

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΜΟΝΩΣΕΙΣ.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ  
ΣΗΡΑΓΓΩΝ**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ : ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΑΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. ΕΙΡΗΝΗ ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ**

**ΠΑΤΡΑ-ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας οφείλεται σε ένα βαθμό στη βοήθεια αρκετών προσώπων, τα οποία και θα ήθελα να τα ευχαριστήσω. Κατ' αρχήν ευχαριστώ θερμά την κ. Ειρήνη Βγενοπούλου η οποία επέβλεψε όλη την πορεία πραγματοποίησης της εργασίας. Οι παρατηρήσεις τόσο κατά το σχεδιασμό, όσο και κατά τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας ήταν εποικοδομητικές και συνέλαβαν στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος. Ευχαριστώ επίσης θερμά τους : Π.Αθανασοπούλου, Ε.Γκοτσοπούλου, Σ.Μακρή , Κ.Γιαννέλου που με βοήθησαν σημαντικά στη διεξαγωγή καθώς και στη συγγραφή της πτυχιακής εργασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη και την και την ανοχή τους καθ' όλη την διάρκεια της προσπάθειας μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τις μονώσεις δηλαδή τις εργασίες που απαιτούνται ώστε οι κατασκευές να προστατεύονται από την θερμότητα, τον ήχο καθώς και την υγρασία. (θερμομόνωση ,ηχομόνωση, στεγάνωση). Συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μονώσεις γενικότερα, καθώς και την εξέλιξη των μονωτικών υλικών κατά την διάρκεια του χρόνου σε Ελλάδα και Ευρώπη . Στο δεύτερο κεφάλαιο υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την θερμομόνωση καθώς και ειδική αναφορά στα πιο διαδεδομένα υλικά θερμομόνωσης. Στο τρίτο κεφάλαιο υπάρχουν αναφορές σχετικά με την υγρασιμόνωση όπως και μερικές από τις πιο γνωστές μεθόδους στεγάνωσης, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο θα βρείτε πληροφορίες σχετικές με την ηχομόνωση. Τέλος στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην στεγάνωση σηραγγών καθώς και σε μία μεθοδολογία που κερδίζει συνεχώς έδαφος στην Ασιατική κυρίως ήπειρο.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ** : Μόνωση , θερμομόνωση , ηχομόνωση , υγρασιμόνωση , στεγάνωση σηραγγών

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΟΝΩΣΗΣ.....	6
1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ .....	6
1.3 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	7
1.4 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.....	11

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ

2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ.....	14
2.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ.....	15
2.3 ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	18
2.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΩΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	19
2.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	31
2.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	32

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΥΓΡΟΜΟΝΩΣΗ

3.1 ΕΙΔΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΟΜΟΝΩΣΗΣ.....	38
3.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	38
3.3 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	39
3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΓΡΟΜΟΝΩΣΗΣ.....	39
3.5 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΥΓΡΟΜΟΝΩΣΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	45

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ

4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ.....	47
4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	49
4.3 ΗΧΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	50
4.4 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	50
4.5 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	51
4.6 ΥΛΙΚΑ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	52

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5-ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

5.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....	54
5.2 ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....	54
5.3 ΕΥΡΕΣΙΤΕΧΝΙΑ ΚΙΝΕΖΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ.....	60
5.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ PVC30541.....	72
5.5 ΒΑΦΗ MASTERSEAL 142Α ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ.....	74
5.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΒΑΦΗΣ MASTERSEAL 142Α.....	76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Εξηλασμένη πολυστερίνη και τρόπος παραγωγής της.....	10
Εικόνα 2 : Διογκωμένη πολυστερίνη.....	10
Εικόνα 3 : α) Πετροβάμβακας β) Υαλοβάμβακας .....	11
Εικόνα 4 : Διαδικασία διαμόρφωσης ρύσεων και στεγανοποίησης σε ταράτσα.....	40
Εικόνα 5 : Σύγκριση ανεστραμμένης και συμβατικής μόνωσης.....	42
Εικόνα 6 : Επίστρωση επαλειφόμενου στεγανωτικού υλικού σε ταράτσα.....	42
Εικόνα 7 : Τοποθέτηση ασφαλτικής μεμβράνης σε τοίχο.....	43

Εικόνα 8 : Τοποθέτηση συνθετικής μεμβράνης σε τάρτασα.....	45
Εικόνα 9 : Διανοιγμένες σήραγγες, όπως αυτό το τούνελ της εθνικής οδού στην Ακτή Ειρηνικού κοντά στην Τσουλήθρα του Διαβόλου, Καλιφόρνια, μπορεί να είναι μια πρόκληση για τα στεγανωτικά. Τυπικά, το διακύβευμα είναι υψηλό, το εργοτάξιο δυσπρόσιτο, και το μέγεθος του έργου τεράστιο.....	54
Εικόνα 10: Σύστημα ψεκασμού με κρυσταλλικά συστήματα.....	56
Εικόνα 11 : Οι μεμβράνες PVC είναι μια δημοφιλής επιλογή για σήραγγες και εισόδους σηράγγων λόγω της αντοχής, της τιμής και της ευκολίας χρήσης τους.....	57
Εικόνα 12 : Η 25-μιλίων-μήκους Σήραγγα της Μάγχης, που συνδέει την Αγγλία και τη Γαλλία, χρησιμοποίησε περισσότερους από 500 τόνους στεγάνωσης αρμών.....	59

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1 : Ιδιότητες κυριότερων υλικών αγοράς.....	9
Πίνακας 2 : Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας ανά κατηγορία κτιρίου από την εφαρμογή μόνωσης.....	17
Πίνακας 3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοβάμβακα.....	21
Πίνακας 4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά πετροβάμβακα.....	23
Πίνακας 5 : Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένης πολυστερίνης.....	25
Πίνακας 6 : Τεχνικά χαρακτηριστικά εξηλασμένης πολυστερίνης.....	27
Πίνακας 7 : Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρού πολυουρεθάνης.....	29
Πίνακας 8 : Τεχνικά χαρακτηριστικά πλακών από ξυλόμαλλο.....	31
Πίνακας 9 : Βασικές, φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών.....	36

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 1 : Χρήση θερμομονωτικών υλικών στην ελλαδική χώρα την δεκαετία του 2000.....	9
Σχήμα 2 : Χρήση θερμομονωτικών υλικών στην Ευρωπαϊκή αγορά.....	12
Σχήμα 3 : Το σχήμα 3 παρουσιάζει τα βήματα κατασκευής της ευρεσιτεχνίας.....	68
Σχήμα 4 : Το σχήμα 4 παρουσιάζει μια εναλλακτική υλοποίηση της ευρεσιτεχνίας.....	70
Σχήμα 5 : Το σχήμα 5 παρουσιάζει μία ακόμα εναλλακτική υλοποίηση της ευρεσιτεχνίας.....	71
Σχήμα 6 : Το σχήμα 6 είναι λεπτομέρεια του αγωγού που απεικονίζεται στο σχήμα 3 με τον αριθμό 70.....	72
Σχήμα 7 : Το σχήμα 7 δείχνει σε τομή τον αγωγό 70 του σχήματος 4.....	73
Σχήμα 8 : Το σχήμα 8 δείχνει σε τομή τον αγωγό 70 όπως χρησιμοποιείται στην τέταρτη υλοποίηση της παρούσας ευρεσιτεχνίας .....	74

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΟΝΩΣΗΣ

Ως μόνωση ορίζεται ο γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την προστασία της κατασκευής από τη θερμότητα, τον ήχο και την υγρασία (σε καθημερινούς όρους θερμομόνωση, ηχομόνωση, στεγάνωση). Ειδικότερα για τις κατασκευές χρησιμοποιούνται οι όροι θερμομόνωση, ηχομόνωση και υγρασιμόνωση (στεγάνωση-στεγανοποίηση).

Σε μία κατασκευή η μόνωση είναι βασικό στοιχείο για τρεις βασικούς λόγους:

1. Εξοικονομούνται χρήματα και ενέργεια.
2. Οι κατοικίες και οι χώροι εργασίας γίνονται πιο άνετοι και λειτουργικοί.
3. Προλαμβάνονται ζημιές και το περιβάλλον της κατασκευής παραμένει υγιεινό.

Το είδος και η αποτελεσματικότητα της μόνωσης εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως το τοπικό κλίμα, το σχήμα, το μέγεθος, η τοποθεσία και η κατασκευή του χώρου και το πλήθος των ανθρώπων που κατοικούν στο χώρο.

Οι περισσότερες παλαιές κατασκευές έχουν λιγότερη μόνωση από τις καινούριες, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η ενίσχυση της μόνωσης και στις καινούριες κατασκευές αποτελεί επιπλέον κόστος διότι μπορούν να κάνουν απόσβεση του κόστους σε λίγα μόνο χρόνια. Είτε χρειαζόμαστε θερμομόνωση, ηχομόνωση ή υγρασιμόνωση σε μία κατασκευή ένα σημείο που πρέπει να προσεχθεί με τη μόνωση είναι ο εξαερισμός. Σε μία κατασκευή ο εξαερισμός, δηλαδή η εισαγωγή και εξαγωγή αέρα από έξω προς τα μέσα, είναι απαραίτητος καθώς ο ελλιπής εξαερισμός μπορεί να δημιουργήσει κινδύνους για την υγεία. Επίσης, ο εξαερισμός βοηθάει στον έλεγχο της υγρασίας, ένα βασικό στοιχείο για να παραμείνει ο χώρος υγιεινός. Μία κατασκευή πρέπει να έχει σωστή μόνωση περιμετρικά και από τα θεμέλια μέχρι τη στέγη. Πρέπει δηλαδή να προσεχθούν οι εξωτερικοί τοίχοι, τα κουφώματα, τα δάπεδα (ειδικά εάν είναι πάνω από γκαράζ ή πυλωτές), τα υπόγεια (εάν υπάρχουν) και η στέγη.

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Από αρχαιοτάτων χρόνων στον πλανήτη Γη μπορούσαν να γίνουν αντιληπτές τέσσερις ξεχωριστές εποχές. Μερικές περιοχές του πλανήτη αντιμετώπιζαν και αντιμετώπιζον ακραίες θερμοκρασίες και για αυτόν το λόγο οι κάτοικοί τους έπρεπε να ανακαλύψουν τρόπους για να μπορούν να διατηρήσουν ένα άνετο περιβάλλον διαβίωσης. Η μόνωση έχει χρησιμοποιηθεί ανά τους αιώνες με σκοπό να κρατήσει τη θερμότητα μέσα και το κρύο έξω ή το αντίστροφο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένες από τις εναλλακτικές τεχνικές που είναι σήμερα φιλικές προς το περιβάλλον, όπως τα υφάσματα, χρησιμοποιούνταν και στην αρχαιότητα ως μόνωση.

Πολλά έθνη που ζούσαν σε ιδιαίτερα θερμό κλίμα είχαν κατασκευάσει σπίτια με χοντρούς τοίχους. Τα παχύτερα τοιχώματα μπορούσαν να μονώσουν από τη ζέστη και να παρέχουν ένα πιο δροσερό και πιο εύκρατο εσωτερικό περιβάλλον όπου μπορούσε ο άνθρωπος να ζήσει άνετα. Αυτό αποδεικνύεται και σε πολλά από τα αρχαία ερείπια των Μάγια στην Κεντρική Αμερική. Οι

Αιγύπτιοι χρησιμοποίησαν επίσης αυτές τις μεθόδους κατασκευής για να κρατήσουν έξω τη θερμότητα της ερήμου της Σαχάρας. Τα σπίτια χαρακτηρίζονταν από χαμηλές στέγες και μικρά παράθυρα, έτσι ώστε η θερμότητα να μην μπορεί να διεισδύσει και να παραμείνει μέσα στο εσωτερικό της οικίας. Οι αρχαίοι Έλληνες πραγματοποίησαν πιθανώς μερικές από τις πιο σημαντικές ανακαλύψεις για τη μόνωση. Όσον αφορά την κατασκευή κτιρίων, χρησιμοποίησαν κοιλότητες στην τοιχοποιία για τη θερμομόνωση των κτιρίων. Η κοιλότητα στην τοιχοποιία είναι ένα κενό ανάμεσα σε δύο τοίχους που παγιδεύει αέρα και σταθεροποιεί τη θερμοκρασία. Με άλλα λόγια, κατά τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες η κοιλότητα, βοηθούσε να κρατήσουν το θερμό αέρα έξω και τους ψυχρότερους μήνες του χειμώνα, βοηθούσε να κρατήσει τη ζεστασιά μέσα στα σπίτια. Οι Ρωμαίοι, επίσης χρησιμοποίησαν την ίδια μέθοδο για να μονώνουν τα σπίτια τους. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν υλικά όπως ο φελλός για να μονώσουν σωλήνες ζεστού νερού, έτσι ώστε η θερμότητα από τους σωλήνες να μην προκαλέσει ρωγμές στους τοίχους. Ως επιπρόσθετη μόνωση χρησιμοποιήθηκαν σε πολλές περιοχές και τα υφάσματα. Κομμάτια πανιού έμπαιναν στα παράθυρα για να μπορέσουν να κρατήσουν έξω τη σκόνη και τη ζέστη της ερήμου ή το κρύο του χειμώνα στις ευρωπαϊκές χώρες. Γούνες ζώων χρησιμοποιήθηκαν ως χαλιά, ενώ λινά υφάσματα χρησιμοποιήθηκαν ως κουρτίνες. Περίτεχνα ταπισερί ήταν κρεμασμένα στους τοίχους και βοηθούσαν στη διαχείριση της υγρασίας που συγκεντρωνόταν στα πέτρινα κτίρια. Μεγάλη βοήθεια προσέφεραν σε μερικές περιπτώσεις και οι ταπετσαρίες.

Κατά τη διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης, η μόνωση έγινε αναπόσπαστο μέρος της για πολλά σχέδια. Ο αμίαντος ήταν ο βασικός τύπος της χρησιμοποιούμενης μόνωσης λόγω των πυρίμαχων ιδιοτήτων του. Το ενδιαφέρον είναι ότι ο αμίαντος είχε χρησιμοποιηθεί από τους αρχαίους Έλληνες και τους Ρωμαίους ως μόνωση, ακόμα και ως ενδυμασία για τους σκλάβους τους. Αν και οι Έλληνες είχαν προσέξει ότι προκαλούσε πνευμονικές νόσους σε αυτούς που είχαν εκτεθεί σε αυτό, οι βιομήχανοι φαίνεται να αγνοούσαν αυτό το γεγονός. Για περισσότερο από έναν αιώνα, ο αμίαντος εξακολουθούσε να είναι η κύρια μορφή μόνωσης. Ήταν μόλις στα μέσα της δεκαετίας του 1970 που οι βλαβερές συνέπειες του καταγράφηκαν, γεγονός που ανάγκασε τις βιομηχανίες να εξετάσουν και άλλες μορφές μόνωσης. Τότε, το Fiberglass (υαλονήματα) έκανε την εμφάνισή του το οποίο αποτελεί ένα υλικό που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες έχουν κατανοήσει ότι όλες οι οικίες που χτίζονται πλέον πρέπει να είναι ενεργειακά αποδοτικότερες και να μη βλάπτουν το περιβάλλον. Οι απαιτήσεις της μόνωσης γίνονται όλο και πιο λεπτομερείς και αυστηρές. Η σκέψη ότι όσο καλύτερη η μόνωση, τόσο μεγαλύτερη και η ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, είναι αυτή που κυριαρχεί. Οι κοιλότητες στην τοιχοποιία εμφανίζονται εκ νέου σε πολλά σπίτια και κατασκευαστικά έργα. Έχει αναπτυχθεί επίσης και ένας τεράστιος αριθμός νέων υλικών που πέρα από τις εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες που διαθέτουν είναι και εξαιρετικά φιλικά προς το περιβάλλον.

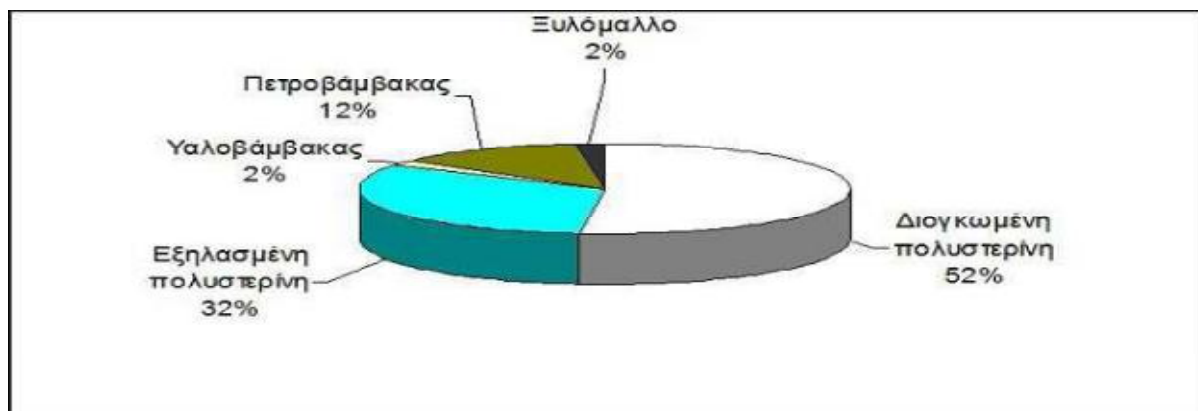
### **1.3 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Στην Ελλάδα έχουν συμπληρωθεί είκοσι δύο χρόνια από την θέσπιση του Κανονισμού Θερμομόνωσης το 1979 και, ενώ οι μελετητές και κατασκευαστές περιμένουν τον αναγγελθέντα νέο Κανονισμό Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας στα κτίρια (ΚΟΧΕΕ), έχει ενδιαφέρον να εξετάσει κανείς τα αποτελέσματα της εφαρμογή της θερμομόνωσης, ως προς τα



υλικά και τη διαμόρφωση της αγοράς. Η θεσμοθέτηση του κανονισμού θερμομόνωσης οδήγησε στην ανάπτυξη ενός νέου βιομηχανικού κλάδου και μίας νέας αγοράς. Η αγορά θερμομονωτικών υλικών χαρακτηρίστηκε στη δεκαετία του 1980 από εξαιρετική ανάπτυξη, ενώ στη δεκαετία του 1990 πήρε σε μεγάλο βαθμό την μορφή που παρουσιάζει σήμερα, με την εγχώρια ζήτηση, ως συνάρτηση της οικοδομικής δραστηριότητας, να αποτελεί τον κύριο παράγοντα διαμόρφωσης της κατάστασης και τις εξαγωγές να αποτελούν εξισορροπητικό παράγοντα για τις λίγες, μεγάλες επιχειρήσεις που μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των ξένων αγορών. Οι υπόλοιποι προσδιοριστικοί παράγοντες μίας αγοράς όπως η διαθέσιμη τεχνολογία, το ανθρώπινο δυναμικό και η κρατική πολιτική, δείχνουν μία σταθερότητα τα τελευταία χρόνια με σημαντικότερη εξέλιξη αυτήν της τεχνολογίας παραγωγής, που οδήγησε σε μείωση των τιμών συγκεκριμένων μονωτικών υλικών, όπως η εξηλασμένη πολυστερίνη, σε σχέση με τη δεκαετία του 1980. Παράλληλα, έγινε μία σημαντική προσπάθεια εμπέδωσης της αναγκαιότητας της θερμομόνωσης στους τελικούς καταναλωτές, με αρκετά επιτυχή αποτελέσματα. Η εικόνα που παρουσιάζουν η ελληνική αγορά και ο εγχώριος κλάδος μονωτικών υλικών το 2011 μπορεί να περιγραφεί από τα εξής χαρακτηριστικά:

Υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός επιχειρήσεων που ασχολείται με την παραγωγή ή τις εισαγωγές μονωτικών υλικών, αλλά και με την διακίνησή τους. Πρέπει όμως, να σημειωθεί η περιπλοκότητα του αντικειμένου των επιχειρήσεων καθώς είναι συνηθισμένο το φαινόμενο η ίδια επιχείρηση να είναι παραγωγός, εισαγωγέας αλλά και διακινητής όχι μόνο ενός προϊόντος, αλλά μίας ευρείας ποικιλίας προϊόντων που προσπαθούν να φανούν διαφοροποιημένα από τα προϊόντα των υπολοίπων επιχειρήσεων, να καλύπτουν εισοδηματικά ένα μεγάλο εύρος καταναλωτικών προϋπολογισμών και να προσφέρουν μία ολοκληρωμένη σειρά δομικών υλικών για όλο το εύρος των εφαρμογών από τη θερμομόνωση και τη στεγάνωση ως τις γυψοσανίδες και τα συστήματα ξηρής δόμησης. Σε επίπεδο προϊόντων η αγορά θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν περίπτωση «μονοπωλιακού ανταγωνισμού» καθώς οι μεγαλύτερες επιχειρήσεις προσπαθούν να διαφοροποιηθούν προσφέροντας προϊόντα τα οποία έχουν διαφορετικές ιδιότητες αλλά είναι ανταγωνιστικά μεταξύ τους, ενώ σε συγκεκριμένες αγορές, όπως της διογκωμένης πολυστερίνης, η αγορά θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν ανταγωνιστική επειδή υπάρχουν πάρα πολλοί παραγωγοί που παράγουν το συγκεκριμένο προϊόν. Παρά το γεγονός ότι υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός μονωτικών υλικών, τρία από αυτά μονοπωλούν την αγορά αφού καλύπτουν πάνω από το 90% της ζήτησης, ενώ σημειώνεται μία σχετική μετακίνηση των καταναλωτικών προτιμήσεων προς ακριβότερα υλικά τα τελευταία χρόνια. Στην ελληνική αγορά κυριαρχούν η διογκωμένη και η εξηλασμένη πολυστερίνη, ενώ σε μικρό ποσοστό εμφανίζονται το ξυλόμαλλο, ο υαλοβάμβακας και η πολυουρεθάνη.



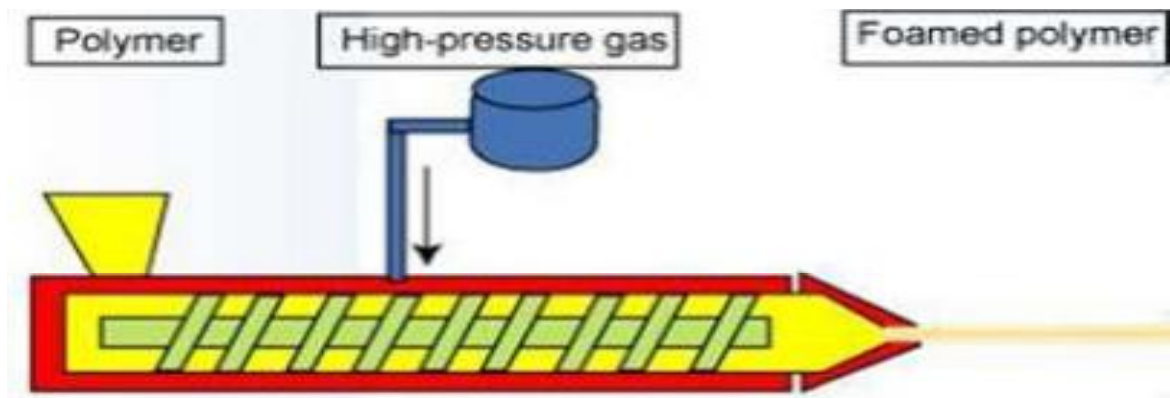
Σχήμα 1: Χρήση θερμομονωτικών υλικών στην ελλαδική αγορά τη δεκαετία του 2000

Υπό αυτήν την έννοια ο κλάδος των θερμομονωτικών υλικών αποτελεί ένα δυναμικό τμήμα της ελληνικής παραγωγικής βιομηχανίας, χωρίς, όμως, η οργάνωσή του να είναι η αναμενόμενη. Ειδικότερα, δεν υπάρχει μέχρι σήμερα ένας ενιαίος κλαδικός φορέας, ο οποίος να εκπροσωπεί και να είναι υπεύθυνος για όλους τους παραγωγούς θερμομονωτικών υλικών, παρά μια ένωση παραγωγών διογκωμένης πολυστερίνης, η οποία και αυτή υπολειτουργεί. Ο μεγάλος αριθμός μικρών παραγωγών και εισαγωγέων καθώς και η κακώς εννοούμενη ανταγωνιστική προσέγγιση κοινών προβλημάτων έχουν συντελέσει σημαντικά σε αυτήν την κατάσταση.

