καταναλώσεων και της υπάρχουσας κατάστασης του κτιριακού αποθέματος, οι μελετητές/συγγραφείς της έκθεσης καταλήγουν στην εκτίμηση ότι: «εάν αναβαθμιζόταν ριζικά το κτιριακό απόθεμα ώστε να ικανοποιεί τις ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ (ενεργειακή κατηγορία Β), θα είχαμε ποσοστό εξοικονόμησης κατά μέσο όρο 66% στις μονοκατοικίες, 56% στις πολυκατοικίες, 38% στα γραφεία και στα καταστήματα, 48% στα εκπαιδευτικά ιδρύματα και 37% στα νοσοκομεία και στα νοσηλευτικά ιδρύματα».

Ο εθνικός στόχος που έχει υιοθετηθεί στο «Εθνικό σχέδιο δράσης ενεργειακής απόδοσης» και αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας 902,1 ktoe κατά την περίοδο 2014-2020, συνάδει απόλυτα με την ανωτέρω εκτίμηση, δεδομένου ότι θα πραγματοποιηθεί κατά 40% από μέτρα πολιτικής που αφορούν τη βελτίωση του ενεργειακού αποτυπώματος του κτιριακού αποθέματος, όπως τα προγράμματα «Εξοικονόμηση Κατ' Οίκον», «Ενεργειακή αναβάθμιση κατοικιών», «Ενεργειακή αναβάθμιση δημοσίων κτιρίων», «Ενεργειακή αναβάθμιση σε κτίρια επαγγελματικής χρήσης», κα.

Αναμφισβήτητα, η πιο σημαντική από τις τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, όσον αφορά τη συμβολή της στην τελική ενεργειακή αναβάθμιση που επιτυγχάνεται, είναι η θερμική προστασία του κελύφους, είτε ενός νέου, είτε ενός υφιστάμενου ανακαινιζόμενου κτιρίου, δεδομένου ότι, μέσω αυτής ελαχιστοποιείται η μεταφορά θερμότητας μεταξύ αυτού και του περιβάλλοντος. Με την υπάρχουσα τεχνολογία, η θερμική μόνωση επιτυγχάνεται κυρίως με εφαρμογή σύνθετων συστημάτων εξωτερικής θερμομόνωσης τύπου πολύστρωτου κελύφους (External Thermal Insulating Composite Systems, ETICS), πάχους της τάξης 5 έως 10 cm. Παρόλο που, τα προηγμένα συστήματα ETICS είναι ιδιαίτερα αποδοτικά (επιτυγχάνόμενες θερμικές αντιστάσεις της τάξης των 2 m²K/W), παρουσιάζουν τα σημαντικά μειονεκτήματα του ιδιαίτερα υψηλού κόστους (που κυμαίνεται από 30 έως 40€/m²), της πολύπλοκης και δύσκολης εφαρμογής τους (τοποθέτηση οδηγών, επάλληλη τοποθέτηση όλων των στρώσεων του σύνθετου συστήματος, καθώς και εφαρμογή δύο στρώσεων επιχρισμάτων) και το σημαντικότερο, της αδυναμίας εφαρμογής τους σε όλες τις περιπτώσεις υφιστάμενων ανακαινιζόμενων κτιρίων. Για παράδειγμα τέτοιου είδους συστήματα δε δύναται να εφαρμοσθούν σε κτίρια που απαγορεύεται αυστηρά η αλλοίωση της αρχιτεκτονικής τους, όπως κτίρια μεγάλης ιστορικής αξίας, εκκλησίες, νεοκλασικά, κα, καθώς και σε κτίρια που είναι απαγορευτική η αύξηση των διαστάσεων του εξωτερικού περιγράμματός τους, όπως υφιστάμενα κτίρια κτισμένα στο όριο του περιγράμματος του οικοπέδου τους, κα.

Εναλλακτική λύση θερμικής προστασίας του κελύφους, από αυτή των συστημάτων ETICS, αποτελεί η εφαρμογή θερμομονωτικών επιχρισμάτων. Σε αυτά, προκειμένου

να μειωθεί η θερμική αγωγιμότητά τους, χρησιμοποιούνται ως αδρανή, θερμομονωτικά υλικά, όπως ελαφρόπετρα (κίσηρη), πέρλες διογκωμένης πολυστερίνης, διογκωμένος περλίτης, διογκωμένο γυαλί, κα, σε ποσοστό από 60 έως 90% κατ' όγκον του επιχρίσματος . Παρόλο που η λύση αυτή, φαντάζει ιδανική λόγω της πολύ εύκολης και πάντα εφικτής εφαρμογής της, η αποδοτικότητα των υπαρχόντων θερμομονωτικών επιχρισμάτων (επιτυγχανόμενες θερμικές αντιστάσεις της τάξης των 1 m² K /W), είναι περίπου στο ήμισυ αυτής των συστημάτων ETICS και ως εκ τούτου δεν μπορεί θεωρηθεί επαρκής για μια ικανοποιητική θερμική προστασία του κελύφους.