Το γεγονός ότι οι Μηχανικοί-Μελετητές και οι τελικοί καταναλωτές έχουν αρχίσει να διαμορφώνουν μία ζήτηση για επώνυμα, αναγνωρίσιμα υλικά αποτελεί θετική εξέλιξη. Τα «κλασικά» χαρακτηριστικά ιδιοτήτων των κυριότερων υλικών της αγοράς, όπως έχουν πιστοποιηθεί επί σειρά ετών, και οι δυνατές τους χρήσεις φαίνονται στον Πίνακα 1.

Υλικά	Πυκνότητα $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Συντελεστής αγωγιμότητας $\lambda$ [W/m <sup>2</sup> K]	Ωφέλιμη διάρκεια ζωής [έτη]	Χρήση
Διογκωμένη Πολυστερίνη	15 - 30	0,4	50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία
Εξηλασμένη πολυστερίνη	25 - 35	0,28 - 0,32	50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία
Σκληρές πλάκες πολυουρεθάνης	30 - 35	0,25 - 0,30	50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία
Αερός πολυουρεθάνης	35 - 50	0,30 - 0,35	30 - 50	Σε όλα τα στοιχεία και ειδικότερα σε αυτά κυκλικής γεωμετρίας
Υαλοβάμβακας	18 - 40	0,35 - 0,5	30 - 50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, για θερμομόνωση - ηχομόνωση
Πετροβάμβακας	30 - 150	0,35 - 0,5	30 - 50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, βιομηχανικές εγκαταστάσεις θερμομόνωση - ηχομόνωση
Ξυλόμαλλο	360 - 570	0,90	75 - 100	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, για εξωτερική θερμομόνωση, σέρουρες κατοικιών
Σύνθετες Πλάκες Ξυλόμαλλου πολυστερίνης κ Ξυλόμαλλου πέτροβάμβακα		0,40 - 0,45	50 - 75	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, για εξωτερική θερμομόνωση, σέρουρες κατοικιών
Φελλός	120 - 200	0,45 - 0,55	50 - 80	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία
Αεραίες γυαλί	100 - 150	0,45 - 0,5	50 - 80	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, για χώρους που βέχονται συζημένα φορτία, Parking και Parking βαρέων οχημάτων

Πίνακας 1 : Ιδιότητες κυριότερων υλικών αγοράς



Εικόνα 1: Εξηλασμένη πολυστερίνη και τρόπος παραγωγής της



Εικόνα 2: Διογκωμένη πολυστερίνη



Εικόνα 3: α) Πετροβάμβακας ,

β) Υαλοβάμβακας

#### 1.4 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Είναι ευνόητο ότι για την επίτευξη ιδιαίτερα μικρών τιμών ανοιγμένης κατανάλωσης ενέργειας απαιτείται η χρήση δομικών στοιχείων υψηλής ποιότητας, όπως κουφώματα με συντελεστή  $k$  μικρότερο του  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$  και θερμομονωτικά υλικά με συντελεστή  $\lambda$  μικρότερο του  $0.03 \text{ W/mK}$  και μέσο πάχος μεγαλύτερο των  $20 \text{ cm}$ .

Ενδιαφέρον έχει να παρατηρήσει κανείς ότι στην κεντροευρωπαϊκή αγορά κυριαρχούν τα ανόργανα ινώδη υλικά (υαλοβάμβακας και πετροβάμβακας καλύπτουν περίπου το 60%) με τα οργανικά αφρώδη (διογκωμένη και εξηλασμένη πολυστερίνη, λιγότερο η πολυουρεθάνη) να έπονται καλύπτοντας το 30% της αγοράς, ενώ το εναπομένον 10% καλύπτεται από τα υπόλοιπα υλικά, με σημαντικότερη παρουσία αυτή του ξυλόμαλλου. Εξειδικευμένα υλικά, όπως ο φελλός και το αφρώδες γυαλί, χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 εμφανίστηκαν στην αγορά δύο νέες κατηγορίες υλικών: Τα διαφανή θερμομονωτικά υλικά και τα οργανικά ινώδη υλικά από οικολογική πρώτη ύλη, όπως το μαλλί προβάτων και το τριφύλλι. Και οι δύο κατηγορίες παραμένουν στο περιθώριο της αγοράς, παρά το επιστημονικό ενδιαφέρον που παρουσιάζουν, κυρίως εξαιτίας του υψηλού τους κόστους. Συνολικά, η ευρωπαϊκή αγορά θερμομονωτικών υλικών χαρακτηρίζεται από διαφοροποίηση και πολυμορφία, στην προσπάθεια αναζήτησης του κατάλληλου υλικού ανάλογα με το δομικό στοιχείο, τη μορφολογία του κτιρίου και τους οικονομικούς περιορισμούς ( Παπαδόπουλος, 1998)

Ταυτόχρονα, με την ανάπτυξη μίας σφαιρικής πλέον προσέγγισης για τη διαχείριση του περιβάλλοντος, αρχίζει να δίνεται έμφαση όχι μόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη λειτουργία του κτιρίου, αλλά σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του. Υπό αυτήν την έννοια αποκτά σημασία όχι μόνο το τι μείωση στο συντελεστή θερμοπερατότητας μπορούμε να πετύχουμε, αλλά και με τι δαπάνη σε πρώτες ύλες και ενέργειας για την παραγωγή του θερμομονωτικού υλικού, και με τι περιβαλλοντική επιβάρυνση κατά τη χρήση και την απόρριψή του, στο πέρας της ωφέλιμης ζωής του. Η συγκριτική αξιολόγηση των ινωδών υλικών (πετροβάμβακας, υαλοβάμβακας) και των αφρωδών (εξηλασμένη και διογκωμένη πολυστερίνη) με κριτήρια επιπτώσεων στο περιβάλλον και την υγεία, στην οποία θα γίνει αναφορά στις επόμενες

παραγράφους, είναι χαρακτηριστική. Από αυτήν, άλλωστε, την αναζήτηση προέκυψε και η εξέλιξη υλικών όπως το προβατόμαλλο.



Σχήμα 2 : Χρήση θερμομονωτικών υλικών στην ευρωπαϊκή αγορά

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ



## 2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Είναι γνωστό ότι ανάμεσα σε δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες προκαλείται συνεχής ροή θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο και πως οι θερμικές απώλειες δεν νοούνται μόνο για την απώλεια της ζέστης ενός χώρου το χειμώνα αλλά και της δροσιάς το καλοκαίρι, όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι θερμότερος. Αυτή η ροή θερμότητας είναι αδύνατο να εμποδιστεί τελείως και μπορεί, μόνο, να περιοριστεί ως προς την ένταση και τη διάρκειά της. Αυτό είναι κατορθωτό μόνο όταν υπάρχει έλεγχος των θερμικών απωλειών. Ο επιδιωκόμενος έλεγχος και περιορισμός των θερμικών απωλειών επιτυγχάνεται με τη θερμομόνωση του κελύφους, η οποία μειώνει το ρυθμό μετάδοσης της θερμότητας μέσω των εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου.

Πριν καταφύγει κανείς σε οποιαδήποτε μέτρα θερμομόνωσης για τον έλεγχο των θερμικών απωλειών πρέπει, κατά το σχεδιασμό, να έχει υπόψη του τους βασικότερους παράγοντες που τις προκαλούν. Τέτοιοι παράγοντες είναι: Η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του κτιρίου μέσα στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι, όσο περισσότερο εκτεθειμένο είναι ένα κτίριο στους ανέμους τόσο μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας εμφανίζει. Επίσης, όσο περισσότερο προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία τόσο οι απώλειες ψύξης των εσωτερικών χώρων του είναι μεγαλύτερες. Το μέγεθος των επιφανειών του εξωτερικού περιβλήματος του κτιρίου που είναι άμεσα εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες, σε συνάρτηση με τον όγκο του κτιρίου. Ένα ελεύθερο στο χώρο κτίριο εμφανίζει πολύ μεγαλύτερες απώλειες από ένα άλλο που είναι ενταγμένο σε ένα συνεχές σύστημα δόμησης. Το πόσο εκτεθειμένοι στο περιβάλλον είναι οι διάφοροι χώροι του κτιρίου. Χώροι τελείως εσωτερικοί θεωρείται ότι δεν παρουσιάζουν καμία θερμική μεταβολή. Αντίθετα, χώροι που εκτείνονται σε δύο ή περισσότερους ορόφους, όπως για παράδειγμα τα κλιμακοστάσια, παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες. Τα εξωτερικά κουφώματα, τα οποία, ανάλογα με το μέγεθος, τον αριθμό και τη θέση τους στις όψεις ενός κτιρίου, επηρεάζουν τη ροή της θερμότητας και η κακή συναρμογή τους επιτρέπει τη διείσδυση ρευμάτων αέρα.

Ο ρυθμός ροής θερμότητας διαμέσου του κελύφους ενός κτιρίου εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται και κυρίως από τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Η μελέτη και η σωστή εφαρμογή της θερμομόνωσης βασίζεται στον βέλτιστο συνδυασμό των μεθόδων και υλικών κατασκευής, τα οποία προσδίδουν συγκεκριμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες στα δομικά στοιχεία του κτιρίου.

Ένα κτίριο πρέπει να θερμομονώνεται σε όλες τις εξωτερικές επιφάνειές του, κατακόρυφες και οριζόντιες, που περικλείουν κλιματιζόμενους χώρους από τους οποίους είναι δυνατό να διαφύγει θερμική ενέργεια (επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με ατμοσφαιρικό αέρα ή μη κλιματιζόμενους χώρους)

Με τη λήψη μέτρων για θερμομόνωση του κελύφους ενός κτιρίου επιδιώκεται η μείωση του ρυθμού ροής θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα που χωρίζουν περιοχές ή χώρους με

διαφορετική θερμοκρασία. Η θερμομόνωση συνίσταται από ένα σύνολο στοιχείων (υλικά, διαδικασίες και μέθοδοι κατασκευής) και συνδέεται άμεσα με το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του κτιρίου.

## 2.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ

Οι παλιές κατοικίες πριν από το 1980, δεν διέθεταν θερμομόνωση εκτός από λίγες εξαιρέσεις, που κυρίως διέθεταν μόνωση στην οροφή. Μια αμόνωτη κατοικία παρουσιάζει αυξημένη κατανάλωση θερμικής ενέργειας κατά την διάρκεια του χειμώνα μέχρι και τις 400 kWh/m<sup>2</sup> ετησίως. Αντίθετα μια μονωμένη κατοικία δεν υπερβαίνει τις 150 kWh/m<sup>2</sup> με τον ίδιο συντελεστή F/V (επιφάνεια/ όγκο κτιρίου).

Αυτό δείχνει πόσο σημαντική είναι η εφαρμογή θερμομόνωσης, για την μείωση της θερμικής κατανάλωσης και των εκλυόμενων ρύπων. Μετά το 1980, αρχίζει η εφαρμογή θερμομόνωσης στα κτίρια με σοβαρά προβλήματα στην κατασκευή, κυρίως λόγω έλλειψης εμπειρίας των εργολάβων. Ένα βασικό κατασκευαστικό λάθος ήταν η μερική θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων, αφού λόγω δυσκολιών δεν μονωνόταν ο φέροντας οργανισμός των κτιρίων, δοκάρια και οι κολώνες. Πρέπει δε να σημειωθεί ότι το μπετόν έχει πολύ υψηλό συντελεστή θερμοπερατότητας (k) και είναι πολύ καλός αγωγός της ελλιπής εφαρμογή της θερμομόνωσης δημιουργεί θερμογέφυρες στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου, με αποτέλεσμα την έντονη θερμοκρασιακή στρωμάτωση θερμότητας (Παπαδόπουλος, 2004).

Η θερμοκρασιακή στρωμάτωση εντείνεται ακόμα περισσότερο στις κατασκευές με ελλιπή μόνωση. Οι συνέπειες των θερμογεφυρών σε ένα κτίσμα είναι οι εξής:

- Απώλειες θερμότητας από τα σημεία των θερμογεφυρών που είναι δυσανάλογη από τις απώλειες θερμότητας των υπολοίπων μονωμένων επιφανειών
- Συμπύκνωση των εκλυόμενων υδρατμών από τους εσωτερικούς τοίχους, όταν έρχονται σε επαφή τα σημεία που παρουσιάζουν θερμογέφυρες, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας τους
- Δημιουργία μούχλας από μύκητες που ευνοείται η ανάπτυξή τους στα σημεία συμπύκνωσης υγρασίας, όπως είναι τα σημεία θερμογεφυρών.

Σήμερα οι τεχνικές εφαρμογής θερμομόνωσης στα κτίρια έχουν βελτιωθεί, μαζί και η δημιουργία θερμογεφυρών και οι συνέπειες τους. Η θερμομόνωση πρέπει να τοποθετείται στο εσωτερικό τμήμα της διπλής πλινθοδομής, ιδιαίτερα σε περίπτωση εγκατάστασης συρόμενων ανοιγμάτων, προκειμένου να είναι αποδοτική. Τα συρόμενα παράθυρα λειτουργούν σαν δίοδοι κυκλοφορίας του εξωτερικού ψυχρού αέρα ανάμεσα στην διπλή πλινθοδομή, και σε περίπτωση μόνωσης του εξωτερικού τμήματος της πλινθοδομής, ο αέρας μεταδίδει το ψύχος πολύ εύκολα στους εσωτερικούς θερμαινόμενους χώρους. Η κακή εγκατάσταση συρόμενων ανοιγμάτων δημιουργεί στην ουσία ακόμα μία θερμογέφυρα στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου. Επιβάλλεται ο σωστός έλεγχος και κατασκευή της θερμομόνωσης, ιδιαίτερα στα σημεία ένωσης των θερμομονωτικών



πλακών. Το μεγαλύτερο ποσοστό απωλειών παρουσιάζεται στις οριζόντιες εξωτερικές επιφάνειες ενός κτίσματος. Ιδιαίτερα η οροφή παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απώλειες ανά μονάδα επιφανείας, και σε περίπτωση κακοτεχνίας λόγω συχνής συγκέντρωσης βρόχινων νερών, η ενεργειακή συμπεριφορά της επιβαρύνεται. Από τα παλιά κτίρια κατοικιών που έχουν εφαρμόσει θερμομόνωση, το μεγαλύτερο ποσοστό αφορά την οροφή, και αυτό μειώνει αυτόματα τις απώλειες θερμότητας (Αραβαντινός, 2000).

Στις νέες κατασκευές, ιδιαίτερα στις πολυκατοικίες ήρθε να προστεθεί ένα καινούργιο πρόβλημα στην ενεργειακή απόδοση τους, με την κατασκευή πιλοτής. Η πιλοτή είναι και αυτή μια οριζόντια επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τον εξωτερικό ψυχρό αέρα και κατά συνέπεια συμβάλλει στις θερμικές απώλειες του κτίσματος. Πέρα από την σωστή κατασκευή της θερμομόνωσης, η επιλογή του θερμομονωτικού υλικού είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος. Η επιλογή πρέπει να γίνεται βάσει μελέτης από τον μηχανικό λαμβάνοντας υπόψη τις εξής παραμέτρους (Καρουσάτου, 2004).

□ □ **Κλιματική ζώνη και τα ανώτατα όρια του συντελεστή θερμοπερατότητας που ορίζονται από τους κανονισμούς.** Αυτό ουσιαστικά ρυθμίζει το πάχος της μόνωσης προκειμένου να μη γίνει υπέρβαση στα επιβαλλόμενα όρια.

□ □ **Τοπικό κλίμα και κυρίως την υγρασία της περιοχής.** Η υγρασία είναι ένας κλιματικός παράγοντας που επηρεάζει την συμπεριφορά αρκετών μονωτικών υλικών, και στην χειρότερη περίπτωση προκαλεί εξασθένηση στις θερμομονωτικές τους ιδιότητες. Πρέπει λοιπόν τα θερμομονωτικά υλικά να επιλέγονται βάσει των προδιαγραφών τους για την κάθε κλιματική περίπτωση, αλλά και το δομικό στοιχείο στο οποίο θα τοποθετηθούν. Είναι σκόπιμο στις οροφές να εφαρμόζεται παράλληλα και υγρασιμότητα.

□ □ **Διάρκεια ζωής μιας θερμομόνωσης, που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες αλλά κυρίως τους κλιματολογικούς, όπως η υγρασία, και η θερμοκρασία.**

Πέραν της καλής κατασκευής της θερμομόνωσης, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα και για την προστασία της. Η θερμομόνωση ενός κτιρίου πρέπει να προστατεύεται έναντι των καιρικών συνθηκών μόνο με την κάλυψή της από δομικά στοιχεία που αντέχουν σε παγετούς, βροχοπτώσεις και ισχυρές ανεμοπτώσεις. Για την εξασφάλιση της καλής απόδοσης μια θερμομόνωσης πρέπει να υπάρχει εξωτερική κάλυψη με κατάλληλο υδατοστεγές επίχρισμα ή επένδυση με υλικά ανθεκτικά στον παγετό που θα φέρουν επιμελής αρμολόγηση με τσιμεντοκονία, όπως κεραμικών πλακών φυσικούς λίθους τεχνητές λίθινες πλάκες.

Η κατάσταση των ελληνικών κτιρίων στις κατοικίες από την άποψη της επαρκούς θερμομόνωσης δεν είναι ικανοποιητική. Το 95% των κτιρίων κατοικιών δεν διαθέτει θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων, το 70% μόνωση οροφής και το 88% μόνωση δαπέδων. Υπάρχει λοιπόν ένα μεγάλο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στις κατοικίες λόγω της ανυπαρξίας μόνωσης στο μεγαλύτερο ποσοστό του κτιριακού αποθέματος κατοικιών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα ποσοστά θερμικής ενέργειας που εξοικονομούνται από την θερμομόνωση ενός κτιρίου κατοικιών, μπορούν να φτάσουν μέχρι και 60%, γίνεται ακόμα πιο αντιληπτό, πόσο επιτακτική είναι η θερμομόνωση των υφιστάμενων κτιρίων (ICAP, 2000).

Τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να επιτευχθούν με την θερμομόνωση των εξωτερικών επιφανειών μόνιμων κτιρίων κατοικιών, ανά κατηγορία κτιρίου και κλιματική ζώνη βάσει του ΚΘΚ, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Τα ποσοστά αυτά εκτιμήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις εξής παραμέτρους

- Συντελεστές θερμοπερατότητας που καθορίζει ο ΚΘΚ για τις εξωτερικές επιφάνειες ανά κλιματική ζώνη.
- Συντελεστές θερμοπερατότητας που εμφανίζουν τα κτίρια πριν την θερμομόνωση, ανά κλιματική ζώνη.
- Θερμοκρασίες που επικρατούν στις ζώνες αυτές.

Μέτρα Εξοικονόμησης ενέργειας	Κατηγορίες κτιρίων					
	Μονο/οικία	Πολυ/οικία	Νοσοκομεία	Σχολεία	Εργοστάσια	Γραφεία/ εμπορικά
Μόνωση εξωτερικών τοίχων <sup>1</sup>	50%	42%	30%	20%	20%	32%
Μόνωση οροφής <sup>2</sup>	12%	8%	6%	6%	10%	5%
Δαπέδα τζάμια <sup>3</sup>	2%	6%	2%	4%	2%	4%
Λαροστεγάνωση <sup>4</sup>	10%	8%	10%	10%	5%	10%

Πίνακας 2: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας ανά κατηγορία κτιρίου από την εφαρμογή μόνωσης

Η μόνωση υφιστάμενων κτιρίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με την τοποθέτηση θερμομονωτικών πλακών στην εξωτερική ή εσωτερική επιφάνεια του κτιρίου. Η βέλτιστη λύση, είναι η εξωτερική τοποθέτηση της θερμομόνωσης, προκειμένου να αξιοποιείται και η θερμοχωρητικότητα (θερμική αδράνεια) της τοιχοποιίας (πλινθοδομή ή μπετόν), αλλά και να μην μειώνεται ο εσωτερικός ωφέλιμος όγκος της κατοικίας. Το κόστος εσωτερικής μόνωσης είναι φθηνότερο από την εξωτερική μόνωση.

Για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης ενέργειας εφαρμόζοντας θερμομόνωση σε πρώτο επίπεδο πρέπει να υπολογιστούν οι θερμικές απώλειες των κτιρίων και στη συνέχεια ανάλογα με τα μονωτικά υλικά που θα χρησιμοποιηθούν και τα υλικά κατασκευής της τοιχοποιίας μπορούν να εκτιμηθούν τα ποσά ενέργειας που εξοικονομούνται. Για τον υπολογισμό αυτό ισχύουν οι παραδοχές που έχουν γίνει παραπάνω. Επίσης με βάση τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων δεν επιτρέπεται εξωτερική τοιχοποιία με συντελεστή θερμοπερατότητας  $k_m$  πάνω από 0,6 kcal/m<sup>2</sup>h°C και για τις οροφές πάνω από 0,4 kcal/ m<sup>2</sup>h°C.

Οι απώλειες θερμότητας ενός κτιρίου υπολογίζονται από την σχέση 1.1:

$$QT = k_m * F * \Delta T \quad (1.1)$$

Όπου:

$K_m$ : μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου,

$F$ : η συνολική εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου, και

$\Delta T$  : η θερμοκρασιακή διαφορά των εσωτερικών χώρων με το εξωτερικό περιβάλλον ανάλογα με την κλιματική ζώνη που ανήκουν τα κτίρια.

## 2.3 ΡΟΛΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα θερμομονωτικά υλικά καθορίζουν τη συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους από πλευράς δομικής φυσικής και έχουν ως προορισμό τους να μειώσουν το συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων με στόχο τη μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη χειμερινή περίοδο και μείωση της θερμικής προσόδου κατά τη περίοδο δροσισμού.

Η μετάδοση της θερμότητας μέσα από τα αδιαφανή δομικά στοιχεία και υλικά γίνεται στο μεγαλύτερο ποσοστό με αγωγιμότητα, η οποία ποσοτικοποιείται, στα ομοιογενή και ισότροπα υλικά με τη βοήθεια του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ . Στα σύνθετα δομικά στοιχεία η αγωγιμότητα ποσοτικοποιείται με τη βοήθεια του συντελεστή θερμοπερατότητας  $k$ .

Γενικά, τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν την ιδιότητα της θερμικής αντίστασης στον αέρα που περιέχεται μέσα τους. Ο αέρας θεωρείται «κακός αγωγός» της θερμότητας, δηλαδή, έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ . Σε θεωρητικό επίπεδο η θερμική αγωγιμότητα ελαχιστοποιείται σε συνθήκες κενού, επειδή η έλλειψη μάζας καθιστά αδύνατη τη μεταφορά της θερμότητας με αγωγιμότητα. Στην πράξη, η μικρότερη δυνατή θερμική αγωγιμότητα επιτυγχάνεται όταν υπάρχει ακίνητος, ξηρός αέρας. Τα θερμομονωτικά υλικά επιτυγχάνουν το σκοπό τους, ακριβώς επειδή διαθέτουν, στην «πορώδη» μάζα τους, πολλούς μικρούς θύλακες ακίνητου αέρα, εγκλωβισμένου σε κυψέλες ή μέσα σε ένα πλέγμα ινών. Για το λόγο αυτό τα θερμομονωτικά υλικά έχουν κατά κανόνα και μικρό φαινόμενο βάρος. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ενός πορώδους υλικού είναι μικρότερος σε σχέση με το  $\lambda$  του ίδιου υλικού εάν αυτό ήταν πιο συμπαγές. Το φαινόμενο αυτό και η λειτουργία του πορώδους των υλικών οδήγησε στην ανάπτυξη θερμομονωτικών υλικών, κοινό γνώρισμα των οποίων είναι η ύπαρξη σε μεγάλο ποσοστό πόρων που περιέχουν είτε αέρα είτε κάποιο άλλο αέριο που χαρακτηρίζεται ως κακός αγωγός της θερμότητας και άρα διαθέτει μικρό συντελεστή αγωγιμότητας  $\lambda$ . Η πορώδης δομή των βιομηχανικά παραγόμενων μονωτικών υλικών επιτυγχάνεται με τη χρήση λεπτών ακανόνιστων ινών ή με την παραγωγή κυψελίδων από στερεοποιητικά υλικά.

Η θερμική τους αγωγιμότητα καθορίζεται πρωταρχικά από τον αριθμό και το μέγεθος των κυψελών που υπάρχουν στη μάζα του υλικού τους και που περιέχουν τον ακίνητο, με θερμομονωτικές ιδιότητες, αέρα. Σε μικρότερο βαθμό επηρεάζεται από τη χημική σύσταση του υλικού, τη θερμοκρασία και την υγρασία στην οποία βρίσκονται. Η αύξηση της υγρασίας σημαίνει και αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ανεπιθύμητη για ένα θερμομονωτικό υλικό, καθώς το εγκλωβισμένο νερό, με το κατά πολύ μεγαλύτερο  $\lambda$  από αυτό του αέρα καταλαμβάνει τη θέση του τελευταίου. Σημειώνεται ότι το νερό και ο πάγος έχουν

περίπου 24 και 92 φορές, αντίστοιχα, μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  από τον αέρα. Για το λόγο αυτό η υγρασία θεωρείται και το μεγαλύτερο αίτιο προβλημάτων της θερμομόνωσης σε μια κατασκευή.

## 2.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΩΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

### 1) Υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας προέρχεται από ορυκτές πρώτες ύλες, ανήκει στα ανόργανα ινώδη υλικά και τα βασικά συστατικά του είναι το διοξείδιο του πυριτίου, ο δολομίτης, ο ασβεστόλιθος, η ανθρακική σόδα και αλουμίνα. Ο υαλοβάμβακας παρασκευάζεται σε κλίβανο μέσω μιας διαδικασίας φυγοκέντρισης, κατά την οποία τα υλικά εξαιτίας της φυγόκεντρης δύναμης υπό τη μορφή ινών παγιδεύουν τον αέρα.

Ο υαλοβάμβακας συναντάται στις εξής εμπορικές μορφές:

- σε μορφή παπλώματος είτε σε ρολά χωρίς επένδυση είτε με επένδυση αλουμινίου (επικάλυψη φύλλου αλουμινίου, υαλοφάσματος ή χαρτιού Kraff από τη μία τους πλευρά) είτε με ενισχυμένο μεταλλικό πλέγμα,
- σε μορφή πλακών
- σε μορφή ειδικά μορφοποιημένα κογχυλιών για χρήση ως μόνωση σωληνώσεων.

Ο υαλοβάμβακας αποτελεί μία καλή θερμομονωτική λύση υπό την προϋπόθεση ότι προστατεύεται από τη διείσδυση της υγρασίας. Όσο μικρότερο είναι το πάχος των ινών και όσο μεγαλύτερο το μήκος τους τόσο υψηλότερη θερμική προστασία προσφέρει αλλά και μεγαλύτερο κόστος αποκτά. Η προσβολή από την υγρασία έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ . Για αυτό το λόγο, όταν χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό στα κτίρια, κρίνεται απαραίτητη η προστασία του με φράγμα υδρατμών στη θερμή όψη. Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της ινώδους μορφής του, ο υαλοβάμβακας σε ελεύθερη κατάσταση δεν απορροφά υγρασία. Επειδή όμως συχνά βρίσκεται κλεισμένος στα άλλα δομικά υλικά, η υγρασία που εγκλωβίζεται στα τελευταία τον προσβάλλει και εξαπλώνεται σε όλη την έκτασή του.

Όσον αφορά στις ιδιότητες πυραντοχής του υαλοβάμβακα, προσοχή απαιτείται στα υλικά που προστίθενται για την βελτίωση της συνοχής (υδρίδιο του πυριτίου), στα συνδετικά υλικά (ρητίνες φαινοφορμαλδεΰδης), καθώς και στα υδατοαπωθητικά έλαια (σιλικονόνες ή ορυκτέλαια), διότι αυτά τα υλικά δύναται να υποβαθμίσουν την αντοχή του υαλοβάμβακα σε περίπτωση πυρκαγιάς. Γενικότερα, πάντως, ο υαλοβάμβακας παρουσιάζει καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Ο υαλοβάμβακας διαθέτει επίσης ανθεκτικότητα στη θερμοκρασία για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από  $-100^{\circ}\text{C}$  έως  $500^{\circ}\text{C}$ . Η αντοχή στον εφελκυσμό ( $0,005 \text{ N/mm}^2$ ) και το όριο θραύσης ( $0,005-0,015 \text{ N/mm}^2$ ) κρίνονται ικανοποιητικές. υστόσο, εμφανίζει μικρή αντοχή σε συμπίεση και ως εκ τούτου δεν προσφέρεται η χρήση του για δάπεδα και δώματα με ισχυρές φορτίσεις. Η απόδοσή του ως ηχομονωτικό υλικό

θεωρείται ιδιαίτερα καλή σε σύγκριση με άλλα ως προς αυτήν την ιδιότητα υλικά. Ο υαλοβάμβακας δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά ούτε από χημικές ενώσεις με εξαίρεση το υδροχλωρικό οξύ.

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του υαλοβάμβακα με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές να οφείλονται σε διαφοροποιήσεις που παρουσιάζονται από τεχνολογικής πλευράς κατά την διαδικασία παραγωγής.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
<b>Μηχανικές ιδιότητες</b>				
Πάχος υλικού	cm	1	3/4/5/8/10/12/14/15	18
Ποκνότητα	kg/m <sup>3</sup>	13	18/23/60/65/80	100
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm <sup>2</sup>		0,005	
Όριο θραύσης	N/mm <sup>2</sup>	0,005		0,015
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm <sup>2</sup>		0,1	
<b>Ιδιότητες θερμικής προστασίας</b>				
Θερμική αγωγιμότητα λ <sub>R</sub> στους 10°C <sup>1</sup>	W/(mK)	0,030	0,0338	0,045
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-100	-	500
<b>Ιδιότητες υγραπροστασίας</b>				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	<1		1
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία		<0,1	0,2/0,5...1	1
<b>Ιδιότητες πυρασφάλειας</b>				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B1	A2	A1
<b>Ακουστικές ιδιότητες</b>				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0,1		0,79
στα 250Hz	-	0,26		0,79
στα 1000Hz	-	0,71		0,97
στα 4000Hz	-	0,96		0,95
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m <sup>2</sup>	5	8/12/18	>35
Δυναμική ακαμψία	MN/m <sup>3</sup>	>25	17/13/10	<5
<b>Αντοχή στη χρήση</b>				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m <sup>3</sup>	90	110	430

ΠΙΝΑΚΑΣ 3:ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΑΛΟΒΑΜΒΑΚΑ

## II) Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας είναι ινώδους μορφής, καθώς αποτελείται από μια μάζα εξαιρετικά λεπτών ινών (διάμετρος < 4 ή 5 Gm) και παρασκευάζεται από μίγμα ορυκτογενών πετρωμάτων, που αφθονούν στη φύση, όπως βασάλτη, μεταβασάλτη, διαβάση, αμφιβολίτη, ασβεστόλιθο, δολομίτη και βωξίτη. Για την παραγωγή του πετροβάμβακα, το μίγμα των ορυκτογενών πετρωμάτων θερμαίνεται και λιώνει είτε μέσα σε υψικάμινο είτε σε ηλεκτρικό φούρνο (πιο σύγχρονη μέθοδος, καθώς επιτυγχάνει διαστασιακή ομοιομορφία στις παραγόμενες ίνες μέσω της σταθερά ελεγχόμενης θερμοκρασίας του μίγματος, καθώς και μηδαμινή μόλυνση του περιβάλλοντος). Στη συνέχεια και με τη βοήθεια της φυγοκέντρησης διαμορφώνεται στην τελική ινώδη μορφή. Η συγκόλληση των ινών μεταξύ τους επιτυγχάνεται με την προσθήκη συνθετικής φαινολικής ρητίνης και σιλικονέλαιου.

Στο εμπόριο συναντάται σε πάπλωμα χωρίς επένδυση ή με επένδυση μεταλλικού πλέγματος ή σκληρών πλακών, καθώς και σε μορφή κοχυλίων. Ο πετροβάμβακας έχει υψηλή πυκνότητα (30 kg/m<sup>3</sup>) και ιδιαίτερα καλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0,033 ως 0,045 W/(mK). Η υψηλή θερμομονωτική ικανότητά του όμως επηρεάζεται σημαντικά στην περίπτωση προσβολής του από την υγρασία, έτσι ώστε να κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων προστασίας από την υγρασία είτε με την προσθήκη οργανικών ενώσεων του πυριτίου (σιλάνια) είτε με την τοποθέτηση επικάλυψης φύλλων αλουμινίου ή γύψου. Η θερμομονωτική ικανότητα του πετροβάμβακα επηρεάζεται αρνητικά επίσης και από την αυξημένη παρουσία συμπαγών σφαιριδίων τήξης, χρώματος καφέ ή μαύρου, που δημιουργούνται παράλληλα με τις επιθυμητές ίνες στη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Ο πετροβάμβακας διαθέτει ιδιαίτερα υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι οι πρώτες ύλες και τα πρόσθετα στον πετροβάμβακα κατά την παραγωγή λιώνουν σε μεγάλες θερμοκρασίες. Η ανώτερη θερμοκρασία εφαρμογής (750 οC) καθορίζει μέχρι ποια θερμοκρασία διατηρεί το μονωτικό υλικό τις ιδιότητές του. Για αυτό και ο πετροβάμβακας βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, στη μόνωση λεβήτων, σε πόρτες πυρασφαλείας, σε κατασκευές που αφορούν στην πυρασφάλεια σε πλοία, καθώς και στην περιοχή της τεχνολογίας του εξαερισμού (αγωγοί εξαερισμού).

Ο πετροβάμβακας διαθέτει πολύ καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά, καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Αντίθετα, εμφανίζει μικρή αντοχή στον εφελκυσμό (0,005 N/mm<sup>2</sup>) και χαμηλό όριο θραύσης από 0,00012 έως 0,0075N/mm<sup>3</sup>.

Όσον αφορά στις ακουστικές ιδιότητές του παρουσιάζει χαμηλό βαθμό απορρόφησης του ήχου σε σχέση με τον υαλοβάμβακα στις χαμηλές συχνότητες, αλλά στις υψηλές συχνότητες εμφανίζει πολύ καλές. Δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά ούτε και από χημικές ενώσεις.

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφαλείας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του πετροβάμβακα.



Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
<b>Μηχανικές ιδιότητες</b>				
Πάχος υλικού	cm	2	3-6/8/10/11/16	18
Πυκνότητα	kg/m <sup>3</sup>	30	30-40/55/90/100/130	180
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm <sup>2</sup>	0,00012	0,0003/0,002	0,0075
Όριο θραύσης	N/mm <sup>2</sup>	0,005	0,02	0,05
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση				
<b>Ιδιότητες θερμικής προστασίας</b>				
Θερμική αγωγιμότητα λ <sub>R</sub> στους 10°C	W/(mK)	0,033	0,0375	0,045
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-100		750
<b>Ιδιότητες υγραπροστασίας</b>				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	<1		1
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία		<0,1	0,2	1,5
<b>Ιδιότητες πυρασφάλειας</b>				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2	A2	A1
<b>Ακουστικές ιδιότητες</b>				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0,05	0,14	0,19
στα 250Hz	-	0,34	0,37/0,55	0,88
στα 1000Hz	-	0,92	0,93/0,96	0,99
στα 4000Hz	-	0,92	0,93	1,06
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m <sup>2</sup>	5	11/12/15/30	70
Δυναμική ακαμψία	MN/m <sup>3</sup>			
<b>Αντοχή στη χρήση</b>				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m <sup>3</sup>	110	250/450/540/600	660

ΠΙΚΑΝΑΣ 4:ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑ



### III) Διογκωμένη πολυστερίνη

Ο αφρός πολυστερίνης παράγεται από διόγκωση πολυμερισμένου στυρολίου και αποτελείται σύμφωνα με το DIN 18164 από 1,5 έως 2% πολυστερίνη και 98 με 98,5% αέρα, ανάλογα με την πυκνότητα. Ο αέρας βρίσκεται εγκλωβισμένος μέσα σε μεγάλο αριθμό κυψελίδων.

Στο εμπόριο συναντάται σε πλάκες για εφαρμογές σε τοίχους, τοιχία, πλάκες σκυροδέματος και υπόγεια. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής διογκωμένης πολυστερίνης χρησιμοποιείται σε εφαρμογές στα κτίρια ως θερμομόνωση δωματίων, τοίχων και πατωμάτων.

Η διογκωμένη πολυστερίνη διαθέτει ικανοποιητική θερμομονωτική ικανότητα (0,029-0,041 W/mK). Ωστόσο απαιτείται προσοχή κατά την παραγωγή της, διότι αν σχηματιστούν κενά που δε διαμορφώνουν κλειστούς πόρους, είναι δυνατόν να εισχωρήσει νερό και να αυξηθεί σημαντικά ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ. Γενικότερα πάντως η διογκωμένη πολυστερίνη παρουσιάζει καλή αντοχή στη διάχυση υδρατμών και στην απορρόφηση υγρασίας.

Επιπρόσθετα, διαθέτει καλές ιδιότητες όσον αφορά στην αντοχή στον εφελκυσμό και στη συμπίεση. Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης είναι μικρότερο από αυτό του υαλοβάμβακα και του πετροβάμβακα, καθώς κυμαίνεται από -700C ως 900C. Η διογκωμένη πολυστερίνη ανήκει στα εύφλεκτα υλικά και παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται βρωμιούχοι αλειφατικοί κυκλικοί υδρογονάνθρακες (κυρίως Hexabromcyclododecan), σε ποσοστό 5 ως 7%, ως μέσο αύξησης της πυραντοχής κατατάσσεται στις κατηγορίες πυραντοχής B1 και B2. Η διογκωμένη πολυστερίνη προσβάλλεται από έντομα, τρωκτικά και ποικιλία χημικών διαλυτών (κετόνες, βενζόλιο, βενζίνη κ.ά.) και δεν προτείνεται η χρήση ασφαλτόπανων. Είναι ευαίσθητη στην ηλιακή ακτινοβολία, καθώς σε εκτεταμένης διάρκειας έκθεση στον ήλιο, μετά την αλλαγή του χρώματός της σε ελαφρώς κιτρινωπό, σκληραίνεται και θρυμματίζεται. Ιδιαίτερο πλεονέκτημα της διογκωμένης πολυστερίνης αποτελεί η ευκολία τοποθέτησής της.

Σχετικά με τις ηχομονωτικές ιδιότητες της διογκωμένης πολυστερίνης δεν έχουν καταχωρηθεί στοιχεία στο συγκεντρωτικό πίνακα των ιδιοτήτων της, καθώς δεν παρουσιάζει ηχοαπορροφητικές ιδιότητες και επομένως δεν χρησιμοποιείται για ηχομόνωση.

Ο πίνακας 5 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) της διογκωμένης πολυστερίνης.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
<b>Μηχανικές ιδιότητες</b>				
Πάχος υλικού	cm	1,4	1,6/2/2,5/3/3,5	4,0
Πυκνότητα <sup>1</sup>	kg/m <sup>3</sup>	8	13/15/20/30	50
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm <sup>2</sup>	0,15		0,52
Όριο θραύσης	N/mm <sup>2</sup>	0,09		0,22
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm <sup>2</sup>	0,07		0,26
<b>Ιδιότητες θερμικής προστασίας</b>				
Θερμική αγωγιμότητα λ <sub>R</sub> στους 10°C <sup>2</sup>	W/(mK)	0,029		0,041
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-70		90
<b>Ιδιότητες υγροπροστασίας</b>				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	25	30/40/50/60/70	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			5	
<b>Ιδιότητες πυρασφάλειας</b>				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
<b>Ακουστικές ιδιότητες</b>				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m <sup>2</sup>			
Δυναμική ακαμψία	MN/m <sup>3</sup>	60		100
<b>Αντοχή στη χρήση</b>				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	50		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m <sup>3</sup>	151	190	269

<sup>1</sup> Ο κανονισμός θερμομόνωσης επιβάλλει τη χρήση του υλικού με πυκνότητα ίση ή μεγαλύτερη των 20 kg/m<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Σύμφωνα με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ=0,041 W/(mK) στους 10 °C

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗΣ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗΣ

#### IV) Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, συγγενές θερμομονωτικό υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης, έχει όμοια σύσταση με αυτήν, αλλά διαφορετική μέθοδο επεξεργασίας. Για την παραγωγή αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη η πολυστερίνη, το CO<sub>2</sub> ως προωθητικό αέριο σε ποσοστό από 3 ως 7%, στοιχεία αύξησης της πυραντοχής σε ποσοστό από 1 ως 6% και ως βοηθητικές ύλες το ταλκ και χρωστικές ουσίες, που δίνουν το χαρακτηριστικό για κάθε εταιρία χρώμα στο τελικό προϊόν. Παράγεται σε μορφή πλακών, διαφορετικής πυκνότητας ανάλογα με την εφαρμογή, με επίπεδη ή ανάγλυφη επιφάνεια, για την επίτευξη καλύτερης πρόσφυσης του κονιάματος του επιχρίσματος. Ακόμη παράγονται πλάκες με επικάλυψη τσιμεντοκονίας ή ψηφίδας, στη μία τους πλευρά, για χρήση στο αντεστραμμένο δώμα.

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη διαθέτει καλές θερμομονωτικές ιδιότητες με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0,025 έως 0,035 W/(mK). Η τιμή του συντελεστή αυτού οφείλεται κατά κύριο λόγο στην θερμική αγωγιμότητα του μίγματος αέρα και αερίων που κατέχουν περίπου το 95% του όγκου του υλικού. ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αποτελούν τις τιμές κατά τη χρήση της εξηλασμένης πολυστερίνης. Στην πραγματικότητα κατά την παραγωγή της ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι μικρότερος αλλά σταδιακά αυξάνεται, γεγονός το οποίο οφείλεται στη διαδικασία εξισορρόπησης του R12 του αερίου μίγματος με τον εξωτερικό αέρα. Έχει υπολογιστεί μάλιστα πως το αέριο σε R12 υποδιπλασιάζεται κάθε 50 έτη, περίπου δηλαδή όσο και η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου. Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης της είναι σχετικά περιορισμένο, καθώς το κατώτερο σε -600C και το ανώτερο όριο ανέρχεται σε 750C. Ο τρόπος παραγωγής της εξηλασμένης πολυστερίνης, δηλαδή η κατεργασία της εξέλασης, αποτελεί τον κύριο υπεύθυνο για τη μεγάλη αντοχή που παρουσιάζει στον εφελκυσμό (0,30 ως 0,35N/mm<sup>2</sup>) και στη συμπίεση, στην αυξημένη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών (80 ως 200) και στην απορρόφηση νερού. Η μέγιστη απορροφητικότητα φθάνει το 0,1 με 0,2% του όγκου του υλικού.

Η εξηλασμένη πολυστερίνη έχει όμοια συμπεριφορά με την διογκωμένη πολυστερίνη σε ότι αφορά την προσβολή της από έντομα και τρωκτικά και την ευαισθησία της σε διαλύτες και στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αποχρωματίζει την επιφάνειά της και καθιστά τις κυνέλες της εύθραυστες. Η τεχνική λύση για την αποφυγή της προσβολής από έντομα και τρωκτικά συστήνει τον εγκλωβισμό της εξηλασμένης πολυστερίνης στο δομικό στοιχείο ή την επικάλυψη με επίχρισμα. Η προστασία της από την ηλιακή ακτινοβολία επιτυγχάνεται επίσης με επικάλυψη με τσιμεντοσανίδες, πλάκες ορυκτών ινών και ψευδομωσαϊκού, γυψοσανίδες ή ξηρή χαλικόστρωση. Παρά τη χρήση επιβραδυντών καύσης με τον εμπλουτισμό της εξηλασμένης πολυστερίνης με στοιχεία αύξησης της πυραντοχής σε ποσοστό από 1 έως 6% κατά τη διαδικασία παραγωγής της, παραμένει εύφλεκτο υλικό και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυραντοχής. Τέλος, δεν χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό, καθώς δεν διαθέτει ικανοποιητικές ιδιότητες ηχοαπορρόφησης.

Ο πίνακας 6 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγρό-προστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) της εξηλασμένης πολυστερίνης.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
<b>Μηχανικές ιδιότητες</b>				
Πάχος υλικού	cm	2	2,5/3/4/5	12
Πυκνότητα	kg/m <sup>3</sup>	20	30/35/40/60	80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm <sup>2</sup>	0,30	0,33/0,34	0,35
Όριο θραύσης	N/mm <sup>2</sup>			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm <sup>2</sup>	0,15	0,20/0,25/0,30/0,5	0,70
<b>Ιδιότητες θερμικής προστασίας</b>				
Θερμική αγωγιμότητα λ <sub>R</sub> στους 10°C	W/(mK)	0,025	0,032/0,33	0,035
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-60		75
<b>Ιδιότητες υγραπροστασίας</b>				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	80	100/160/200	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			<1	
<b>Ιδιότητες πυρασφάλειας</b>				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
<b>Ακουστικές ιδιότητες</b>				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m <sup>2</sup>			
Δυναμική ακαμψία	MN/m <sup>3</sup>			
<b>Αντοχή στη χρήση</b>				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος		50	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m <sup>3</sup>	23	28	32

Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά εξηλασμένης πολυστερίνης

## V) Αφρός πολυουρεθάνης

Ο αφρός πολυουρεθάνης είναι σκληροποιημένος αφρός, του οποίου οι πόροι σε ποσοστό τουλάχιστον 90% είναι κλειστοί και παρασκευάζεται με την βοήθεια καταλυτών και προωθητικών μέσων, μέσω της χημικής αντίδρασης των πολυϊσοκυανικών ενώσεων με συνδεδετικό μέσο πολυολένιο ή με διάσπαση των πολυϊσοκυανικών ενώσεων. Παλιότερα, ως προωθητικό μέσο, χρησιμοποιούταν το FCKW (R11), αλλά τώρα έχει αντικατασταθεί με υδρογονάνθρακες όπως το πεντάνιο, CO<sub>2</sub> ή HFCKW.

Διατίθεται στο εμπόριο είτε σε μορφή αφρού, που χρησιμοποιείται για την επικάλυψη των καθαρών από ξένες ουσίες επιφανειών στο εργοτάξιο με επί τόπου ψεκασμό και ιδιαίτερα κυλινδρικών, σφαιρικών και καμπύλων επιφανειών είτε σε μορφή σκληρών πλακών και μορφοποιημένων κομματιών από αφρό, πλακών με επιφανειακή επίστρωση αδιαβροχοποιημένου χαρτιού, πολλαπλών στρωμάτων ή φύλλων αλουμινίου. Οι τελευταίες παράγονται και σχηματοποιούνται από τον αφρό πολυουρεθάνης στο εργοστάσιο και οι πλάκες έρχονται έτοιμες για τοποθέτηση στο εργοτάξιο. Μία τρίτη μορφή χρήσης του αφρού πολυουρεθάνης είναι και τα ειδικά μορφοποιημένα <<κοχύλια>> που βρίσκουν εφαρμογή στη μόνωση σωληνώσεων.

Ο αφρός πολυουρεθάνης αποτελεί το θερμομονωτικό υλικό με τον μικρότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0,02 \text{ W/(mK)}$ . Ωστόσο, με την από το 1995 απαγόρευση της χρήσης FCKW ως προωθητικού μέσου και με την αντικατάστασή του από το πεντάνιο αυξήθηκε η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και ως σήμερα ο αφρός πολυουρεθάνης δεν κατάφερε ακόμη να φτάσει στην κατηγορία θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda = 0,02 \text{ W/(mK)}$ . Όσον αφορά στην αντοχή σε εφελκυσμό ο αφρός πολυουρεθάνης αντέχει σε αναπτυσσόμενες τάσεις που κυμαίνονται από 20 έως 30 N/cm<sup>2</sup> και συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών από 50 έως και πάνω από 100 και παρουσιάζει εξαιρετικά μικρή απορρόφηση υγρασίας. Ουσιαστικά δηλαδή πρόκειται για ένα αδιάβροχο υλικό, λόγω της κλειστής δομής των κυψελίδων του.

Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης είναι σχετικά περιορισμένο, αν συγκριθεί με αυτό του υαλοβάμβακα και του πετροβάμβακα με κατώτερο όριο τους -50 0C και ανώτερο 120 0C. Ο αφρός πολυουρεθάνης δεν παρέχει ικανοποιητική προστασία αν και κατά την παραγωγή του προστίθενται μέσα αύξησης της πυραντοχής και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυραντοχής. Για την εκπλήρωση των όρων πυρασφαλείας στις εφαρμογές στα κτίρια, ο αφρός μπορεί να περιέχει και άλλα μέσα αύξησης της πυραντοχής. Σημειώνεται ότι κατά την καύση του παράγει σε μικρές ποσότητες τοξικά αέρια.

Ο αφρός πολυουρεθάνης επηρεάζεται αν μείνει εκτεθειμένος στην ηλιακή ακτινοβολία, καθώς οι επιφανειακές κυψέλες αδυνατίζουν και το υλικό θρυμματίζεται. Διαθέτει ιδιαίτερα καλές συγκολλητικές ιδιότητες, αφού προσκολλάται στα περισσότερα οικοδομικά υλικά για αυτό και συχνά παρασκευάζεται επί τόπου στα έργα με εκτόξευση με ψεκασμό. Τέλος, το υλικό δεν παρέχει προστασία ηχομόνωσης και ως εκ τούτου δεν χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό.

Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υδροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του αφρού πολυουρεθάνης.



Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
<b>Μηχανικές ιδιότητες</b>				
Πάχος υλικού	cm		2-20	
Πυκνότητα	kg/m <sup>3</sup>	30	31-35	80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm <sup>2</sup>			
Όριο θραύσης	N/mm <sup>2</sup>			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm <sup>2</sup>	10		>15
<b>Ιδιότητες θερμικής προστασίας</b>				
Θερμική αγωγιμότητα λ <sub>R</sub> στους 10°C	W/(mK)	0,02		0,027
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-50	-50/-40/100	120
<b>Ιδιότητες υγραπροστασίας</b>				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	50	65	>100
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			5	
<b>Ιδιότητες πυρασφάλειας</b>				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
<b>Ακουστικές ιδιότητες</b>				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m <sup>2</sup>			
Δυναμική ακαμψία	MN/m <sup>3</sup>			
<b>Αντοχή στη χρήση</b>				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30	50	50
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		ναι	
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m <sup>3</sup>	16	28/33	36

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρού πολυουρεθάνης

## VI) Ξυλόμαλλο

Το ξυλόμαλλο ανήκει στην κατηγορία των σύνθετων θερμομονωτικών υλικών και αποτελείται από ξυλώδεις ίνες ή ακόμη και καλάμια, φύκια και άλλα λεπτά οργανικά υλικά και συγκολλητική ύλη τσιμέντο ή καυστική μαγνησία. Τρεις ομάδες προϊόντων κυκλοφορούν στο εμπόριο:

- ελαφρές πλάκες από ξυλόμαλλο (HWL): Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται μεγάλες ίνες ξυλόμαλλου από μη επεξεργασμένο ξύλο και τσιμέντο, σύμφωνα με το DIN 1164, μέρος 1, ή αντί του τσιμέντου καυστικό οξειδίο του μαγνησίου. Όταν χρησιμοποιείται το τσιμέντο ως συνδετικό υλικό, μπορεί να προστεθεί χλώριο μέχρι 0,35%.
- σύνθετες πλάκες από ξυλόμαλλο και διογκωμένη πολυστερίνη (HS-ML): Οι ελαφρές προκατασκευασμένες πολυστρωματικές πλάκες από πολυστερίνη σύμφωνα με το DIN 1101 αποτελούνται από ένα μονωτικό στρώμα πολυστερίνης σύμφωνα με το DIN 18164 με επένδυση από τη μια ή και από τις δύο πλευρές με λεπτές πλάκες ξυλόμαλλου.
- σύνθετες πλάκες από ξυλόμαλλο και πετροβάμβακα (Min-ML): Οι ελαφριές προκατασκευασμένες πολυστρωματικές πλάκες από ορυκτές ίνες, σύμφωνα με το DIN 1101 αποτελούνται από ένα στρώμα μονωτικού ορυκτοβάμβακα, σύμφωνα με το DIN 18165 και δύο επιφάνειες από ορυκτό συνδετικό ξυλόμαλλο, που περιβάλλουν τον ορυκτοβάμβακα.

Ο πίνακας 8 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) και των 3 κατηγοριών ξυλόμαλλου.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά στοιχεία		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
<b>Μηχανικές ιδιότητες</b>				
Πάχος υλικού	cm	1,5	3/3,5/4/4,5/5	10
Πυκνότητα	kg/m <sup>3</sup>	360		570
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm <sup>2</sup>			
Όριο θραύσης	N/mm <sup>2</sup>			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm <sup>2</sup>	0,15		0,2
<b>Ιδιότητες θερμικής προστασίας</b>				
Θερμική αγωγιμότητα λ <sub>R</sub> στους 10°C <sup>1</sup>	W/(mK)	0,055		0,065
Εύρος χρήσεως Min/Max	°C			250
<b>Ιδιότητες υγροπροστασίας</b>				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών		5		10
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			6	
<b>Ιδιότητες πυρασφάλειας</b>				
Κατηγορία πυραντοχής			B1	
<b>Ακουστικές ιδιότητες</b>				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz			0,17	
στα 250Hz			0,22	
στα 1000Hz			0,78	
στα 4000Hz			0,65	
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m <sup>2</sup>			
Δυναμική ακαμψία	MN/m <sup>3</sup>			
<b>Αντοχή στη χρήση</b>				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος		>75	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες			ναι	
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/kg		65	

<sup>1</sup> Σύμφωνα με τον κανονισμό θερμομόνωσης έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας στους 10 °C λ=0,093 W/(mK) για πλάκες πάχους από 25 έως 35 mm και λ=0,081 W/(mK) για πλάκες πάχους μεγαλύτερου των 50 mm

Πίνακας 8 : Τεχνικά χαρακτηριστικά πλακών από ξυλόμαλλο

## 2.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ένας τρόπος ταξινόμησης των μονωτικών υλικών είναι με βάση τη χημική σύνθεση των συστατικών τους. Επομένως, μπορούν να ταξινομηθούν σε οργανικά, ανόργανα ή σύνθετα, που περιέχουν τόσο οργανικές όσο και ανόργανες ενώσεις (Παπαδόπουλος, 2004).

Με βάση την πρώτη ύλη των χρησιμοποιούμενων υλικών για την παραγωγή μονωτικών υλικών τα θερμομονωτικά υλικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, και βέβαια και συνδυασμούς αυτών:



1. Ορυκτά υλικά, όπως η άμμος, ο βασάλτης, ο βωξίτης, ο δολομίτης και το γυαλί (καινούριο ή ανακυκλωμένο).
2. Πετροχημικές πρώτες ύλες για αφρώδες πλαστικό, όπως το στυρόλιο, η ουρεθάνη και η φορμαλδεΐδη.
3. Οργανικά φυσικά υλικά, όπως ο φελλός, το ξύλο, οι φυτικές ίνες, η κυτταρίνη, το μαλλί.

Άλλος τρόπος ταξινόμησης μπορεί να γίνει ε βάση τη δομή τους. Δυο κατηγορίες υπάρχουν:

- τα αφρώδη, στα οποία ο αέρας υπάρχει μέσα τους με μορφή φυσαλίδων και
- τα ινώδη, στα οποία ο αέρας περιέχεται ανάμεσα στις ίνες τους, όπως ακριβώς συμβαίνει σε ένα μάλλινο ύφασμα.

Για την παραγωγή των θερμομονωτικών υλικών, πέραν των πρώτων υλών, χρησιμοποιείται και μία σειρά από βοηθητικές ύλες, ως συνδετικά και ενισχυτικά μέσα για τη δημιουργία των κυψελωτών δομών, αλλά και την επίτευξη των υπόλοιπων, πέραν της θερμομόνωσης, επιθυμητών ιδιοτήτων.

## 2.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι ιδιότητες των θερμομονωτικών μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες (Πίνακας 3):

- τις φυσικές ιδιότητες, που περιγράφουν τη συμπεριφορά του υλικού υπό ορισμένες συνθήκες και
- τις περιβαλλοντικές ιδιότητες, που περιγράφουν τον οικολογικό χαρακτήρα του υλικού.

### A) Φυσικές ιδιότητες

- Πυκνότητα: Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής και την απαίτηση της τελικής χρήσης, κάθε υλικό παράγεται για ένα εύρος πυκνοτήτων. Όπως προαναφέρθηκε, η πυκνότητα του υλικού επηρεάζει την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ .
- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ : Είναι ο συντελεστής που περιγράφει το ποσό της θερμότητας που περνά ανά μονάδα επιφάνειας του υλικού και για διαφορά θερμοκρασίας μιας μονάδας μεταξύ των δύο όψεών του. Όσο χαμηλότερος ο συντελεστής  $\lambda$ , τόσο μικρότερη η θερμοροή και, επομένως, τόσο καλύτερη η θερμομονωτική του ικανότητα.
- Υγρασία: Υγρασία ονομάζεται η παρουσία υδρατμών στην ατμόσφαιρα.

- Σχετική υγρασία: Το πηλίκο της ποσότητας υδρατμών οι οποίοι περιέχονται στον αέρα προς τη μέγιστη ποσότητα υδρατμών την οποία μπορεί αυτός να δεχθεί. Εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).
- Συμπύκνωση: Η δυνατότητα του αέρα να αποθηκεύει υδρατμούς παύει σε κάποια χαμηλή θερμοκρασία. Σε αυτό το σημείο, η σχετική υγρασία γίνεται 100%. Εάν η θερμοκρασία μειωθεί ακόμη περισσότερο, οι υδρατμοί οι οποίοι δε δύνανται να αποθηκευθούν αποχωρίζονται από τον αέρα, καθώς ψύχονται, με τη μορφή ύδατος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο συμπύκνωσης.
- Σημείο δρόσου: Σημείο δρόσου ονομάζεται η χαμηλή θερμοκρασία στην οποία αρχίζει το φαινόμενο της συμπύκνωσης υδρατμών. Το σημείο δρόσου είναι καθοριστικής σημασίας για την ακεραιότητα του κελύφους και της κατάστασης της υγείας των ενοίκων.
- Εύρος χρήσης: Όπως όλα τα υλικά, έτσι και τα θερμομονωτικά έχουν ένα όριο θερμικής αντοχής. Ως εύρος χρήσης ορίζεται το θερμοκρασιακό διάστημα, μέσα στο οποίο η χημική σύσταση, η θερμομονωτική ικανότητα και η μηχανική αντοχή του υλικού είναι σε επιθυμητά επίπεδα, τέτοια ώστε να είναι ομαλή η απόδοση του υλικού.
- Αντοχή στην επίδραση της υγρασίας: Η αντοχή στην επίδραση της υγρασίας εκφράζεται με δύο μεγέθη, τον συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών και την ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης.
  - Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών: Ο συντελεστής αυτός δηλώνει πόσο μεγαλύτερη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών παρουσιάζει το υλικό από ένα στρώμα αέρα ίδιου πάχους και στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Η φυσική σημασία του συντελεστή, ο οποίος πρακτικά θεωρείται ανεξάρτητος από τη θερμοκρασία και την πίεση, είναι ευκολία με την οποία διαπερνούν οι διαχεόμενοι υδρατμοί το θερμομονωτικό υλικό. Όσο μεγαλύτερη η τιμή του, τόσο δυσκολότερα οι υδρατμοί διέρχονται μέσω της μάζας του.
  - Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης: Τα θερμομονωτικά υλικά απορροφούν νερό σε υγρή κατάσταση ή σε μορφή υδρατμών. Η ποσότητα της απορροφούμενης υγρασίας, που εξαρτάται από το πορώδες του υλικού, την υδρατμοστεγανότητα και την κατανομή των τριχοειδών αγγείων στη μάζα του, προκαλεί αισθητή αλλαγή στις ιδιότητες του υλικού και κυρίως του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ. Για την περιγραφή των παραπάνω ορίζεται η τιμή της ποσότητας υγρασίας εξομοίωσης, η οποία εκφράζει το ποσό της υγρασίας που απορροφήθηκε στο υλικό υπό ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και σχετικής υγρασίας.
- Αντίσταση στη φωτιά - πυραντοχή: Η συμπεριφορά των υλικών σε περίπτωση πυρκαγιάς, προσδιορίζεται κατά το DIN 4102, σύμφωνα με το οποίο τα υλικά κατατάσσονται σε κλάσεις πυραντοχής, ανάλογα με το χρονικό διάστημα, μέσα στο οποίο το υλικό διατηρεί τις βασικές του ιδιότητες κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Οι κλάσεις της πυραντοχής από την καλύτερη (μεγάλη διάρκεια αντοχής κατά την πυρκαγιά) είναι: A1/A2/A3/B1/B2/B3/C1/C2/C3.

Πιο αναλυτικά:

ο τα μη εύφλεκτα δομικά υλικά τυποποιούνται ως A1 ή A2,

ο τα υλικά που αντιστέκονται στη φωτιά ως B1,

ο κανονικά υλικά ως B2 και

ο εύφλεκτα υλικά ως B3.

Τα υλικά της κατηγορίας A1 δεν επιτρέπεται να παρουσιάσουν καμία ανάφλεξη, ενώ τα υλικά της κατηγορίας A2 μπορούν να αναφλεγούν για χρόνο μέχρι 20s. Τα μη αναφλέξιμα υλικά της κατηγορίας A, καθώς και τα υλικά της κατηγορίας B1 που αντιστέκονται στη φωτιά, χρειάζονται ένα πιστοποιητικό αποτελεσματικότητας σύμφωνα με το νέο γερμανικό νόμο ή άδεια από το DIBt\*. Για τα μη αναφλέξιμα υλικά και τους επιβραδυντές της φωτιάς της κλάσης A, απαιτείται τα αέρια της καύσης να μην είναι τοξικά. Η συμπεριφορά των δομικών υλικών σε περίπτωση πυρκαγιάς προσδιορίζεται με βαθμούς «ανάφλεξης» από F30 έως F90, όπου ο αριθμός δείχνει τον ελάχιστο χρόνο σε

λεπτά, που το δομικό υλικό αντέχει στη φωτιά ή αποτρέπει την εξάπλωση της φωτιάς. Η μη αναφλεξιμότητα χαρακτηρίζεται από το γράμμα A ή B π.χ F30-B. Σε περίπτωση που σημαντικά συστατικά του δομικού υλικού δεν καίγονται, το δομικό υλικό χαρακτηρίζεται με τα γράμματα AB.

- Αντοχή σε εφελκυσμό και όριο θραύσης: Πρόκειται για τα όρια αντοχής του υλικού σε τάσεις και εκφράζεται με τα μεγέθη αντοχής σε εφελκυσμό, του ορίου θραύσης και της θλιπτικής τάσης σε βράχυνση. Η αντοχή σε εφελκυσμό είναι η τάση, μετά την οποία το υλικό παραμορφώνεται πλαστικά. Το όριο θραύσης είναι η τιμή της τάσης, μετά την οποία το υλικό χάνει τη συνοχή του, δηλαδή κόβεται. Όπως είναι αναμενόμενο, τα οργανικά αφρώδη υλικά, έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις από τα ανόργανα ινώδη.

- Βαθμός απορρόφησης ήχου: Οι ηχομονωτικές ιδιότητες, που ενώ αποτελούν διαφορετική παράμετρο της δομικής φυσικής, σε ό,τι αφορά τα υλικά οφείλουν να συνεξετάζονται με τις θερμομονωτικές ιδιότητες. Με την έννοια ηχομόνωση εννοούμε την προσπάθεια προστασίας των χρηστών ενός χώρου από τους θορύβους, δηλαδή από την επίδραση κάθε ενοχλητικού ή δυσάρεστου ήχου. Οι θόρυβοι μπορεί να προέρχονται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον π.χ. κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανημάτων, είτε από το εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων. Οι απαιτήσεις για ηχοπροστασία βασίζονται σε προδιαγραμμένες τιμές ανεκτής στάθμης θορύβων, οι οποίες υπολογίζονται σε μονάδες Decibel. Κάθε μια μονάδα Decibel αντιστοιχεί σε αύξηση της έντασης του θορύβου κατά 26%. Ο βαθμός απορρόφησης ήχου περιγράφει την ηχοαπορροφητικότητα του υλικού για διάφορες συχνότητες ήχου. Όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής, τόσο καλύτερη η ηχοαπορροφητικότητα του υλικού.

- Ευκολία κατεργασίας και τοποθέτησης: Πρόκειται για μία πολύ σημαντική ιδιότητα, αφού αφορά άμεσα στους πραγματικούς χρήστες των υλικών, στους τεχνίτες στο εργοτάξιο. Είναι εύλογο, ότι ένα υλικό που είναι ελαφρύ, μεταφέρεται εύκολα στο εργοτάξιο ενός κτιριακού έργου. Ένα υλικό που είναι μαλακό και όχι εύθρυπτο κόβεται εύκολα και προσαρμόζεται στις κατασκευαστικές διαμορφώσεις ενός ξυλότυπου ή μίας τοιχοποιίας. Ένα υλικό που ψεκάζεται με μορφή αφρού, μπορεί να καλύψει μία γεωμετρικά περίπλοκη επιφάνεια, όπως έναν θόλο,

μεταλλικές κατασκευές, κ.ό.κ. Η αξιολόγηση και ταξινόμηση των υλικών γίνεται ως προς την κατεργασία και τοποθέτηση ποιοτικά, με βάση τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους, και ανάλογα με τις ικανότητες του συγκεκριμένου εργατικού δυναμικού.

- Διάρκεια ζωής σε σχέση με τη φθορά στο χρόνο: Η αντοχή στο χρόνο αποτελεί ακόμη μια παράμετρο των θερμομονωτικών υλικών, παράμετρο που εκφράζεται σε έτη διάρκειας ζωής, όπως προκύπτει από εργαστηριακές δοκιμές γήρανσης των υλικών και από πολυετείς παρατηρήσεις σε πραγματικές συνθήκες

## **B) Περιβαλλοντικές ιδιότητες**

Τα θερμομονωτικά υλικά πέρα από τη σημαντική συνεισφορά τους στην προστασία του περιβάλλοντος που επιτυγχάνεται από τη μείωση των απωλειών θερμότητας με συνέπεια τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, η οποία και οδηγεί στην ελάττωση της ποσότητας των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων, δεν παύουν να επιβαρύνουν το περιβάλλον από την παραγωγή έως την τελική απόθεσή τους, όπως άλλωστε και κάθε υλικό γενικότερα.

Η περιβαλλοντική επιβάρυνση είναι είτε άμεση είτε έμμεση.

Η έμμεση περιβαλλοντική επιβάρυνση οφείλεται στην ενσωματωμένη ενέργεια στα θερμομονωτικά υλικά που αποτελείται από το άθροισμα της «εσωτερικής» ενέργειας των υλικών και της ενέργειας που καταναλώθηκε για την παραγωγή τους. Η ενσωματωμένη ενέργεια των θερμομονωτικών υλικών συνδέεται και εντέλει μετατρέπεται σε ισοδύναμη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και της όξινης βροχής (διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου αντίστοιχα).

- Περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια: Η περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια εκφράζει το ποσό ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή μιας μονάδας όγκου θερμομονωτικού υλικού, συνήθως σε μονάδες kWh/m<sup>3</sup> ή kWh/kg. Τα τελευταία χρόνια διαπιστώνεται μία τάση για χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον, τάση που δεν περιορίζεται ασφαλώς μόνο στα θερμομονωτικά υλικά, αλλά γενικότερα στο σύνολο του πεδίου των κατασκευών. Επομένως, προτιμώνται υλικά με χαμηλή περιεχόμενη ενέργεια

- Αντοχή σε προσβολές από μικροοργανισμούς και έντομα: Τα θερμομονωτικά υλικά κινδυνεύουν από έντομα, σκώρο, τρωκτικά και μύκητες. Για το λόγο αυτό, προστίθενται σ' αυτά διάφορες πρόσθετες χημικές ουσίες, που στόχο έχουν την προστασία των θερμομονωτικών υλικών από βιολογικούς παράγοντες. Επειδή οι ουσίες αυτές επιβαρύνουν το περιβάλλον συνιστάται να αποφεύγεται η χρήση τους και να αναζητούνται άλλοι τρόποι αντιμετώπισης επιθέσεων από μικροοργανισμούς. Η αντοχή σε προσβολές από μικροοργανισμούς και έντομα εκφράζεται ποιοτικά, με το αν ένα υλικό είναι ευπρόσβλητο ή όχι, μετά από εργαστηριακές δοκιμές γήρανσης των υλικών και από πολυετείς παρατηρήσεις σε πραγματικές συνθήκες.

ΥΛΙΚΟ		ΥΛΛΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΛΦΡΟΣ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ	
Φυσικές ιδιότητες	Πυκνότητα [kg/m <sup>3</sup> ]	min	13	30	20	8	30
		max	100	180	80	50	80
	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ [W/mK]	min	0,030	0,033	0,025	0,029	0,020
		max	0,045	0,045	0,035	0,041	0,027
	Εύρος χρήσης (°C)	min	-100	-100	-60	-80	-50
		max	500	750	75	80	120
	Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	min	<1	<1	80	25	50
		max	1	1	200	200	>100
	Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C/80%RH	min	<0,1	<0,1	<1*	5*	5*
		max	1	1,5			
	Κατηγορία πυραντοχής		A1 A2 B1	A1 A2 B2	B1 B2	B1 B2	B1 B2
	Αντοχή στον εφελκυσμό [N/mm <sup>2</sup> ]	min	0,005*		0,30	0,15	
		max			0,35	0,52	
	Όριο θραύσης [N/mm <sup>2</sup> ]	min	0,00500	0,00012		0,09000	
max		0,01500	0,00750		0,22000		
Βαθμός απορρόφησης στα 125 Hz	min	0,10	0,05				
	max	0,79	0,19				
Βαθμός απορρόφησης στα 1000 Hz	min	0,71	0,92				
	max	0,97	0,99				
Περιβαλλοντικές ιδιότητες	Πρόσθετα για προστασία από βιολογικούς παράγοντες		OXI	OXI	OXI	OXI	ΝΑΙ
	Περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια [kWh/m <sup>3</sup> ]	min	90	110	85	151	15,8
max		430	660	114	269	36,1	

Πίνακας 9: Βασικές φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΥΓΡΟΜΟΝΩΣΗ**

### 3.1 ΕΙΔΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΟΜΟΝΩΣΗΣ

Η υγρασία είναι εξαιρετικά απειλητική για το κτίριο. Αναλόγως της μορφής της, μπορεί να καταστρέψει τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, τα επιχρίσματα και τη θερμομόνωση. Δυστυχώς γίνεται αντιληπτή όταν έχει ήδη προκαλέσει σοβαρές βλάβες στο κτίριο. Συν τοις άλλοις, είναι επικίνδυνη για την υγεία των ενοίκων του κτιρίου. Επίσης, η υγρασία απαξιώνει τα θερμομονωτικά υλικά, καθώς το νερό μεταδίδει 24 φορές περισσότερη θερμότητα από τον ακίνητο αέρα. Οι κυριότερες μορφές υγρασίας είναι:

-Υγρασία του εδάφους :Οφείλεται σε υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα, τόσο στάσιμα όσο και τρεχούμενα. Τα ύδατα αυτά ανεβαίνουν από τα θεμέλια του κτιρίου και προσβάλλουν τους τοίχους σε όλο τους το πάχος.