Το αντικείμενο του της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση θερμομονωτικού επιχρίσματος με εξαιρετικές θερμομονωτικές ιδιότητες, εφάμιλλες των σύνθετων συστημάτων εξωτερικής θερμομόνωσης τύπου κελύφους ETICS, ώστε το νέον προϊόν που θα παραχθεί ως αποτέλεσμα της βιομηχανικής έρευνας στο πλαίσιο του παρόντος, να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα της λύσης επιχρίσματος που είναι, όπως ήδη αναφέρθηκε, η ευκολία, η εφικτότητα της εφαρμογής και το χαμηλό κόστος, με την αποδοτικότητα των συστημάτων ETICS.

ΥΛΙΚΑ

Στα δοκιμαστικά χρησιμοποιήθηκε τσιμέντου CEMI-52,5 ,Αδρανή Αερογέλης ,Πυριτική Αμμος και από πρόσμεικτα χρησιμοποιήθηκαν Επιφανειακό πρόσμεικτο ,Υπερπλαστικοποιητής ,Πρόσμεικτο συγκράτησης της υγρασίας (wetting agent),και Ακρυλικό Πολυμερές.

Η Αερογέλη (Aerogel) είναι το στερεό με τη μικρότερη πυκνότητα στον πλανήτη – μικρότερη ακόμη και από την πυκνότητα του αέρα –είναι ένας νανοαφρός αερογέλης διοξειδίου του πυριτίου με πυκνότητα 1 μικρογραμμάριο ανά κυβικό εκατοστό. Γενικώς οι αερογέλες που έχουν ως βάση το διοξείδιο του πυριτίου συγκαταλέγονται στα ελαφρότερα στερεά που γνωρίζουμε. Παρά την εύθραυστη όψη τους, αντέχουν σε πιέσεις χιλιάδες φορές μεγαλύτερες από τη μάζα τους, σε θερμοκρασίες ανώτερες των 1.800 βαθμών Κελσίου και σε εκρήξεις ως και ενός κιλού δυναμίτη. Επίσης απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή οικοδομικών υλικών τα οποία αφήνουν να περνάει το φως του Ηλιου αλλά παγιδεύουν τη θερμότητά του και τη χρησιμοποιούν για τη θέρμανση του κτιρίου.

Τα τυπικά χαρακτηριστικά της αερογέλης φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τυπικά Χαρακτηριστικά Αερογέλης

Ιδιότητα	Τυπικές Τιμές	Σχόλια
Φαινόμενο Βάρος	0,003-0,35 g/cm ³	Συνηθέστερη τιμή ~0,1g/cm ³
Εσωτερική Ειδική Επιφάνεια	600-1000m ² /g	-
Όγκος στερεών	0,13 – 15%	Τυπική τιμή 5% (95% free space)
Μέση Διάμετρος Πόρου	2-5 nm	Προσδιορισμένο με μέθοδο BET
Συντελεστής Θερμικής Διόγκωσης	2,0 -4,0 X 10 ⁶	-
Διηλεκτρική Σταθερά	~1,1	Για πυκνότητα =0,1 g/cm ³
Ταχύτητα Ηχου	100m/sec	Για πυκνότητα =0,07 g/cm ³

Πίνακας 1. Τυπικά χαρακτηριστικά αερογέλης

Η πιο διαδεδομένη μορφή αερογέλης είναι η silica aerogel, η αερογέλη που φτιάχνεται από διοξείδιο του πυριτίου - το κατ' εξοχήν συστατικό της άμμου, το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή του γυαλιού. Το διοξείδιο του πυριτίου μετατρέπεται σε ζελέ με την προσθήκη νερού και στη συνέχεια υπόκειται σε υπερκριτική ξήρανση: θερμαίνεται σε ειδικό αντιδραστήρα στους 241 βαθμούς Κελσίου, υπό πίεση 63 φορές μεγαλύτερη από την πίεση της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα τα υγρά συστατικά του να αντικαθίστανται άμεσα από αέρα, δημιουργώντας την κυψελώδη χαρακτηριστική δομή. Στο στάδιο αυτό (στο οποίο οφείλεται και το υψηλό κόστος του υλικού) οφείλεται η εξαιρετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του υλικού: αν η ζελατινώδης δομή δεν υποβληθεί σε υπερκριτική ξήρανση αλλά αποξηρανθεί με οποιονδήποτε άλλο τρόπο, τότε «καταρρέει», η δομή του καταστρέφεται και το τελικό πριόν δεν έχει τα χαρακτηριστικά της αερογέλης. Στην ακόλουθη φωτο φαίνονται τα αδρανή της εμπορικής αερογέλης που χρησιμοποιήθηκαν στα δοκιμαστικά.



Αδρανή Αερογέλης που χρησιμοποιήθηκαν στα δοκιμαστικά

Οι αξιοσημείωτες θερμομονωτικές ιδιότητες της αερογέλης ενδεικτικά φαίνονται στον ακόλουθο συγκριτικό Πίνακα 2 και τις σχετικές φωτογραφίες.

Πίνακας 2: Συγκριτικός Πίνακας Θερμομονωτικών Υλικών

Υλικό	Thermal Conductivity (W/mK)	Πυκνότητα (kg/m ³)
Πετροβάμβακας	30-40 (στους 100C)	30-200
Διογκωμένη Πολυστερίνη (EPS)	30-40 (στους 100C)	40
Εξηλασμένη Πολυστερίνη (XPS)	30-40 (στους 100C)	100-150
Φελλός	45 (στους 250C)	120-200
Πολυουρεθάνη (PUR)	35 (στους 250C)	40-60
Cellulose	35 (στους 250C)	24-27,2
Vacuum Insulated Panel (VIP)	3-4 (στους 100C) -	
Gas filled Panel (GFP)	36,1 για Ατμοσφαιρικό αέρα 49,2 για Αργό 86,7 για Κρυπτό -	
Aerogel	13-16 σε ατμοσφαιρική πίεση	3*

*Εξαρτάται από την εταιρεία παραγωγής



Αντίδραση του Aerogel σε φωτιά Υψηλές Θερμοκρασίες

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Για την υλοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών χρησιμοποιήθηκε ο συνήθης εργαστηριακός αναμείκτης κονιαμάτων όπως αυτός προδιαγράφεται στο EN 196-1.

Ζητούμενο των δοκιμαστικών είναι η παραγωγή ενός κονιάματος με τυπικά χαρακτηριστικά θερμομονωτικού κονιάματος ήτοι ομοιόμορφη αρχική εμφάνιση, καλή διατήρηση της εργασιμότητας, καλή συγκολλησιμότητα με το υπόστρωμα και δυνατότητα ψεκασμού.



Τυπική Εφαρμογή Θερμομονωτικού Κονιάματος

Σημειώνεται εδώ ότι η το κύριο ζητούμενο χαρακτηριστικό είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του κονιάματος ενώ οι χαμηλές αντοχές όλων των δοκιμαστικών είναι αναμενόμενες.

Τα χαρακτηριστικά της εμπορικής αερογέλης που χρησιμοποιήθηκε στα δοκιμαστικά φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα 3

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Χρησιμοποιηθείσας Αερογέλης

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Κοκκομέτρηση	0,01-4mm
Διάμετρος Πόρων	~20nm
Πορώδες	>90%
Ειδικό Βάρος	120-180 kg/m ³
Φαινόμενη Πυκνότητα	80-100 kg/m ³
Τύπος επιφάνειας	Εντελώς Υδροφοβική
Ειδική επιφάνεια	600-800 m ² /g

Είναι ιδιαίτερα σημαντική η προσθήκη του επιφανειοδραστικού δεδομένου ότι τα αδρανή της αερογέλης είναι υδροφοβικά με αποτέλεσμα να έχουν διάθεση να αποδράσουν από την πάστα (όπως είναι εμφανές στην ακόλουθη φωτο ,σε δοκιμαστικό χωρίς επιφανειοδραστικό).



Κονίαμα χωρίς επιφανειοδραστικό- απόμειξη αδρανών αερογέλης και τσιμεντόπαστας



Ομοιογενής Εμφάνιση Θερμομονωτικού Κονιάματος



Συγκολλησιμότητα του Θερμομονωτικού Κονιάματος

Για την μέτρηση του λ (θερμική αγωγιμότητα) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Θερμινόμενου Δίσκου (Hot Disk). Η μέθοδος του θερμινόμενου δίσκου είναι μια τεχνική η οποία εφαρμόζεται αποκλειστικά για τη μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας στερεών υλικών. Στην περίπτωση αυτή, ένα λεπτό μεταλλικό σύρμα, συχνά κατασκευασμένο από νικέλιο, διαμορφώνεται σε σχήμα σπирάλ, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα, και τοποθετείται μεταξύ δύο υμένων κάποιου σκληρού μονωτικού υλικού. Ο αισθητήρας, ο οποίος δημιουργείται, τοποθετείται στη συνέχεια μεταξύ δύο δοκιμίων, του υπό εξέταση στερεού υλικού και από τη μεταβολή της θερμοκρασίας του, λόγω μιας εξωτερικής πηγής θέρμανσης, υπολογίζεται τελικά η θερμική αγωγιμότητα. Η πειραματική διάταξη φαίνεται στην ακόλουθη φωτό.