-Υγρασία επιφανειακής συμπύκνωσης υδρατμών: Πρόκειται για την εμφάνιση υγρασίας, υπό τη μορφή σταγόνων ύδατος, στις εσωτερικές επιφάνειες του κελύφους όπως είναι οι τοίχοι, η οροφή και τα παράθυρα. Είναι γνωστή στην καθομιλουμένη ως ιδρώμα των τοίχων. Παρουσιάζεται όταν η επιφανειακή εσωτερική θερμοκρασία των τοίχων είναι μικρότερη από το σημείο δρόσου του εσωτερικού αέρα,

-Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών: Πέρα από τη ροή θερμότητας μεταξύ κτιρίου και περιβάλλοντος, λαμβάνει χώρα και μία ροή υδρατμών, μη αντιληπτή από τους ενοίκους, αντιληπτή όμως στο κέλυφος του κτιρίου. Η ροή των υδρατμών, όπως και η ροή θερμότητας, γίνεται από το περιβάλλον με τη μεγαλύτερη θερμοκρασία προς εκείνο με τη μικρότερη – με δεδομένα ίδια ποσοστά σχετικής υγρασίας. Εάν υπάρχουν διαφορές τόσο στη θερμοκρασία όσο και στα ποσοστά σχετικής υγρασίας, τότε η ροή των υδρατμών γίνεται από το περιβάλλον με τη μεγαλύτερη υγρασία προς εκείνο με τη χαμηλότερη. Η ροή των υδρατμών συνοδεύεται από αντίστροφη ροή ξηρού αέρα διαμέσου του κελύφους. Η πίεση της ατμόσφαιρας παραμένει σταθερή, καθώς ο ξηρός αέρας καταλαμβάνει τη θέση των υδρατμών. Η απλή ροή των υδρατμών δεν είναι ενοχλητική. Εάν όμως οι υδρατμοί συναντήσουν μέσα στο κέλυφος μία περιοχή η οποία έχει θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο δρόσου του αέρα, μετατρέπονται σε νερό και σχηματίζουν την υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης. Η υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης εισχωρεί στους πόρους των υλικών και τα καταστρέφει.

### 3.2 Πρόβλημα υγρασίας σε δομικά υλικά

Μία από τις σημαντικότερες απειλές στις οικοδομικές κατασκευές είναι η απαξίωση των δομικών υλικών που μπορεί να προέλθει από τη διείσδυση υγρασίας στη μάζα τους. Η προκαλούμενη ζημιά μπορεί να έχει απλά οικονομικό κόστος, όπως στην περίπτωση διάβρωσης του θερμομονωτικού υλικού ή του επιχρίσματος. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να συντρέχουν λόγοι ασφάλειας, με χαρακτηριστική περίπτωση τη διάβρωση του σκυροδέματος. Αν η υγρασία εισχωρήσει στο σκυρόδεμα, μπορεί να μεταβληθεί η στατική αντοχή του και να μειωθεί σημαντικά η σεισμική αντοχή τους.

Επομένως η υγροπροστασία πρέπει να αποτελεί ένα από τα κυριότερα μελήματα του μελετητή/μηχανικού.

Η υγρασία μπορεί να διεισδύσει στα δομικά υλικά με δύο τρόπους:

- Άμεσα, ως διαβροχή από τα νερά της βροχής και του χιονιού, αλλά και ως συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα.
- Έμμεσα, είτε από τον υδροφόρο ορίζοντα που σχηματίζεται από τις μεγάλες βροχοπτώσεις και την τήξη του χιονιού ή από τα υπόγεια νερά που ανέρχονται μέσω τριχοειδών ρηγματώσεων, κινούμενα αντίθετα προς τη βαρύτητα και ανερχόμενα σε αρκετό ύψος.

### 3.3 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Πέρα από τις βλάβες στο κτίριο, η υγρασία προκαλεί βλάβες και στην υγεία των ενοίκων. Η παρουσία της υγρασίας επιφανειακής συμπύκνωσης υδρατμών μπορεί να διαπιστωθεί από την ύπαρξη μικροσκοπικών κηλίδων γκριζόμαυρου χρώματος σε περιοχές όπου δεν κυκλοφορεί αέρας, όπως μεταξύ τοίχων και οροφής, πίσω από έπιπλα τα οποία βρίσκονται σε επαφή με τον τοίχο και λοιπά. Οι κηλίδες αυτές είναι στην πραγματικότητα μύκητες μούχλας, οι οποίοι αναπτύσσονται με ταχύτατο ρυθμό όταν η σχετική υγρασία του χώρου ξεπερνά το 70%. Ένας μόνο μύκητας μπορεί να παράξει σε 4 ημέρες 10 μύκητες. Οι μύκητες αυτοί προκαλούν αλλεργικά και αναπνευστικά προβλήματα στους ενοίκους.

Η στεγάνωση των περιμετρικών τοίχων του υπογείου θα πρέπει να γίνεται με δύο ασφαλτόπανα, των οποίων θα προηγηθεί μία επάλειψη με ασφαλτικό βερνίκι. Τα ασφαλτόπανα στερεώνονται με κόλληση και με τη βοήθεια λάμας και ηλώσεων στην υψηλότερη απόληξή τους. Εάν, για λόγους χαμηλότερου κόστους, εφαρμοσθεί η τεχνική της ασφαλτικής επάλειψης, τότε απαιτούνται 4 στρώσεις με κάθετη διεύθυνση, διασταύρωση της κάθε επάλειψης ως προς την προηγούμενη ή την επόμενη. Θα πρέπει να τονισθεί πως μερικές φορές, τα προβλήματα υγρασίας είναι μη αναστρέψιμα. Επιπλέον, οι εκ των υστέρων επεμβάσεις είναι τόσο χρονοβόρες όσο και δαπανηρές. Επομένως, όπως και στην υγεία, η πρόληψη της υγρασίας είναι η καλύτερη θεραπεία.

### 3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΓΡΟΜΟΝΩΣΗΣ

Η υγρομόνωση αποτελεί ένα από τα πιο βασικά μέτρα προστασίας των οικοδομικών κατασκευών και ενδεχόμενη αστοχία είναι πιθανό να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση της θερμομονωτικής στρώσης, τη λειτουργικότητα και μακροπρόθεσμα το φέροντα οργανισμό της κατασκευής.

Οι ιδιαιτερότητες κάθε επιφάνειας προς υγρομόνωση οδηγούν στην ανάγκη εκτεταμένης μελέτης για την εξεύρεση της ενδεδειγμένης λύσης η οποία θα εξασφαλίζει την απόλυτη επιτυχία του συστήματος υγρομόνωσης.

Τα κυριότερα κριτήρια για την επιλογή του συστήματος υγρομόνωσης είναι :

1. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του υποστρώματος.
2. Οι λειτουργικές απαιτήσεις του κτιρίου.



3. Οι καιρικές συνθήκες της περιοχής.
4. Η διάρκεια ζωής και ο απαιτούμενος χρόνος εφαρμογής του συστήματος υγραμόνωσης.

Τα συστήματα υγραμόνωσης χωρίζονται σε κατηγορίες χρησιμοποιώντας τα παρακάτω κριτήρια:

### 1) Σύστημα συμβατικό

Στη συμβατική μόνωση η τελική επιφάνεια δεν προστατεύεται από τις εξωτερικές καταπονήσεις, φθορές των καιρικών συνθηκών, από τις συστολές και τις διαστολές λόγω θερμοκρασιακών διαφορών και την υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία προκαλεί πρόωρη γήρανση. Σε αυτή την περίπτωση η διάταξη των υλικών είναι η συνηθισμένη ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω:

- ο καθαρισμός επιφάνειας,
- ο φράγμα υδρατμών,
- ο θερμομονωτικό υλικό,
- ο υλικό ρύσεων (κλίσεις με αφρομπετόν)
- ο στεγανοποίηση
- ο τελική επιφάνεια

Το υλικό ρύσεων συνήθως είναι με αφρομπετόν, είναι ελαφρύτερο έναντι άλλων υλικών και οικονομικότερο με καλή συνεισφορά στη θερμομόνωση. Όσον αφορά τη στεγανοποίηση συνήθως χρησιμοποιούνται ασφαλικές μεμβράνες της αγοράς



Εικόνα 4: Διαδικασία διαμόρφωσης ρύσεων και στεγανοποίησης σε ταράτσα

Τα θερμομονωτικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι:

1. **Διογκωμένη Πολυστερίνη** (φελιζόλ). Σε αντίθεση με την εξηλασμένη, εμφανίζει υδατοαπορροφητικότητα που σχετίζεται στη μάζα της με άμεση αναλογία την πυκνότητα της. Αυτός ο λόγος, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος, είναι η κύρια αιτία που προτιμάται στη συμβατική μόνωση επειδή το καλύπτει η στεγανοποίηση και δεν έρχεται σε επαφή με την υγρασία. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  είναι 0,029kcal/mhoC.

2. **Αφρώδης Εξηλασμένη Πολυστερίνη 5cm**. Η βασική της ιδιότητα που ξεχωρίζει από τα άλλα θερμομονωτικά υλικά είναι η μηδενική απορρόφηση του νερού στη μάζα της που εμφανίζει σε συνθήκες μόνιμης υγρασίας. Διάστρωση Πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης για δώμα πάχους 5 cm τύπου Fibran-Dow-Tiktas κλπ. Με ακμή πλατών τύπου L επί μορφωμένης επιφάνειας.

3. **Αφρομπετόν**. Πρόκειται για ελαφρότατο, σκληρό και αφρώδες κονίαμα με βάση της δομής του το τσιμέντο, αφρογόνο και νερό. Αποτελείται από απειράριθμες κυψελίδες και χρησιμοποιείται για γεμίσματα δαπέδων και ως υλικό ρύσεων, διαμορφώνοντας ρύσεις με ελεύθερη και ταχύτερη απορροή του νερού προς τις υδρορροές σε ταράτσες, ζαρντινιέρες κ.λπ. και εξομάλυνση ανισοτήτων επιφανειών. Είναι πολύ ελαφρύ έναντι του σκυροδέματος, της τσιμεντοκονίας, μωσαϊκού κ.λπ. Έχει ως συνέπεια χαμηλή θερμοαγωγιμότητα ( $\lambda=0,11$  kcal/mhoC). Είναι υδατοαπορροφητικό λόγω της κυψελώδους του δομής και για το λόγο αυτό στην περίπτωση που βρέχονται οι επιφάνειες πρέπει να στεγανοποιείται με υλικά. Όπως γίνεται κατανοητό το αφρομπετόν όπως και όλα τα υλικά ρύσεων είναι άοπλο και ελαφρύ, ενώ μετά το στέγνωμα δημιουργούνται τριχοειδείς ρηγματώσεις χωρίς να προκαλούν προβλήματα στο παραπάνω σύστημα της μόνωσης.

## 2) Ανεστραμμένο σύστημα

Η Ανεστραμμένη μόνωση πλεονεκτεί έναντι της συμβατικής στη διάταξη των υλικών κατά την εφαρμογή τους. Η στεγανοποίηση βρίσκεται κάτω από τη θερμομόνωση με αποτέλεσμα να προστατεύεται από τα θερμικά φορτία (χειμώνα/καλοκαίρι), διατηρώντας έτσι σταθερή τη θερμοκρασία της καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό δίνει απεριόριστο χρόνο ζωής στη στεγανωτική στρώση εφόσον δεν υπόκειται σε θερμικά σοκ και δεν επηρεάζεται από την υπερϊώδη ακτινοβολία κ.λπ. Στην ανεστραμμένη μόνωση έχουμε τα πλεονεκτήματα επίσης του μικρού συνολικού βάρους και του εύκολου ελέγχου της στεγανοποίησης, καθώς επίσης και τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του παραπάνω συστήματος στην περίπτωση ανέγερσης νέου ορόφου δεδομένου του χαμηλού κόστους επαναχρησιμοποίησης των υλικών.



Εικόνα 5: Σύγκριση ανεστραμμένης και συμβατικής μόνωσης

#### **A) Σύστημα υγραμόνωσης με επαλειφόμενα υλικά**

Στην περίπτωση που οι κλίσεις της ταράτσας είναι σε τέτοιο βαθμό, ώστε να βοηθούν στην απρόσκοπτη απορροή του νερού, ένα επίσης πολύ καλό και αποδοτικό σύστημα στεγάνωσης είναι τα επαλειφόμενα στεγανωτικά υλικά. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες υλικών τα οποία ανάλογα με τη σύστασή τους χωρίζονται σε ακρυλικά, τα οποία αραιώνονται με νερό με μέσο χρόνο συντήρησης 2-4 έτη, πολυουρεθανικά, τα οποία αραιώνονται με διαλύτη με μέσο χρόνο συντήρησης 8-9 έτη και τα υλικά υβριδικής τεχνολογίας (50% ακρυλικές ρητίνες και 50% πολυουρεθάνη), τα οποία αραιώνονται με νερό με μέσο χρόνο συντήρησης 6-7 έτη.



Εικόνα 6: Επίστρωση επαλειφόμενου στεγανωτικού υλικού σε ταράτσα

## **B) Σύστημα Υγρομόνωσης με Ασφαλτικές Μembrάνες**

Η ποιότητα της ασφαλτικής μεμβράνης εξαρτάται από:

- ο Τη χημική σύσταση του ασφαλτικού μίγματος
- ο Τον οπλισμό
- ο Την αντοχή σε θερμοκρασιακές μεταβολές
- ο Την αντοχή σε εφελκυσμό
- ο Την αντοχή στο σχίσιμο
- ο Την αντοχή σε διάτρηση
- ο Την ευκαμψία στο κρύο



Εικόνα 7: Τοποθέτηση ασφαλτικής μεμβράνης σε τοίχο

Τα συστήματα υγρομόνωσης με ασφαλτικές μεμβράνες μπορεί να περιλαμβάνουν:

- ο Μία υγρομονωτική στρώση (single ply), ή
- ο Δύο ή περισσότερες υγρομονωτικές στρώσεις (multi ply).

Οι ασφαλτικές μεμβράνες έχουν τα παρακάτω κύρια πεδία εφαρμογών:

- ο Υγρομόνωση βατών δωματίων
- ο Υγρομόνωση μη βατών δωματίων
- ο Υγρομόνωση κεραμοσκεπών
- ο Υγρομόνωση φυτεμένων χώρων
- ο Υγρομόνωση γεφυρών
- ο Υγρομόνωση υδραυλικών έργων

ο Επαναστεγανοποιήσεις

Μολονότι η διαδικασία που ακολουθείται για την υγρομόνωση μίας κατασκευής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Τα βασικά στάδια είναι συνήθως τα ακόλουθα:

1. Καθαρισμός υποστρώματος.
2. Εξομάλυνση ανώμαλων σημείων.
3. Επάλειψη του υποστρώματος με ασφαλικό, οργανοδιαλυτό αστάρι εμποτισμού το οποίο αυξάνει την πρόσφυση της μεμβράνης στο υπόστρωμα.
4. Επικόλληση της ασφαλικής μεμβράνης στο οριζόντιο τμήμα με χρήση φλόγιστρου ή ψυχρής κόλλας ή με μηχανική στερέωση.
5. Επικόλληση της ασφαλικής μεμβράνης στα κάθετα τμήματα και σφράγιση των απολήξεων.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα παρακάτω ευπαθή σημεία της κατασκευής:

- ο Αρμοί διαστολής του κτιρίου.
- ο Επικαλύψεις των ασφαλικών μεμβρανών.
- ο Υδρορροές.
- ο Ανεστραμμένα δοκάρια.
- ο Σημεία επαφής οριζοντίων και κατακόρυφων τμημάτων.
- ο Απολήξεις των μεμβρανών στα κατακόρυφα τμήματα.

Τα συστήματα υγρομόνωσης που χρησιμοποιούν ασφαλικές μεμβράνες θεωρούνται ιδανικές λύσεις σε περιπτώσεις υποστρωμάτων με κατασκευαστικές λεπτομέρειες σε περιπτώσεις ύπαρξης εμποδίων (π.χ. μηχανημάτων ψύξης, ηλιακών θερμοσίφωνων κ.ά.), καθώς και σε περιπτώσεις όπου υπάρχει κίνδυνος υφαρπαγής της υγρομονωτικής στρώσης λόγω ανεμοπιέσεων.

### **Γ) Σύστημα Στεγανοποίησης με Συνθετικές Μεμβράνες**

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται ευρέως σε υγρομονωτικές κατασκευές πολυμερείς μεμβράνες, οι οποίες διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με τη χημική τους σύνθεση:

1. Μεμβράνες PVC.
2. Μεμβράνες EPDM.

Η υγρομόνωση με συνθετική μεμβράνη υπερτερεί αυτής με ασφαλική, σε υποστρώματα μεγάλων διαστάσεων, χωρίς κατασκευαστικές λεπτομέρειες, στα οποία δεν εδράζεται μεγάλος αριθμός κατασκευών και στοιχείων οποιασδήποτε μορφής, προσφέροντας πλεονεκτήματα όπως οι λιγότερες συρραφές αρμών, η ταχύτητα αλλά και το μικρότερο εργατικό κόστος.



Εικόνα 8: Τοποθέτηση συνθετικής μεμβράνης σε ταράτσα

Η κυριότερη διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους συνθετικών μεμβρανών είναι οι συγκολλήσεις των ραφών, οι οποίες στις μεμβράνες PVC γίνεται με θερμοκόλληση και υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της αξιοπιστίας, ενώ στις μεμβράνες EPDM γίνεται με ψυχρή κόλλα, παρουσιάζοντας μειονεκτήματα όπως το ανθρώπινο λάθος, ο πιθανός πολυμερισμός της κόλλας και συνεπώς αχρήστευσή της, αλλά και η μη δυνατότητα ελέγχου των ραφών.

Στην αγορά των συνθετικών μεμβρανών έχει εισέλθει πλέον μία νέα γενιά μεμβρανών: οι μεμβράνες θερμοπλαστικής πολυολεφίνης (TPO), οι οποίες συνδυάζουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά των μεμβρανών PVC (θερμοσυγκόλληση) και EPDM (απουσία πλαστικοποιητών, ευκαμψία στις χαμηλές θερμοκρασίες). Οι μεμβράνες TPO παράγονται από την ανάμιξη πολυπροπυλενίου και αιθυλενίου-προπυλενίου, δημιουργώντας ένα μίγμα πολυμερούς με εξαιρετικές ιδιότητες. Το τελικό πολυμερές συνδυάζει την εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες, την ευκαμψία στις χαμηλές θερμοκρασίες, την αντοχή διάτρησης, τριβής και την αντοχή στις χημικές επιδράσεις. Όπως στις περισσότερες μεμβράνες, η ύπαρξη εσωτερικού σπλισμού προσφέρει στη μεμβράνη σταθερότητα διαστάσεων και αυξημένη αντοχή στον εφελκυσμό.

### **3.5 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΥΓΡΟΜΟΝΩΣΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

Η εμφάνιση της υγρασίας στα μέλη των κατασκευών είναι δυνατό να δημιουργήσει σημαντικές ζημιές που μπορούν να οδηγήσουν μέχρι και στην ολοκληρωτική καταστροφή των εκάστοτε δομικών υλικών. Επίσης μπορεί να μειώσει σε πολύ μεγάλο βαθμό και τη θερμομονωτική τους ικανότητα. Αυτό έχει ως συνέπεια να αυξάνεται το κόστος θέρμανσης και ταυτόχρονα η θέρμανση να μην είναι απόλυτα επαρκής.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ**



## 4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Οι βασικές αρχές της ακουστικής, που αποτελεί ένα μεγάλο κεφάλαιο της Φυσικής, πρέπει να είναι λίγο πολύ γνωστές στον καθένα που ασχολείται με το σχεδιασμό και την κατασκευή κτιριακών έργων. Ως κλάδος της Φυσικής έχει αναπτυχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια και είναι πλέον αδιανόητο να μελετά κανείς έναν ειδικό χώρο ή ένα κτίριο ειδικής χρήσης χωρίς τη βοήθεια ακουστικολόγου ή μηχανολόγου μηχανικού ειδικευμένου στο θέμα. Επιγραμματικά πάντως θα πρέπει να γνωρίζει κανείς ότι:

α. Ο ήχος, ως φυσικό φαινόμενο, είναι μια κίνηση κυμάτων στον αέρα, που κινούνται με μια ορισμένη ταχύτητα. Παράγεται από κάθε παλλόμενο σώμα (ηχητική πηγή) και γίνεται αισθητός, όταν τα ηχητικά κύματα διεγείρουν το ακουστικό νεύρο του αυτιού. Για να προκληθεί όμως το αίσθημα της ακοής, πρέπει ο ήχος να φτάνει στο αυτί με μια ορισμένη συχνότητα.

β. Η συχνότητα του ηχητικού κύματος είναι ο αριθμός των πλήρων παλμών (παλμικών κινήσεων, περιόδου ή κύκλων) που χρησιμοποιεί μια ηχητική πηγή σε χρόνο ενός δευτερόλεπτου. Είναι επομένως ίση πάντοτε με την αντίστροφη τιμή της διάρκειας μιας παλμικής κίνησης (T) δηλαδή  $n=1/T$ .

Η συχνότητα του ηχητικού κύματος είναι πάντα ίδια με αυτή του παλλόμενου σώματος που έχει ως μονάδα μέτρησης το (Hertz) ή το CPS (Cycle) που και τα δύο εκφράζουν ένα παλμό ανά δευτερόλεπτο.

γ. Τα είδη των ήχων καθορίζονται από τη συχνότητά τους. Έχουμε έτσι τους:

- Ακουγόμενους ήχους, αυτούς δηλαδή που μπορεί να συλλάβει το ανθρώπινο αυτί και οι οποίοι βρίσκονται σε μια περιοχή συχνοτήτων από 16 ως 20.000 Hz (ανώτατο όριο). Με την ηλικία το ανώτατο όριο μειώνεται μέχρι 14.000 Hz. Η περιοχή των συχνοτήτων της ανθρώπινης φωνής είναι από 100 ως 4.000 Hz, ενώ ενός πιάνου από 27 ως 4.186 Hz.

- Υπόηχους, ταλαντώσεις δηλαδή χαμηλότερης συχνότητας από 16 Hz. Σ' αυτούς ανήκουν οι παλμικές κινήσεις του εδάφους, καθώς και αυτές που προκαλούνται από τα παραλιακά κύματα και τους σεισμούς.

- Υπέρηχους, που είναι όλοι οι ήχοι με συχνότητα μεγαλύτερη των 20.000 Hz. Τέτοιες συχνότητες έχουν οι παλμικές δονήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα, που προκαλούνται από την εκκένωση ηλεκτρικών σπινθήρων. Οι ήχοι αυτοί δεν ακούγονται ως μεμονωμένοι τόνοι, αλλά ως συνεχής συριγμός.

δ. Τα χαρακτηριστικά του ήχου που τον ορίζουν απόλυτα είναι το ύψος, η ένταση και η χροιά, ειδικότερα:

- Το ύψος εξαρτάται από τη συχνότητα των παλμικών κινήσεων της ηχητικής πηγής. Η διαφορά που προκαλείται στο ηχητικό αίσθημα, με μια αλλαγή στη συχνότητα των ταλαντώσεων ενός παλλόμενου σώματος, είναι αυτό που αποκαλούμε διαφορά ύψους' γίνεται τότε ο ήχος

βαρύτερος ή οξύτερος. Όταν η συχνότητα ενός μουσικού ήχου διπλασιαστεί, το ύψος αυξάνει μια οκτάβα. Μπορεί έτσι να οριστεί η οκτάβα, ως το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δυο ήχων που έχουν λόγο συχνοτήτων 2/1.

- Η ένταση διακρίνεται σε φυσική, που παράγεται από την ηχητική πηγή, και φυσιολογική, δηλαδή την ακουστότητα με την οποία ο ήχος φθάνει στο αυτί. Εξαρτάται από το πλάτος των ταλαντώσεων της ηχητικής πηγής, από τη σύσταση του μέσου στο οποίο παράγεται ή μεταδίδεται ο ήχος, από τον αριθμό των μορίων του μέσου, από τον αριθμό των διευθύνσεων προς τις οποίες διαχέεται ο ήχος, από την απόσταση, και τέλος από τις ειδικές ιδιότητες του αυτιού. Μονάδα μέτρησης της ακουστότητας του ήχου είναι το dB.

- Η χροιά αφορά στους σύνθετους ήχους και εξαρτάται από την ποιότητα και την ένταση των ήχων που παράγονται ταυτόχρονα με τον θεμελιώδη ήχο, είναι το γνώρισμα που επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ των διαφορετικών ήχων.

ε. Η ταχύτητα του ήχου είναι διαφορετική για κάθε μέσο που το μεταδίδει. Στον αέρα τα ηχητικά κύματα κινούνται με ταχύτητα 340μΛθ(., ενώ στα στερεά με πολύ μεγαλύτερη. Αυτή η ταχύτητα παραμένει ίδια, ανεξάρτητα από το ύψος και την ένταση του ήχου.