Πειραματική Διάταξη Θερμινόμενου Δίσκου για τη μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας στερεών

Η τελευταία εξέλιξη της μεθόδου Θερμινόμενου Δίσκου αναφέρεται στον Gustafsson [S. E. Gustafsson et. al. (1979)], ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι παρόμοιοι αισθητήρες είναι εμπορικά διαθέσιμοι μαζί με το απαραίτητο λογισμικό, για τον τελικό υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας. Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται, βασίζεται σε αριθμητική μέθοδο επίλυσης των μερικών διαφορικών εξισώσεων μεταφοράς θερμότητας. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα 4.

Πίνακας 4:Αποτελέσματα Εργαστηριακών Δοκιμών

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8
Υλικό								
Τσιμέντο	30	30	30	30	25	20	15	10
Αερογέλη	50	60	65	70	75	80	85	90
Πυριτική Αμμος	20	20	10	5	0	0	0	0
Νερό (w/c ratio)	0,61	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,64	0,65
Επιφανειοδραστικό (%)	2	2	2	2	2,1	2,3	2,5	3
Υπερπλαστικοποιητής(%)	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2
Wetting Agent(%)	0,1							
Πολυμερές (%)	-	-	-	-	-	-	-	0,6
Αντοχή 28d (MPa)	0,56	0,49	0,37	0,35	0,30	0,27	0,25	0,2
Dry Density (kg/m³)	-	-	-	-	-	-	-	200
Thermal Conductivity	-	-	-	-	75	45	30	25

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Είναι προφανές ότι από την πιθανή του Υψηλής Θερμομονωτικής Ικανότητας Κονίαμα βασισμένο στην Αερογέλη τα οφέλη είναι πολλά.

Παρατίθενται επιγραμματικά

- Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας για Θέρμανση-Δροσισμό ήτοι μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των κατασκευών
- Πιθανότατα φθηνότερο κόστος μόνωσης δεδομένου ότι λόγω χαμηλότερου συντελεστή θερμοχωρητικότητας θα χρειαστεί μικρότερο πάχος μόνωσης
- Δυνατή η εφαρμογή σε παλιές και νέες κατασκευές
- Αύξηση της πυροπροστασίας
- Αύξηση της Ηχομόνωσης
- Εύκολη δυνατότητα εφαρμογής σε Ιστορικά Κτίρια με γρήγορο ,αποτελεσματικό τρόπο και με μικρή αύξηση του πάχους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] *Μακροπρόθεσμη στρατηγική για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος*, ΑΠ: ΔΕΠΕΑ-Γ-οικ. 185497/21-12-2015.

[2] *Εθνικό σχέδιο δράσης ενεργειακής απόδοσης (Σύμφωνα με την παρ.2 του άρθ. 24 της οδηγίας 2012/27/ΕΕ)*, ΑΠ: ΔΕΠΕΑ-Γ-οικ. 185496/21-12-2015.

[3] S.H. Rezai, F. Allard, C. Abelé and M. Doya, “Evaluating External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) regarding the building’s global performance”, *Energy Procedia*, 78, 1562-67, 2015.

[4] V. F. Mas, T. Bond b, E. G. Alcocel, C.R. Cheeseman “Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash”, *Construction and Building Materials*, 61, 285–292, 2014.

[5] *Preparation of high porosity xerogels by chemical surface modification*, US Patent 5,565,142 (1996) & *Process for the subcritical drying of aerogels*, US Patent 5,680,713 (1997).

[6] C. Buratti, E. Moretti and E. Belloni, *Aerogel Plasters for Building Energy Efficiency*, in *Nano and Biotech Based Materials*, F. Pacheco Torgal et al. (eds.), Springer International Publishing Switzerland 2016

[7] X. Lu, M. C. Arduini-Schuster, J. Kuhn, O. Nilsson, J. Fricke, R. W. Pekala, *Thermal Conductivity of Monolithic Organic Aerogels*, *Science*, 255 (5047), 971-972 (1992).

[8] Λυκούδης Σ.- Ευφραιμίδης Α.: Πρόγραμμα Egg Enter Grow Go– Υψηλής Επιτελεσματικότητας Κονίαμα Βασισμένο στην Αερογέλη ,2014

[9] *Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review* Erdem Cuce , Pinar Mert Cuce, Christopher J. Wood, Saffa B. Riffat

[10] *Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review* Ruben Baetens a,b,c, Bjørn Petter Jelle a,c, Arild Gustavsen d

[11] *Thermo-hygric properties of a newly developed aerogel based insulation rendering for both exterior and interior applications* Th. Stahl*, S. Brunner, M. Zimmermann, K. Ghazi Wakili

[12] *Cement Based Renders with Insulating properties* , Stefanidou Maria