ζ. Το μήκος κύματος ενός ήχου είναι η απόσταση που διανύει ο ήχος κατά τη διάρκεια μιας πλήρους παλμικής κίνησης της ηχητικής πηγής, και είναι ίσο με το λόγο της ταχύτητας (V) προς τη συχνότητα (n). Έτσι, όταν για παράδειγμα ένας ήχος με συχνότητα 200 Hz μεταδίδεται με τον αέρα, τότε έχει μήκος κύματος  $340/200 = 1,7 \mu$ .

η. Η πίεση του ήχου είναι αυτή που διεγείρει το ακουστικό τύμπανο, παράγοντας έτσι το ηχητικό αίσθημα, σε συνδυασμό με την ταχύτητα χαρακτηρίζει τη φυσική ένταση ενός ήχου. Έχει για μονάδα μέτρησης το μικρομπάρ ( $\mu B = 1 \text{ Dyne/cm}^2$ ).

θ. Η ηχητική ή ακουστική ισχύς μιας ηχητικής πηγής είναι η τιμή της ηχητικής ενέργειας που εκπέμπει, εκφράζεται σε Watts.

ι. Η ηχητική στάθμη ενός ήχου, καθορίζεται από το μέτρο της φυσιολογικής του έντασης. Μια υποκειμενική κατάταξη της κλίμακας των ήχων από τον πιο ασθενή στον πιο ισχυρό (πιν.168.α) καθορίζει δυο ακραία όρια:

- το όριο ακουστότητας, το κατώτατο δηλαδή όριο διέγερσης που μπορεί να ακουστεί ένας ήχος

- το κατώφλι του πόνου, το ανώτερο δηλαδή όριο διέγερσης του ηχητικού αισθήματος, που όταν ξεπεραστεί προκαλεί αρχικά νυγμό στο δέρμα και στη συνέχεια πόνο και βλάβες στο ακουστικό τύμπανο. Όσο αυξάνει η φυσική ένταση του ήχου πάνω από το κατώτατο όριο, τόσο αυξάνεται και η ένταση της αίσθησης της ακοής.

Για να σταθεροποιηθεί μια σχέση μεταξύ της έντασης του ήχου και του αισθήματος που προκαλεί, κατασκευάστηκε μια κλίμακα σταθμών που παρέχουν ένα συγκριτικό μέτρο στη μεταβολή του ηχητικού αισθήματος. Η ηχητική στάθμη μετριέται με decibel (dB) με βάση την παραπάνω κλίμακα, με την οποία και ελέγχονται η ηχομονωτική ικανότητα και η ηχοδιαπερατότητα των στοιχείων ενός κτιριακού έργου

## 4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Αντικειμενικός στόχος του είναι να εξασφαλίζει στο κτίριο τις απαραίτητες εκείνες προϋποθέσεις που θα επιτρέπουν τη δημιουργία στους εσωτερικούς χώρους ενός ικανοποιητικού ακουστικού περιβάλλοντος. Οι θόρυβοι της πόλης, ο κυκλοφοριακός φόρτος, τα αεροπλάνα, οι μηχανές, κάνουν συχνά τις συνθήκες διαβίωσης ανυπόφορες. Οι κάθε είδους και έντασης ήχοι διεγείρουν τα ακουστικά νεύρα, και άλλοτε δεν επηρεάζουν αισθητά τον άνθρωπο (φυσιολογική ομιλία), άλλοτε πάλι τον επηρεάζουν θετικά (μελωδία), συχνότερα όμως αρνητικά (θόρυβος), οπότε έχουμε αυτό που έχει πια γίνει κοινή ορολογία: την «ηχητική ρύπανση» του περιβάλλοντος. Και η ρύπανση αυτή, με τις σημερινές συνθήκες, δεν είναι καθόλου αμελητέα. Όμως, ικανοποιητικό ακουστικό περιβάλλον δεν διαμορφώνεται μόνο με την πρόβλεψη προστασίας από τους διάφορους εξωτερικούς ήχους, αλλά και με τη βελτίωση των διαφόρων ακουστικών συνθηκών συγκεκριμένων χώρων ειδικής χρήσης. Έτσι ειδικότερα, με τον έλεγχο του ήχου πρέπει να εξασφαλίζεται:

α. Η ηχοπροστασία, που επιτυγχάνεται μόνο όταν παρθούν κατάλληλα κατασκευαστικά μέτρα, ώστε να εξασφαλίζονται:

- Η ηχομόνωση, δηλαδή ο περιορισμός της μετάδοσης του ήχου με τη βοήθεια κατάλληλων ηχομονωτικών υλικών, τα οποία ελαττώνουν ή εξαλείφουν τελείως την έντασή του. Ο ήχος μεταδίδεται από το εξωτερικό περιβάλλον προς τους εσωτερικούς χώρους ή από ένα χώρο στον άλλο από τα πλευρικά τοιχώματα, τα δάπεδα ή τις οροφές, μπορεί να μεταδίδεται με τον αέρα ή να προκαλείται από κρούσεις ή κραδασμούς (πιν.166.α).

- Ο έλεγχος του θορύβου στην πηγή του, που γίνεται κατορθωτός με τη χρησιμοποίηση αθόρυβων συσκευών ή μηχανών, με τη σωστή κατασκευή των υδραυλικών εγκαταστάσεων, με την απομόνωση των κραδασμών των μηχανημάτων, ή με τη χρήση ηχοαπορροφητικών παρεμβλημάτων.

β. Η ακουστική των χώρων, με την οποία ρυθμίζονται οι συνέπειες της διάδοσης του ήχου μέσα σε μια αίθουσα ειδικής χρήσης, ώστε να εξασφαλίζονται οι ιδανικότερες συνθήκες λειτουργίας της. Για το λόγο αυτό, κατά περίπτωση, επιδιώκεται:

- Ελάττωση της έντασης του θορύβου, όταν πρόκειται για χώρους εργασίας ή διακίνησης κοινού, οπότε είναι απαραίτητη η απορρόφηση των ανεπιθύμητων ήχων που προκαλούν οι γραφομηχανές, οι ομιλίες, ή κάθε είδους θόρυβοι, που προέρχονται από διάφορες ηχητικές πηγές που βρίσκονται μέσα στους χώρους αυτούς. Με την επικάλυψη των επιφανειών ενός τέτοιου χώρου με κατάλληλα ηχοαπορροφητικά υλικά επιτυγχάνεται η μείωση της στάθμης του θορύβου και η εξάλειψη της αντήχησης.

Ακουστική διόρθωση, όταν πρόκειται για αίθουσες θεάτρων, συναυλιών, διδασκαλίας κλπ., στις οποίες ο ήχος είναι απαραίτητο να φτάνει στον ακροατή με την μεγαλύτερη δυνατή πιστότητα. Με κατάλληλα ηχοαπορροφητικά ή ηχοαντανεκλαστικά υλικά ελέγχεται το ποσοστό αντανάκλασης του ήχου, η διάρκεια αντήχησης ή η συνήχηση, ανάλογα με τη χρήση της αίθουσας. Η ακουστική διόρθωση όμως ενός χώρου δεν είναι δυνατόν να γίνει μόνο με υλικά, πρέπει απαραίτητα και η γεωμετρία του χώρου αυτού — το μέγεθος του όγκου του, το σχήμα του και οι κλίσεις των επιφανειών του να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζονται όλες οι βασικές προϋποθέσεις καλής ακουστικής. Όσο λιγότερα υλικά χρειαστούν για τη διόρθωση της ακουστικής ενός χώρου, τόσο πιο πετυχημένος θεωρείται ο χώρος αυτός.

### 4.3 ΗΧΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Τα φαινόμενα που προκαλούν τα ηχητικά κύματα όταν παράγονται μέσα σ' ένα κλειστό χώρο είναι η ανάκλαση, η αντήχηση και η απορρόφηση. Όταν τα ηχητικά κύματα έρθουν σ' επαφή με τις εσωτερικές επιφάνειες του χώρου αυτού, μέρος της ενέργειάς τους ανακλάται και μεταδίδεται, άλλο απορροφάται, και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Το τμήμα που ανακλάται συνεχίζει την καινούρια πορεία του μέχρι να συναντήσει μια άλλη σκληρή επιφάνεια του χώρου, οπότε επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Μια και τα περισσότερα από τα οικοδομικά υλικά όπως το γυαλί, το επίχρισμα, το ξύλο, ανακλούν πάνω από το 25% της ηχητικής ενέργειας, τα ηχητικά κύματα που προσβάλλουν επιφάνειες επενδυμένες με τα υλικά αυτά συνεχίζουν να ανακλώνται μέχρις ότου πάψει ο ήχος να ακούγεται. Αυτή η συνεχής ανάκλαση του ήχου, αφού πια έχει σιγάσει η αρχική ηχητική πηγή, λέγεται αντήχηση. Την αντήχηση αυτή — με τα τόσο δυσάρεστα αποτελέσματα που προκαλεί — επιδιώκουμε να την περιορίσουμε με τα διάφορα ηχοαπορροφητικά υλικά, ώστε να επιτυγχάνεται άλλοτε η διόρθωση της ακουστικής ενός χώρου κι άλλοτε η μείωση της στάθμης του θορύβου.

### 4.4 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Η μετάδοση του ήχου προκαλείται μόνο αν μεταξύ της ηχητικής πηγής και του ακουστικού νεύρου μεσολαβήσει ένα ελαστικό μέσο μεταβίβασης: ένα σώμα στερεό, υγρό, ή ο αέρας' μετάδοση στο κενό ή σε ανελαστικά μέσα είναι αδύνατη. Ο ήχος μεταδίδεται δια μέσου ενός τοίχου, δαπέδου ή χωρίσματος, με τον ίδιο τρόπο όπως σ' ένα διάφραγμα. Η ηχητική ενέργεια φτάνει με κύματα στη μια πλευρά του χωρίσματος και η σύγκρουση των διαδοχικών κυμάτων βάζει το χωρίσμα σε παλμική κίνηση, όπως συμβαίνει σ' ένα διάφραγμα. Εξαιτίας αυτής της ταλάντωσης ένα μέρος της ενέργειας ανακλάται, ένα μέρος απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμότητα, και το υπόλοιπο μεταδίδεται - με την βοήθεια των παλμικών κινήσεων στον αέρα του

διπλανού χώρου. Το ποσό της ενέργειας, που μεταδίδεται εξαρτάται από το πλάτος των ταλαντώσεων του χωρίσματος, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από:

- το ποσό της αρχικής ενέργειας που πλήττει το χωρίσμα,
- τα είδη των υλικών που συγκροτούν το χωρίσμα και τη μάζα του,
- το βαθμό ακαμψίας του χωρίσματος και το μέγεθος της επιφάνειάς του,
- τη στατική λειτουργία και τον τρόπο σύνθεσης των υλικών που διαμορφώνουν το χωρίσμα
- τον τρόπο συναρμογής του χωρίσματος με τα μέλη του φέροντα οργανισμού.

Τα παραπάνω κριτήρια καθορίζουν την ηχομονωτική ικανότητα και την ηχοδιαπερατότητα των στοιχείων ενός κτιρίου. Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει η διάκριση ότι η ηχομονωτική ικανότητα αφορά στους θορύβους που μεταδίδονται με τον αέρα (αερόφερτος ήχος).

-η ηχοδιαπερατότητα αφορά στους θορύβους που προέρχονται από μηχανικές κρούσεις, όπως κτύποι, βήματα κλπ. (κτυπογενής ήχος).

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την επίλυση των προβλημάτων προστασίας ,όσων δημιουργούν οι δυο αυτοί τρόποι μετάδοσης του ήχου σ' ένα χώρο, είναι τελείως διαφορετικοί . Για τη χώρα μας με το Μέρος IV του Γ.Ο.Κ., έχουν καθοριστεί οι ελάχιστες απαιτήσεις ηχομόνωσης για κάθε είδος κτιρίου, με τις οποίες ορίζονται σε Db οι ελάχιστες τιμές ηχομονωτικής ικανότητας και ηχοδιαπερατότητας των βασικών στοιχείων ενός κτιρίου (τοιχοί, πατώματα) σε σχέση με τη λειτουργία των χώρων που περικλείουν.

## 4.5 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Τα βασικά μέτρα που πρέπει να παίρνονται κατά το σχεδιασμό, ώστε να εξασφαλίζεται μια ικανοποιητική ηχοπροστασία είναι:

- Επιλογή της θέσης του κτιρίου ως προς τον τόπο και τον προσανατολισμό του. Φυσικά κάτι τέτοιο με τις σημερινές συνθήκες είναι σχεδόν αδύνατο.
- Διαμόρφωση της κάτοψης έτσι ώστε να απομονώνονται λειτουργικά οι χώροι εκείνοι που προκαλούν θορύβους (φρεάτια ανελκυστήρων, κουζίνες, λουτρά).
- Επιλογή του κατάλληλου τρόπου δομής (ελαφριά ή βαριά κατασκευή).
- Ιδιαίτερη μέριμνα στη μελέτη και κατασκευή των υδραυλικών εγκαταστάσεων.
- Μελέτη και σωστός σχεδιασμός των κουφωμάτων, ιδίως όταν ο θόρυβος από την κυκλοφορία είναι δυνατός.

- Επιλογή του κατάλληλου μηχανικού εξοπλισμού — ανελκυστήρα, συσκευών κουζίνας, μηχανημάτων κλιματισμού κλπ. και ικανοποιητική προστασία από τους κραδασμούς που προκαλούν.

- Προστασία του κτιρίου από τις δονήσεις και τους κραδασμούς που προκαλούνται με τη βαριά κυκλοφορία, ή με την ύπαρξη κοντά στο κτίριο αεροδρομίου ή βαριάς βιομηχανίας που προκαλεί κραδασμούς. Με τα μέτρα αυτά εξασφαλίζεται η προστασία από τα διάφορα είδη θορύβων, που μεταφέρονται είτε από τον αέρα είτε από τους κτύπους, ώστε να διατηρείται η στάθμη θορύβου στα ανεκτά για τον άνθρωπο επίπεδα.

## 4.6 ΥΛΙΚΑ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Τα ειδικά υλικά που υπάρχουν για την εξασφάλιση της ηχοπροστασίας είναι απαραίτητα από τη στιγμή που τα στοιχεία της κατασκευής δεν είναι σε θέση με τη μάζα τους ή τη σύσταση τους να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις ηχομόνωσης, ηχοδιαπερατότητας και ηχοαπορρόφησης. Ένας απλός τοίχος 23 εκ., για παράδειγμα, δεν έχει ανάγκη ιδιαίτερης προστασίας, ενώ ένα ελαφρό διαχωριστικό πρέπει να ενισχυθεί με το κατάλληλο ηχομονωτικό υλικό για να φτάσει τις καθορισμένες από το νόμο αποδεκτές τιμές ηχομονωτικής ικανότητας. Το άρθρο 116 του Γ.Ο.Κ. καθορίζει τις κατώτερες αποδεκτές τιμές τοίχων πατωμάτων και κουφωμάτων, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, τόσο για τους θορύβους που μεταδίδονται από τον αέρα, όσο και για αυτούς που προέρχονται από κρούσεις. Υλικά που εξασφαλίζουν ηχοαπορρόφηση ή ηχομόνωση είναι το υαλόμαλλο, ο φελλός σε πλάκες ή τρίμματα, τα υφάσματα, οι πλάκες από ξυλόμαλλο, τα διάφορα είδη ειδικών ακουστικών πλακών κλπ. Μεγάλη ηχομονωτική αξία έχει και ο στεγνός αέρας σε στρώματα πάχους 5 έως 14 εκ. Επίσης και το χαλί, που εκτός από το ότι παρουσιάζει μεγάλη ηχοαπορροφητική ικανότητα εξαλείφει και τους θορύβους που προέρχονται από κρούσεις, όπως αυτές των βημάτων πάνω σ' ένα δάπεδο με σκληρή επιφάνεια .

Συχνά παρατηρείται μια σύγχυση ως προς την ερμηνεία των όρων «ηχομόνωση» και «ηχοαπορρόφηση» που ως φαινόμενα είναι τελείως διαφορετικά. Πρέπει λοιπόν να δίνεται μεγάλη σημασία στην εκλογή των υλικών, ένα υλικό με μεγάλη ηχο-απορροφητική ικανότητα, που μπορεί να είναι αποτελεσματικό στη χρήση του για ακουστική διόρθωση σ' ένα αμφιθέατρο, μπορεί να έχει πολύ μικρή ηχομονωτική αξία σε ό,τι αφορά την αντιμετώπιση των θορύβων. Επειδή τα περισσότερα ηχομονωτικά υλικά είναι ταυτόχρονα και θερμομονωτικά, επιδιώκεται ώστε κατά την κατασκευή μιας θερμομόνωσης το ίδιο υλικό να εξυπηρετεί και την ηχομόνωση, για να περιορίζεται το κόστος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



## 5.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

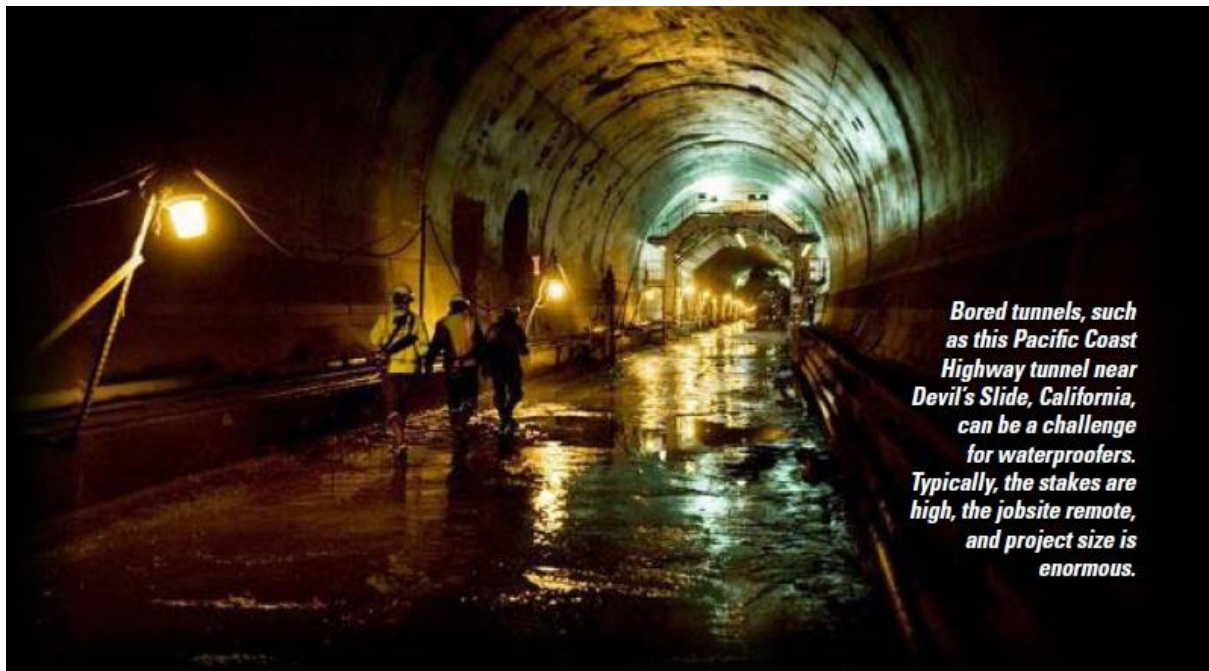
Η στεγάνωση κατά τη διαμόρφωση μίας σήραγγας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα που αντιμετωπίζει ένας κατασκευαστής και πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες βασικές απαιτήσεις. Στην περίπτωση των σήραγγων η στεγανωτική στρώση θα πρέπει:

ο Να εξασφαλίζει να μην υπάρχουν εισροές νερού από το έδαφος που την περιβάλλει προς τα μέσα.

ο Να έχει επαρκή ελαστικότητα ώστε να αντέχει στις συστολοδιαστολές των τοιχωμάτων λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών του περιβάλλοντος.

## 5.2 ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Οι σήραγγες που απαιτούν διάτρηση είναι μερικά από τα πιο απαιτητικά και προκλητικά έργα που μπορεί να εργαστεί κάποιος που ασχολείται με τις στεγανώσεις.



Εικόνα 9: Διανοιγμένες σήραγγες, όπως αυτό το τούνελ της εθνικής οδού στην Ακτή Ειρηνικού κοντά στην Τσουλήθρα του Διαβόλου, Καλιφόρνια, μπορεί να είναι μια πρόκληση για τα στεγανωτικά. Τυπικά, το διακύβευμα είναι υψηλό, το εργοτάξιο δυσπρόσιτο, και το μέγεθος του έργου τεράστιο.

Σε αντίθεση με σήραγγες κοντά στην επιφάνεια, που συνήθως κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τεχνικές ανοικτής εκσκαφής (cut and cover), οι σήραγγες κλειστής διάνοιξης ή εξορυγμένες σήραγγες κατασκευάζονται βαθιά κάτω από το επίπεδο, όπου

μερικές φορές απλά το να φτάσεις στο εργοτάξιο είναι μια μεγάλη ταλαιπωρία. Επιπλέον, οι πιέσεις, τα βάθη, και η έλλειψη επιλογών επισκευής που συνδέονται με αυτό το είδος εργασίας κάνουν το να κάνεις τη δουλειά σωστά ακόμη πιο δύσκολο απ' ό,τι συνήθως.

Λόγω αυτών των προκλήσεων, οι σήραγγες κλειστής διάνοιξης είναι συνήθως οικονομικές μόνο όταν άλλες μέθοδοι κατασκευής —όπως η ανοιχτή εκσκαφή— (cut and cover) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, συνήθως επειδή το εργοτάξιο είναι πολύ βαθύ. Δεν είναι ασυνήθιστο τέτοιου είδους σήραγγες να φθάνουν τα 50 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης. Στα βάθη αυτά, η σήραγγα σχεδόν πάντα λαξεύεται μέσω συμπαγούς βραχώδους υποστρώματος. Σε άλλες περιπτώσεις, οι σήραγγες που απαιτούν διάτρηση προτιμώνται επειδή η επιφάνεια δεν μπορεί να διαταραχθεί.

Βασικές μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων έχουν σίγουρα πρότυπα. Κατ' αρχάς, η σήραγγα ανασκάπτεται χρησιμοποιώντας βαρύ εξοπλισμό, τις διάτρησης-και-ανατίναξης τεχνικές εξόρυξης, γιγαντιαία μηχανήματα διάνοιξης σηράγγων (TBM) ή κάποιο συνδυασμό των παραπάνω. Εάν χρειαστεί, καρφιά εδάφους και κοχλίες βράχου εγκαθίστανται στη συνέχεια για την ενίσχυση και σταθεροποίηση της προσφάτως εκτεθειμένης πρόσοψης/επιφάνειας. Επίσης, σχεδόν κάθε διανοιγμένη σήραγγα λαμβάνει ένα στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος που εξυπηρετεί τον ίδιο ακριβώς σκοπό.

Οι περισσότερες από τις δημοφιλείς μεθόδους στεγανοποίησης επωφελούνται από αυτό το στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος καθώς απλοποιείται η διαδικασία στεγανοποίησης. Μόλις αυτό τίθεται σε εφαρμογή, οι εργαζόμενοι μπορούν να εγκαταστήσουν οποιεσδήποτε μεμβράνες αποξήρανσης ή / και στεγανοποίησης. Τέλος, ένα πλέγμα από χάλυβα οπλισμού τοποθετείται για να ακολουθήσει η τελική επένδυση της σήραγγας. Αυτή η επένδυση είναι συνήθως είτε ένα άλλο στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή ένα παραδοσιακό μείγμα σκυροδέματος που τοποθετείται επιτόπια χρησιμοποιώντας στρωτήρες σκυροδέματος.

Ενώ κάθε εργοτάξιο είναι μοναδικό και κάθε έργο απαιτεί ένα εξατομικευμένο σύστημα στεγανοποίησης, τα συστήματα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε μόλις λίγα βασικά είδη.

### **Κρυσταλλικά Συστήματα**

Ίσως η λιγότερο πολύπλοκη μέθοδος είναι να ενσωματωθεί ένα κρυσταλλικό μίγμα εντός του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, έτσι ώστε το ίδιο το σκυρόδεμα να γίνεται αδιάβροχο και αυτο-σφραγιστικό. Σε προηγούμενες δεκαετίες, το προϊόν εφαρμοζόταν συνήθως ως σκόνη ή υγρό έπειτα. Πρόσφατα όμως, μια καλύτερη μέθοδος έχει αναπτυχθεί.

Η Ann Martucci, στέλεχος μάρκετινγκ στην ICS Penetron, σημειώνει, "Στο παρελθόν, προτείναμε τον ψεκασμό του Penetron πάνω στην επιφάνεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αλλά τα τελευταία χρόνια, έχουμε ανακαλύψει ότι είναι πολύ πιο αποτελεσματικό —τόσο από τη βάση της απόδοσης όσο και του κόστους— η προσθήκη του προϊόντος άμεσα στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της εφαρμογής."



Εικόνα 10: Σύστημα ψεκασμού με κρυσταλλικά συστήματα

Για παράδειγμα, η ICS Penetron καθορίστηκε να στεγανοποιήσει τις σήραγγες σε μια νέα σιδηροδρομική γραμμή 250 χιλιομέτρων στη Σουηδία. Η χώρα διαθέτει μερικά από τα πιο αυστηρά πρότυπα ρύπανσης και μόλυνσης των υπόγειων υδάτων στην Ευρώπη, και με περίπου 25 χλμ σηράγγων για σφράγιση, το έργο θα ήταν εξαιρετικά απαιτητικό. Ευτυχώς, η Penetron είχε ήδη μια δεκαετία εμπειρίας στη χώρα, και το «Penetron Ανακατεμένο Ενισχυμένο Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα» (PAES), που αναπτύχθηκε το 2003, είχε ήδη περάσει αυστηρές περιβαλλοντικές δοκιμές. Έτσι, το 2009, η εταιρεία πήρε το πράσινο φως. Μέχρι το 2011, είχαν παραδοθεί πάνω από 5000 κυβικές γυάρδες PAES στο έργο. Ήταν μια κομψή λύση σε μια δουλειά που διαφορετικά θα ήταν πολύ πιο περίπλοκη.

Το κρυσταλλικό-ενισχυμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για διορθωτική στεγανοποίηση σε σήραγγες, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί στην αρνητική (εσωτερική) πρόσοψη. Το Σύστημα του Μετρό της Ουάσινγκτον Π.Κ, χρησιμοποίησε κρυσταλλικά προϊόντα από την Xypex για να επισκευάσει σοβαρά προβλήματα διαρροής σε αρκετά μίλια σηράγγων, καθώς και περάσματα, μηχανικά δωμάτια, θησαυροφυλάκια εξοπλισμού, φρέατα ανελκυστήρων και επιβατικούς σταθμούς. Στην περίπτωση αυτή, η στεγανοποίηση εφαρμόστηκε ως επικάλυψη κονιάματος πάνω στο ελαττωματικό σκυρόδεμα.

### **Συστήματα Μεμβράνης**

Μια δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί παραδοσιακές εκτός οπτικού πεδίου μεμβράνες ανεπτυγμένες για βαθιά θεμέλια.

Σε αντίθεση με τα θεμέλια, όμως, που χρησιμοποιούν μια στρώση αποστράγγισης μεταξύ του τοίχου και του στρώματος στεγανοποίησης, σε δουλειά σήραγγας η μεμβράνη στεγανοποίησης εφαρμόζεται απευθείας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Στην περίπτωση αυτή, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι κατά κύριο λόγο για τη σταθεροποίηση και ενθυλάκωση των αιχμηρών άκρων του προσφάτως σπασμένου βράχου, και την προστασία της μεμβράνης από τρυπήματα.

Αυτή είναι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη στεγανοποίηση της πρόσφατα ολοκληρωμένης σήραγγας της Τσουλήθρας του Διαβόλου στην εθνική οδό 1 κοντά στην Pacifica, Καλιφόρνια. Το 300 και εκατομμυρίων δολαρίων έργο περιελάμβανε την εκσκαφή δύο διπλανών σηράγγων, η καθεμία  $\frac{3}{4}$  του ενός μιλίου μακριά, 9.2 μέτρα πλατιά και 7.3 μέτρα ψηλή.



Εικόνα 11: Οι μεμβράνες PVC είναι μια δημοφιλής επιλογή για σήραγγες και εισόδους σηράγγων λόγω της αντοχής, της τιμής και της ευκολίας χρήσης τους.

Μόλις ένα τμήμα ανασκάφηκε, οι εργαζόμενοι χρησιμοποίησαν κοχλίες βράχου για να ενισχύσουν τους τοίχους και την οροφή, και ένα τηλεκατευθυνόμενο φορτηγό εφάρμοσε ένα στρώμα από ινο-ενισχυμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το πάχος κυμαίνεται από 4 έως 14 ίντσες. Έπειτα ήρθε η μεμβράνη στεγανοποίησης, σε αυτή την περίπτωση, μια ανοιχτή (στραγγισμένη) μεμβράνη PVC από τη Sika Sarnafil.

Θερμοπλαστικές μεμβράνες όπως PVC, TPO, ή πολυαιθυλένιο (HDPE) είναι οι πιο κοινές επιλογές μεμβράνης για σήραγγες που απαιτούν διάτρηση. Είναι ευέλικτες, εύκολες στην εγκατάσταση, και αντιστέκονται στο τέντωμα· το φράγμα της Sika τεντώνεται πάνω από 300%. Επιπλέον, αυτοί οι τύποι μεμβρανών είναι ανθεκτικοί σε χαμηλές θερμοκρασίες, στη γήρανση, και μπορούν εύκολα να συγκολληθούν και να επισκευαστούν, ακόμα και σε νωπές ή υγρές περιοχές.

Μόλις η στεγανοποίηση εγκαταστάθηκε στο τούνελ της Τσουλήθρας του Διαβόλου, η κατασκευή ακλούθησε το τυπικό μοτίβο. Οι εργαζόμενοι εγκατέστησαν ένα διπλό στρώμα οπλισμού για να ταιριάζει με τις σεισμικές απαιτήσεις της περιοχής. Ένας στρωτήρας

σκυροδέματος κινούμενος επί σιδηροτροχιά χρησιμοποιήθηκε για να ρίχνει την τελική επένδυση της σήραγγας.

Η Cetco έχει αναπτύξει πρόσφατα μια σειρά μεμβρανών PVC ειδικά για διανοιγμένες σήραγγες. Η CoreFlex 60 ενσωματώνει μια 60 χιλιοστόλιτρων θερμοπλαστική μεμβράνη με την Elvaloy-KEE (Εστέρας Κετόνης Αιθυλενίου) της DuPont για τη σφράγιση οποιωνδήποτε διαρροών που αναπτύσσονται. Είναι σύμφωνα με πληροφορίες η μόνη σύνθεση θερμοπλαστικής μεμβράνης με αυτό το αντιδραστικό, αυτο-σφραγιστικό χαρακτηριστικό απόδοσης.

Η εταιρεία φτιάχνει επίσης μεμβράνες 80- 100- και 120-χιλιοστόλιτρων χωρίς τις επενδύσεις αυτό-σφράγισης.

«Η βιομηχανία διάνοιξης σηράγγων προτιμά πραγματικά αυτές τις ανθεκτικές μεμβράνες PVC λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής», αναφέρει η Stacy Byrd, Διευθύντρια Εθνικών Προϊόντων στη Cetco.

### **Αποξήρανση και Ελαστικές ταινίες στεγάνωσης αρμών**

Πολλά σχέδια σηράγγων —ιδιαίτερος σχέδια βαθιών σηράγγων— επιτρέπουν για μια ορισμένη ποσότητα διαρροής.

Οι σχεδιαστές συνήθως αποφεύγουν να καθορίσουν τις στρώσεις αποξήρανσης, καθώς οι πιέσεις βαθιά μέσα στη γη είναι ακραίες, και δεν θέλουν τίποτα συμπιεστό στο σχέδιο. Ακόμα, κάποιο είδος αποξήρανσης είναι απαραίτητο για τη μείωση της υδροστατικής πίεσης στο σύστημα στεγανοποίησης. Οι μηχανικοί συνήθως καταφεύγουν σε ένα σύστημα ελαστικών ταινιών στεγάνωσης αρμών, σωλήνων αποχέτευσης, και αντλιών φρεατίων.

Ο στόχος είναι να κατευθύνουν τη ροή του νερού προς τους αγωγούς αποστράγγισης για εκκένωση το συντομότερο δυνατόν.

Εάν χρησιμοποιείται μια μεμβράνη PVC, οι θερμοπλαστικές ελαστικές ταινίες στεγάνωσης αρμών αποτελούν προϋπόθεση, δεδομένου ότι μπορούν να συγκολληθούν στη μεμβράνη. Οι PVC ελαστικές ταινίες στεγάνωσης αρμών —εύκαμπτα, αδιαπέραστα φράγματα— εγκαθίστανται κατακόρυφα σε τακτά μεσοδιαστήματα για τον περιορισμό της απόστασης όπου το νερό μπορεί να εξαπλωθεί πίσω από τη μεμβράνη. Η Byrd αναφέρει ότι συνήθως εγκαθίστανται κάθε 30 πόδια περίπου, διαιρώντας τη σήραγγα σε τμήματα αποξήρανσης όχι περισσότερο των χιλίων τετραγωνικών ποδιών. Αυτές οι ελαστικές ταινίες στεγάνωσης αρμών είναι διαφορετικές από τις συμβατικές των ψυχρών-αρμών που χρησιμοποιούνται σε τακτικές εργασίες με σκυρόδεμα. Έχουν ένα διαφορετικό προφίλ, και είναι τόσο άκαμπτες που δεν μπορούν να τυλιχθούν εύκολα. Συνήθως φτάνουν στο εργοτάξιο σε μακριά ευθεία κομμάτια με ξεχωριστές κατασκευασμένες από το εργοστάσιο συνδέσεις.



Η προτιμώμενη λύση για τους αγωγούς αποξήρανσης είναι εκπληκτικά κοινή: ο τυπικός διάτρητος σωλήνας από σκυρόδεμα που κάθε εργολάβος στεγάνωσης γνωρίζει. Στην 25 μιλίων Σήραγγα της Μάγχης που συνδέει την Αγγλία με τη Γαλλία, ο διάτρητος σωλήνας εγκαταστάθηκε στο έρμα του σκύρου κάτω από τις ράγες.

Εάν είναι δυνατόν, οι σωλήνες τρέχουν στο φως της ημέρας και στραγγίζουν από τη βαρύτητα. Στη Σήραγγα της Μάγχης και άλλες βαθιές σήραγγες, χρησιμοποιείται μια τυπική εγκατάσταση αντλίας φρεατίου.



Εικόνα 12: Η 25-μιλίων-μήκους Σήραγγα της Μάγχης, που συνδέει την Αγγλία και τη Γαλλία, χρησιμοποίησε περισσότερους από 500 τόνους στεγάνωσης αρμών.

### **Συστήματα Ρευστοκονιάματος Πολυουρεθάνης**

Όπως κάθε είδος έργου, οι σήραγγες που απαιτούν διάτρηση έχουν μια αχίλλειο πτέρνα. Ψυχροί αρμοί, αρμοί διαστολής, και συνδέσεις με άλλες σήραγγες —όπως φρέατα εξαερισμού ή διόδους— είναι επιρρεπείς σε διαρροές και χρειάζονται επιπλέον φροντίδα.

Μια δημοφιλής μέθοδος για δευτεροβάθμια στεγανοποίηση ή επανορθωτική επισκευή είναι το ρευστοκονίαμα πολυουρεθάνης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν φρεάτια πρόσβασης ή άλλες εισοδοί δημιουργούν γεωμετρικά σχήματα που παρά είναι άβολα ώστε τα προϊόντα επίστρωσης να σφραγίσουν επαρκώς. Αυτό το ρευστοκονίαμα συνήθως εγχέεται ως μια υγρή ρητίνη που αντιδρά με το νερό για να σχηματίσει μια υδατοστεγής, μόνιμη σφράγιση.

Τα Προϊόντα Δομικών Κατασκευών Γκρέις εμπορεύονται ένα φύλλο μεμβράνης που εμπεριέχει ένα πλέγμα από προ-εγκατεστημένες οπές γεμισμένες με ρευστοκονίαμα πολυουρεθάνης. Μετά την εγκατάσταση της τελικής επένδυσης της σήραγγας, το ρευστοκονίαμα μπορεί να εγχυθεί σε οποιαδήποτε τοποθεσία για να εξασφαλιστεί μια υδατοστεγής ένωση.

Η σειρά θερμοπλαστικών μεμβρανών της CETCO μπορεί επίσης να εγκατασταθεί με ολόκληρους σωλήνες ρευστοκονιάματος.

## Πρόσθετες Εκτιμήσεις

Η στεγανοποίηση είναι καθοριστική σε εφαρμογές βαθιών σηράγγων, διότι το διακύβευμα είναι πολύ υψηλό. Εργασίες συντήρησης ή επισκευής τυπικά θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοβαρή διακοπή της υπηρεσίας, οπότε η εργασία πρέπει να γίνει σωστά. Μια αποτυχημένη δουλειά στεγάνωσης, όμως, δεν είναι μόνο ενοχλητική, αλλά και επικίνδυνη. Σε μια σήραγγα αυτοκινητόδρομου σε βουνό, για παράδειγμα, οποιαδήποτε συσσώρευση νερού ή πάγου είναι ένας σοβαρός κίνδυνος για την ασφάλεια.

Ο Peter D'Antonio, ο οποίος επιβλέπει τις πωλήσεις σηράγγων για τη Sika Sarnafil, σημειώνει, "Η σωστή στεγανοποίηση των σηράγγων είναι ένας από τους πιο οικονομικά αποτελεσματικούς τρόπους για την αύξηση της χρήσιμης ζωής αυτών των δομών και την ενίσχυση της ασφάλειας. Το νερό που στάζει σε μια δομή θέτει σε κίνδυνο τα δομικά υλικά μέσω του κύκλου κατάψυξης-απόψυξης, με το νερό να καταψύχεται μέσα σε ρωγμές και να προκαλεί τη μεγέθυνση τους. Επίσης, εμποδίζοντας το νερό να παγώσει στις οδικές επιφάνειες αυξάνεται η ασφάλεια. "

## 5.3 ΕΥΡΕΣΙΤΕΧΝΙΑ ΚΙΝΕΖΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ

Η παρούσα ευρεσιτεχνία εκθέτει μία μέθοδο στεγανοποίησης σηράγγων, η οποία έχει κερδίσει πολύ έδαφος στην Κίνα καθώς και σε ολόκληρη την Ασιατική Ήπειρο από τότε που εφαρμόστηκε στην κατασκευή της σήραγγας Xiamen Xiang'an στο Xiamen της Κίνας. Αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:

Επιφανειακή κατεργασία: Η εσωτερική επιφάνεια της σήραγγας, προκειμένου να στεγανοποιηθεί, δέχεται κατεργασία εξομάλυνσης της τραχύτητάς της.

Άκαμπτο στεγανοποιητικό στρώμα: Ακολουθεί την επιφανειακή κατεργασία και συνίσταται στην πλήρη κάλυψη της εσωτερικής επιφάνειας με επιπεδούμενο αυτό-επισκευαζόμενο στεγανοποιητικό παράγοντα, για τη δημιουργία μίας συνεχούς και άκαμπτης αδιάβροχης μεμβράνης.

Εύκαμπτο στεγανοποιητικό στρώμα: Το άκαμπτο στεγανοποιητικό στρώμα του προηγούμενου σταδίου καλύπτεται με ένα στρώμα εύκαμπτης στεγανοποιητικής μεμβράνης και τέλος

Στρώμα επένδυσης: Κατασκευή επένδυσης για την προστασία της εύκαμπτης μεμβράνης του προηγούμενου σταδίου. Το στρώμα της επένδυσης αποτελεί και το πλέον εσωτερικό κομμάτι του τοιχώματος της σήραγγας.

Η ευρεσιτεχνία που παρουσιάζεται οδηγεί στην κατασκευή ενός συνθετικού σάντουιτς στεγανοποίησης, αποτελούμενο από ένα άκαμπτο και ένα εύκαμπτο στεγανοποιητικό



στρώμα, με μεγάλη αντοχή σε διαρροές αλλά και με την ικανότητα αντίστασης σε παραμορφώσεις χωρίς την ανάγκη επιπρόσθετων ενισχύσεων, με μηδενική πιθανότητα διάτρησης, με άριστη προστασία, στατικότητα, μηχανική αντοχή και υψηλή αξιοπιστία.

Μέθοδος κατασκευής συστήματος στεγανοποίησης σηράγγων

## ΤΕΧΝΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Η παρούσα ευρεσιτεχνία σχετίζεται με μέθοδο κατασκευής συστήματος στεγανοποίησης σηράγγων.

Το περιβάλλον κατασκευής σηράγγων συχνά χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη υγρασίας, διαρροών και συγκέντρωσης νερού και κακού αερισμού. Επιπλέον, λόγω του χαρακτήρα αυτών των έργων, πολλές φορές διακόπτονται οι διαδρομές ροής των υπογείων υδάτων με αποτέλεσμα τόσο κατά την κατασκευή όσο και στη λειτουργία μιας σήραγγας τα εσωτερικά της τοιχώματα να είναι σε άμεση επαφή με νερό, καθιστώντας απαραίτητη την εγκατάσταση συστημάτων αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος.

Συνήθως, όταν συμβαίνει μια διαρροή νερού σε σήραγγα, συνοδεύεται από υψηλές τάσεις. Η ευρύτερα εφαρμοζόμενη μέθοδος στεγανοποίησης συνίσταται στη χρησιμοποίηση αδιάβροχων μεμβρανών σε δύο στρώματα. Η μέθοδος αυτή, αν και έχει χαμηλό κόστος εγκατάστασης και η τεχνική είναι πλέον ώριμη, παρουσιάζει τον κίνδυνο διαρροής στο σημείο ένωσης των μεμβρανών αν δε γίνει σωστή εφαρμογή. Επιπλέον, σε περίπτωση διάτρησης του πρώτου στρώματος, το δεύτερο δεν μπορεί πλέον να λειτουργήσει σωστά, με αποτέλεσμα την αστοχία ολόκληρου του συστήματος. Τέλος, ο έλεγχος στεγανότητας δεν μπορεί να διεξαχθεί παρά μόνο μετά την εφαρμογή και του δεύτερου στρώματος μεμβράνης, καθιστώντας έτσι αδύνατη μια επιθεώρηση και δοκιμή του έργου σε οποιοδήποτε άλλο στάδιό του. Προφανώς η αξιοπιστία δεν είναι υψηλή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΕΥΡΕΣΙΤΕΧΝΙΑΣ

Η υπάρχουσα τεχνική στεγανοποίησης σηράγγων παρουσιάζει χαμηλή αξιοπιστία και υψηλά ποσοστά αστοχιών, χωρίς τη δυνατότητα έγκαιρου ελέγχου. Η παρούσα ευρεσιτεχνία παρέχει μία μέθοδο στεγανοποίησης σηράγγων με την ακόλουθη τεχνική μεθοδολογία:

Μέθοδος στεγανοποίησης σηράγγων, αποτελούμενη από τα ακόλουθα στάδια:

Επιφανειακή κατεργασία: το εσωτερικό τοίχωμα της σήραγγας δέχεται κατεργασίες προκειμένου να απομακρυνθούν τα χαλαρά στρώματα του εδάφους, η σκόνη και τα σωματίδια που καθιστούν ασταθή την επιφάνεια, έτσι ώστε αυτή να γίνει εντελώς λεία.

Άκαμπτη στεγανοποίηση: Ακολουθεί την επιφανειακή κατεργασία και συνίσταται στην πλήρη κάλυψη της επιφάνειας με επιπεδούμενο αυτό-επισκευαζόμενο στεγανοποιητικό

παράγοντα, για τη δημιουργία μίας συνεχούς και άκαμπτης αδιάβροχης μεμβράνης. Το πάχος της επικάλυψης κυμαίνεται στο εύρος 1-5mm.

Εύκαμπτη στεγανοποίηση: Το άκαμπτο στεγανοποιητικό στρώμα του προηγούμενου σταδίου καλύπτεται με ένα στρώμα εύκαμπτης στεγανοποιητικής μεμβράνης πάχους 1-4mm με δυνατότητα επιμήκυνσης 100%-1500%.

Τελικό στρώμα επένδυσης. Στο στάδιο αυτό, εφαρμόζεται μία επένδυση για την προστασία του εύκαμπτου στρώματος. Η επένδυση αυτή αποτελεί το ορατό κομμάτι του εσωτερικού τοιχώματος της σήραγγας.

Η παρούσα τεχνική λύση, μπορεί να βελτιωθεί στα εξής σημεία:

Πριν το στάδιο της επιφανειακής κατεργασίας μπορούν να προηγηθούν ενέσεις με υλικό που όταν έρθει σε επαφή με το νερό να διογκώνεται, σφραγίζοντας τις διόδους ροής, αποτρέποντας έτσι σημαντικό μέρος από τυχόν διαρροές νερού στα τοιχώματα.

Στάδιο εκτροπής διαρροών, με την εγκατάσταση αγωγών αποστράγγισης στα σημεία διαρροής, κατευθύνοντας τη ροή του νερού από πάνω προς τα κάτω.

Αρχική επένδυση: μετά την ολοκλήρωση των προηγούμενων βημάτων σειρά έχει να γίνει επίπεδη η επιφάνεια των εσωτερικών τοιχωμάτων, κάτι που επιτυγχάνεται με μια αρχική επένδυση. Επιπλέον, ο αγωγός αποστράγγισης θα βρίσκεται στο σημείο εκείνο της τομής της σήραγγας όπου εντοπίζεται η διαρροή, στερεωμένος σε σταθερό σημείο. Πολλοί αγωγοί συνδεδεμένοι θα διαμορφώνουν ένα άκαμπτο σύνολο, με εύκαμπτους συνδέσμους. Η στερέωση των αγωγών θα προηγείται της στερέωσης των συνδέσμων. Με την εφαρμογή αυτής της τεχνικής, οι αγωγοί αποστράγγισης θα έχουν σχήμα αψίδας, με το νερό να οδηγείται από τη μία πλευρά της σήραγγας στην άλλη, μέσω της οροφής.

Κατά το στάδιο εύκαμπτης στεγανοποίησης, η εύκαμπτη στεγανωτική μεμβράνη απλώνεται στην επιφάνεια της άκαμπτης μεμβράνης είτε με ψεκάσμο είτε με τη χρήση πινέλων.

Κατά το στάδιο της άκαμπτης στεγανοποίησης, ο αυτό-επισκευαζόμενος στεγανοποιητικός παράγοντας ψεκάζεται στην επιφάνεια με τρόπο ώστε το ακροφύσιο να βρίσκεται σε μικρή απόσταση από αυτήν, επιτρέποντας στον παράγοντα να εισχωρήσει με πίεση σε πόρους και/ή ρωγμές.

Κατά το στάδιο της άκαμπτης στεγανοποίησης, ο αυτό-επισκευαζόμενος στεγανοποιητικός παράγοντας απλώνεται στην επιφάνεια με πινέλο σε δύο περάσματα. Το δεύτερο πέρασμα γίνεται αφού έχει στεγνώσει και σκληρύνει ο παράγοντας στο πρώτο πέρασμα.

Κατά το στάδιο της άκαμπτης στεγανοποίησης, πριν την εφαρμογή του αυτό-επισκευαζόμενου στεγανοποιητικού παράγοντα, η επιφάνεια διαβρέχεται καλά με νερό.

Η παρούσα ευρεσιτεχνία παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Επιτυγχάνεται άμεσος εντοπισμός των διαρροών, μειώνοντας έτσι στο ελάχιστο τις αστοχίες της κατασκευής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο έλεγχος μπορεί να γίνει από το στάδιο της άκαμπτης στεγανοποίησης, χωρίς την ανάγκη ολοκλήρωσης και της εύκαμπτης στεγανοποίησης. Είναι δηλαδή δυνατός ο έλεγχος σε κάθε στάδιο κατασκευής και όχι μόνο στο τελικό, βελτιώνοντας κατά αυτό τον τρόπο το τελικό αποτέλεσμα.
2. Η κατασκευή ενός συνθετικού σάντουιτς στεγανοποίησης, αποτελούμενο από ένα άκαμπτο και ένα εύκαμπτο στεγανοποιητικό στρώμα, παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε διαρροές αλλά και ικανότητα αντίστασης σε παραμορφώσεις χωρίς την ανάγκη επιπρόσθετων ενισχύσεων, με μηδενική πιθανότητα διάτρησης, με άριστη προστασία, στατικότητα, μηχανική αντοχή και υψηλή αξιοπιστία.
3. Η κατασκευή του συνθετικού σάντουιτς στεγανοποίησης παρουσιάζει χαρακτηριστικά σπονδυλωτής αρχιτεκτονικής, αφού το κάθε στρώμα μπορεί να επικεντρώνεται στην προστασία από συγκεκριμένους παράγοντες. Έτσι, για παράδειγμα, το εύκαμπτο στρώμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση θαλασσινού νερού με τη χρήση ειδικών διεισδυτικών ουσιών. Η σπονδυλωτή αρχιτεκτονική αυτής της μεθόδου, της δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής σε πλήθος κατασκευαστικών έργων.
4. Με τη μέθοδο στερέωσης των αγωγών στα τοιχώματα, το σύστημα παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή σε παραμορφώσεις.

Λεπτομερής περιγραφή

Παράδειγμα 1:

Η παρουσιαζόμενη μέθοδος κατασκευής συστήματος στεγανοποίησης σήραγγων αποτελείται από τα 4 στάδια της Εικόνας 1, τα οποία είναι:

Στάδιο 1 – Επιφανειακή επεξεργασία: Το εσωτερικό τοίχωμα της σήραγγας, το οποίο πρέπει να στεγανοποιηθεί, δέχεται κατάλληλη επεξεργασία. Στην παρούσα υλοποίηση, η επεξεργασία αυτή συνίσταται στην απομάκρυνση χαλαρού εδάφους, χωμάτων και ασταθών σωματιδίων, με στόχο η επιφάνεια 11 να γίνει σχετικά επίπεδη και τραχιά, ώστε να διευκολυνθεί η κατεργασία της σε επόμενη φάση. Στη συγκεκριμένη υλοποίηση, το έδαφος 10 που περιβάλλει τη σήραγγα δεν παρουσιάζει διαρροές νερού, έχοντας γεωλογικές ιδιότητες τέτοιες που το καθιστούν σταθερό και συμπαγές. Επομένως δεν απαιτείται κάποια άλλη επέμβαση.

Στάδιο 4 – Άκαμπτη στεγανοποίηση: Μετά την ολοκλήρωση της επιφανειακής επεξεργασίας του 1<sup>ου</sup> σταδίου, ο αυτό-επισκευαζόμενος στεγανοποιητικός παράγοντας εφαρμόζεται στην

επιφάνεια 11 για τη δημιουργία μίας άκαμπτης στεγανοποιητικής μεμβράνης. Ο παράγοντας έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Ο αυτό-επισκευαζόμενος στεγανοποιητικός παράγοντας αποτελείται από ωσμωτικά κρυσταλλικά ενεργά υλικά καθώς και από διάφορα ανόργανα υλικά. Παρασκευάζεται με την προσθήκη νερού και μετά από χημική αντίδραση σχηματίζονται κρύσταλλοι που αυτομάτως σφραγίζουν τους πόρους και τις ρωγμές που έχουν σχηματιστεί από διάφορες αιτίες. Στην περίπτωση χρήσης του FSB-701 της Xiamen Jingxiang Special Engineering Co Ltd. ο αυτό-επισκευαζόμενος στεγανοποιητικός παράγοντας παρασκευάζεται με την προσθήκη νερού, ώστε να σχηματιστεί ένα παχύρευστο υγρό. Το υγρό, με την εφαρμογή του στην επιφάνεια 11 και αφού στερεοποιηθεί, αποτελεί την άκαμπτη μεμβράνη 20. Στην παρούσα υλοποίηση ο παράγοντας εφαρμόζεται με τη χρήση πινέλου. Αυτή η μέθοδος απαιτεί δύο χέρια εφαρμογής. Το δεύτερο χέρι εφαρμόζεται αφού έχει στεγνώσει εντελώς και στερεοποιηθεί το πρώτο χέρι. Έτσι δημιουργείται η τελική αδιάβροχη μεμβράνη 20.

Επομένως, όταν η μεμβράνη 20 εφαρμοστεί και εγκατασταθεί, μπορεί να αξιολογηθεί άμεσα η απόδοσή της με ειδικούς ελέγχους, καθώς και να ελεγχθεί για πιθανές ατέλειες, ώστε να βεβαιωθεί ότι πληροί όλες τις προδιαγραφές.

Μετά το Στάδιο 4 της άκαμπτης στεγανοποίησης που περιγράφηκε πιο πάνω ακολουθεί το Στάδιο 5 της εύκαμπτης στεγανοποίησης. Το Στάδιο αυτό μπορεί να περιμένει και την ολοκλήρωση των ελέγχων στη μεμβράνη 20. Η εύκαμπτη στεγανωτική μεμβράνη 30 καλύπτει ολόκληρη την επιφάνεια της άκαμπτης μεμβράνης 20, έχοντας δυνατότητα επιμήκυνσης 100% - 1500%, με τιμή για τη συγκεκριμένη υλοποίηση ίση με 500%.

Έτσι το αδιάβροχο φιλμ 30 και η άκαμπτη / εύκαμπτη αδιάβροχη μεμβράνη 20 σχηματίζει ένα συνθετικό στρώμα στεγανοποίησης του οποίου η αδιάβροχη εκτέλεση είναι έξοχη, ειδικότερα εμφανή πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

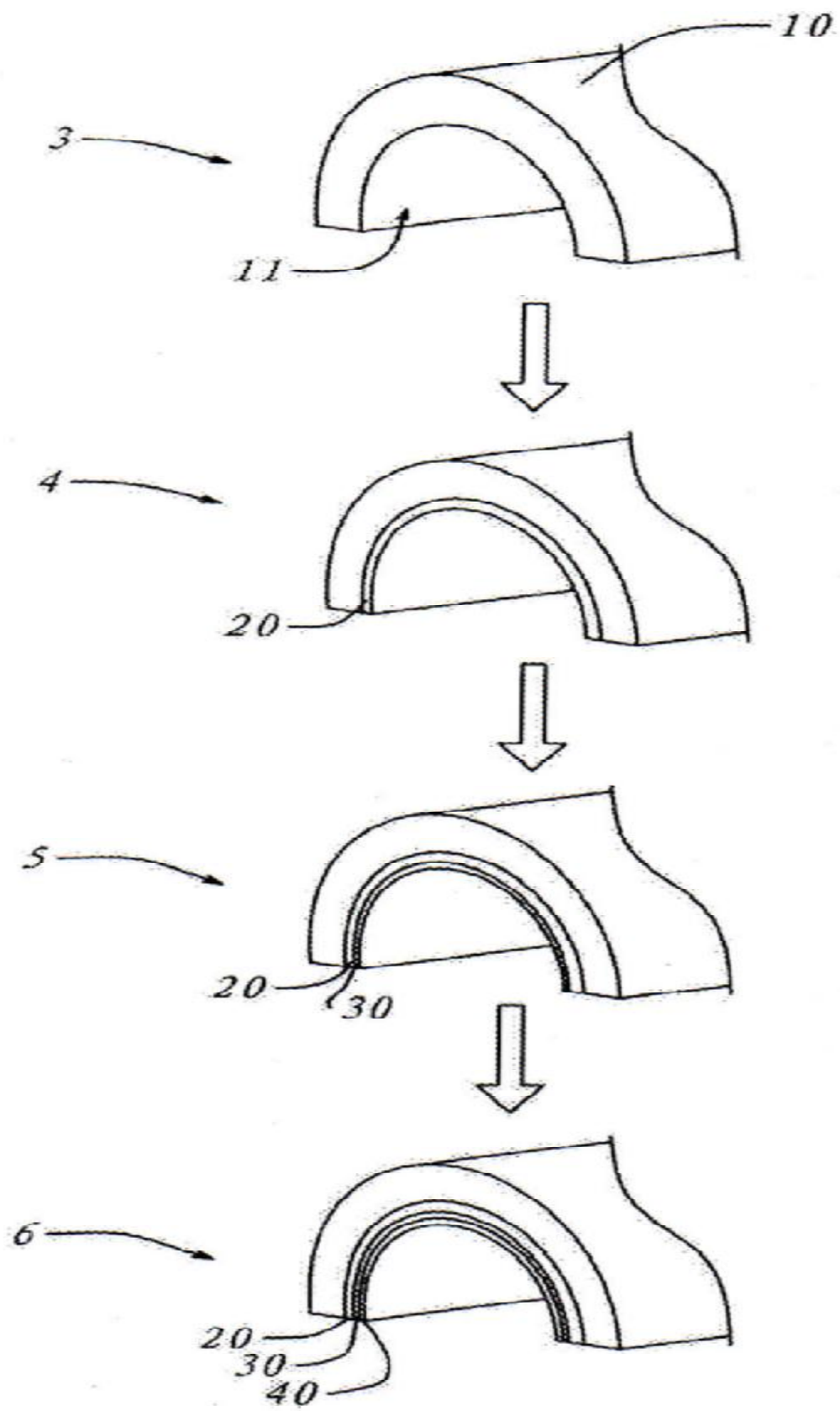
Πρώτον, επιτυγχάνεται άμεση ανίχνευση και ο βαθμός αστοχίας της στεγανοποίησης είναι σταδιακά υπό έλεγχο επειδή δεν περιμένει μέχρι να σχηματιστεί η εύκαμπτη αδιάβροχη μεμβράνη 30 πριν μπορέσει να δοκιμαστεί η αδιάβροχη επίδοση της σήραγγας αλλά η ολοκλήρωση της άκαμπτης αδιάβροχης μεμβράνης 20, ολοκληρώνει την εύκαμπτη αδιάβροχη μεμβράνη 30.

Κάθε στάδιο μπορεί αμέσως να ανιχνευτεί και να επιβεβαιώσει αυστηρά την εκτέλεση κάθε αδιάβροχου επιπέδου, βελτιώνοντας σε μεγάλο βαθμό την τελική απόδοση παραγωγής. Δεύτερον το άκαμπτο στεγανοποιητικό στρώμα 20 και το εύκαμπτο στεγανοποιητικό στρώμα 30 σχηματίζουν ένα συνθετικό σάντουιτς στεγανοποίησης και τα δύο με υψηλή τη δύναμη λειτουργίας αντί-διαρροής καθώς επίσης και την ικανότητα να αντιστέκονται στην παραμόρφωση χωρίς επιπρόσθετα τμήματα εγκατάστασης, χωρίς τον κίνδυνο να τρυπήσουν, έχοντας προστατευτικό αποτέλεσμα, και ταυτόχρονα σταθερότητα και μηχανική δύναμη και υψηλή αξιοπιστία. Το συνθετικό σάντουιτς στεγανοποίησης μπορεί να προστατέψει και λειτουργικά το διαχωρισμό ο οποίος στοχεύει στην προστασία του φιλτραρίσματος αντί-θαλασσινού νερού που αντιμετωπίζεται ξεχωριστά στο εύκαμπτο στεγανοποιητικό στρώμα

30, για να πετύχει μια ενωτική διαδικασία αδιάβροχου στρώματος, οι ίδιες μέθοδοι ενωτικής κατασκευής μπορούν να την αντικαταστήσουν με ένα διαφορετικού υλικού προγράμματος που στόχο θα έχει να συνδέεται απευθείας με μια άλλη τεχνολογία κατασκευής και κατασκευαστικές μεθόδους ισχυρής εφαρμογής.

Το στάδιο του στρώματος επένδυσης.

Το στάδιο του στρώματος επένδυσης ενεργοποιεί μια εξωτερική επιφάνεια επίστρωσης 40, επιπρόσθετα στην αδιάβροχη επιφάνεια της επίστρωσης 40 το θωρακισμένο φιλμ 30 που είναι η ολική προστασία μιας σύνθετης αδιάβροχης επίστρωσης για να εμποδίσει την μηχανική σύγκρουση μέσα στη σήραγγα, τις καιρικές συνθήκες, τη διάβρωση και άλλα αέρια που βλάπτουν την προστασία της σύνθετης αδιάβροχης επίστρωσης από τα στάσιμα νερά. Μέχρι τώρα η σπονδυλική στήλη ολόκληρου του συστήματος νερού έχει ολοκληρωθεί και μπορεί να πραγματοποιηθεί το τελικό τεστ. Τα προγράμματα πολλαπλών κατασκευών αποδεικνύεται ότι έχουν πολύ θετικά αποτελέσματα ως προς το αδιάβροχο.



Το σχήμα 3 παρουσιάζει τα βήματα κατασκευής της ευρεσιτεχνίας.

Παράδειγμα 2:

Η ίδια διαδικασία όσον αφορά την επεξεργασία:

Εικόνα 2, σε σχέση με την παρούσα ενσωμάτωση, μια υλοποίηση της οποίας το στάδιο κατεργασίας της επιφάνειας διαδοχικά περιλαμβάνει το 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας της ακαμψίας, την διαδικασία του σταδίου 5 και την εξωτερική εύκαμπτη επιφάνεια του σταδίου 6 το οποίο είναι βασικά το ίδιο και έχει κάτι ξεχωριστό:

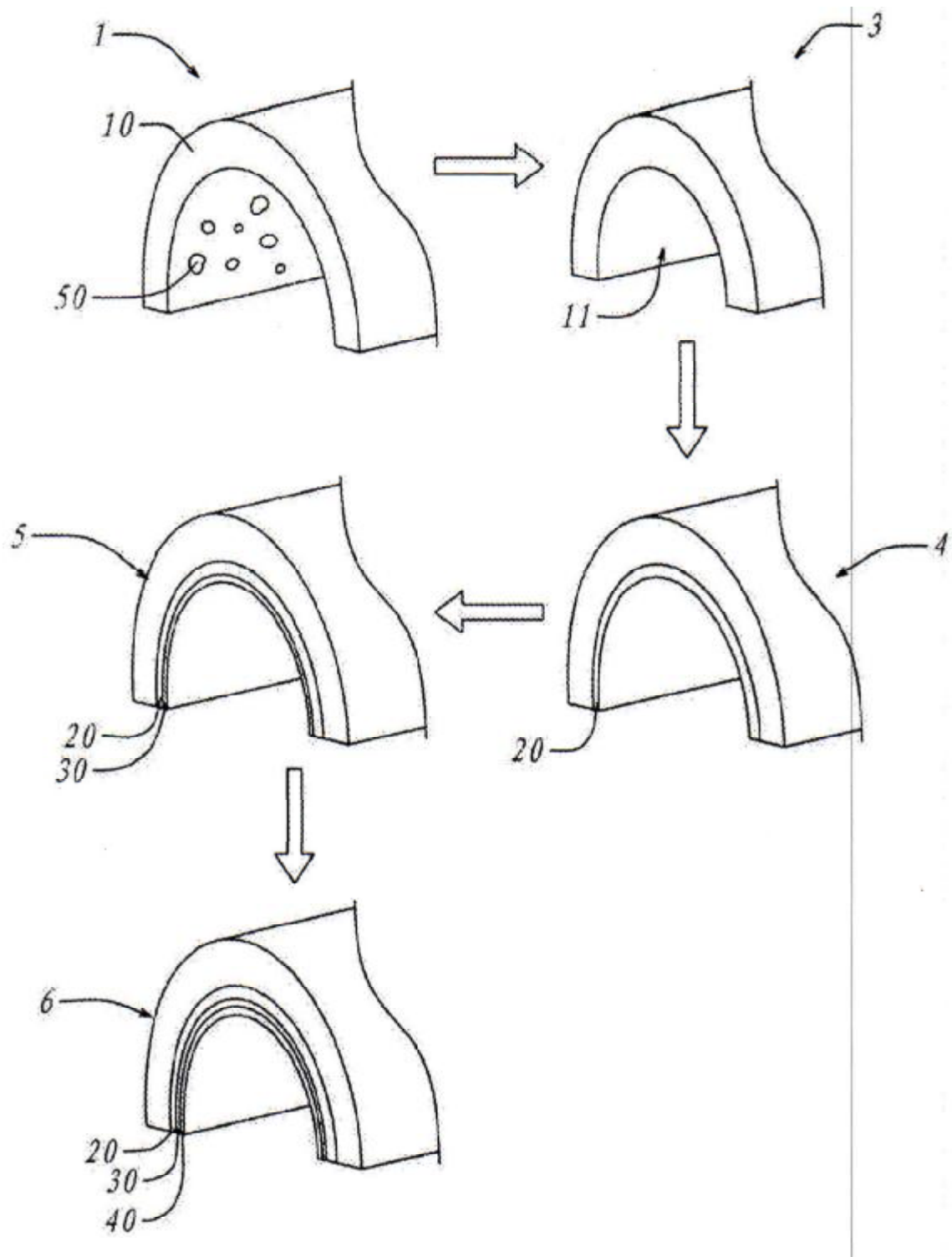
Η άκαμπτη διαδικασία στο στάδιο 4, το προαναφερθέν αυτό-επισκευαζόμενο αδιάβροχο μέσο δεν είναι στη μορφή του τριψίματος αλλά του ψεκάσματος με ένα μηχανικό ακροφύσιο υψηλής πίεσης σε τραχιά επιφάνεια 11, έτσι ώστε η επίδραση του αυτό-επισκευαζόμενου αδιάβροχου μέσου φιλτραρίσματος τραχιάς μικροπορώδους επιφάνειας 11 και / ή ρωγμών: ο ορατός τρόπος αυτού του ψεκασμού μπορεί σημαντικά να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα σχηματισμού της άκαμπτης αδιάβροχης μεμβράνης 20, η οποία είναι εύκολο να ελέγξει την ομοιομορφία της πυκνότητας και το αποτέλεσμα διαπεραστικότητας με ένταση.

Σε αυτή την υλοποίηση η μεταχείριση της επιφάνειας στο στάδιο 3 πριν τη μερική αποστράγγιση στο στάδιο 1, το στάδιο της τοπικής αποστράγγισης στοχεύει στη σύνδεση διαρροών μέσα στον τοίχο 10 που περιβάλλει προφανείς βραχώδεις ρωγμές, τη χρήση της ενεργής πιεστικής σφράγισης 50, ενέσεις στον τοίχο της βραχώδους σήραγγας βλέπε σελίδα 10. Η παρούσα υλοποίηση απασχολεί την εταιρεία Xiamen Engineering Co., Ltd. Beijing 湘特 που ασχολείται με ανόργανα προϊόντα FSB-482, όταν το μέσο σύνδεσης του νερού 50 έχει γρήγορη επέκταση και ο σχηματισμός ενός ελαστικού σφουγγαριού εμποδίζει τη διαρροή της σήραγγας στον εσωτερικό τοίχο, έτσι ώστε η αρχική διαρροή του νερού να μεταφέρεται από την άλλη κατεύθυνση 10 του περιβάλλοντος βράχου. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει γρήγορα μια πιο σταθερή εσωτερική επιφάνεια τοίχου 10 στον περιβάλλοντα βράχο, και μπορεί να μεγιστοποιηθεί η οικολογική ισορροπία του αρχικού συστήματος του ποταμού.

Μετά την τραχιά επιφάνεια 11 στα παραπάνω αναφερόμενα στάδια ολοκληρώνεται η διαδικασία της αποστράγγισης, και ειδικότερα το παρόν παράδειγμα 11 τραχιάς επιφάνειας ψεκάζεται διεξοδικά με καθαρό νερό για να γίνει υγρό. Είναι ένα υγρό στάδιο (δεν φαίνεται στην Εικόνα), του οποίου το στάδιο ύγρανσης είναι έτσι ώστε τα ακόλουθα διαδικαστικά στάδια 4 να αντιδρούν πιο ολοκληρωμένα με το αυτο-επισκευαζόμενο αδιάβροχο μέσο.

Συνοψίζοντας, η τωρινή υλοποίηση είναι κατάλληλη για τον περιβάλλοντα βράχο 10 έχει δύο μικρές περιοχές διαρροής οι οποίες αφού ολοκληρωθεί το τοπικό στάδιο της αποστράγγισης, το οποίο μπορεί να δοκιμαστεί και βαθμιαία να μειωθεί ο κίνδυνος διαρροής καθώς επίσης και να έχει τα χαρακτηριστικά δοκιμής σε πραγματικό χρόνο.



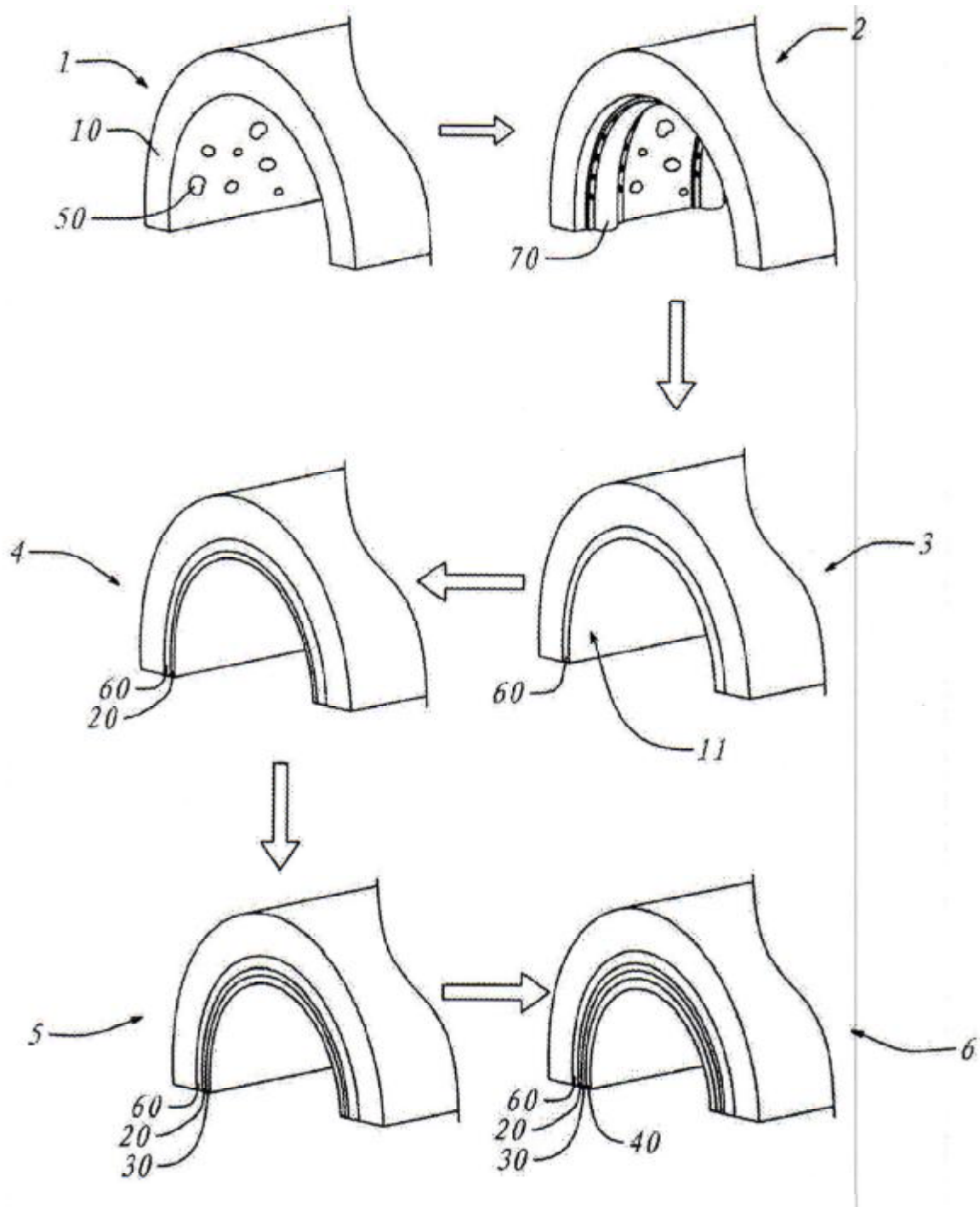


Το σχήμα 4 παρουσιάζει μια εναλλακτική υλοποίηση της ευρεσιτεχνίας.

Παράδειγμα 3:

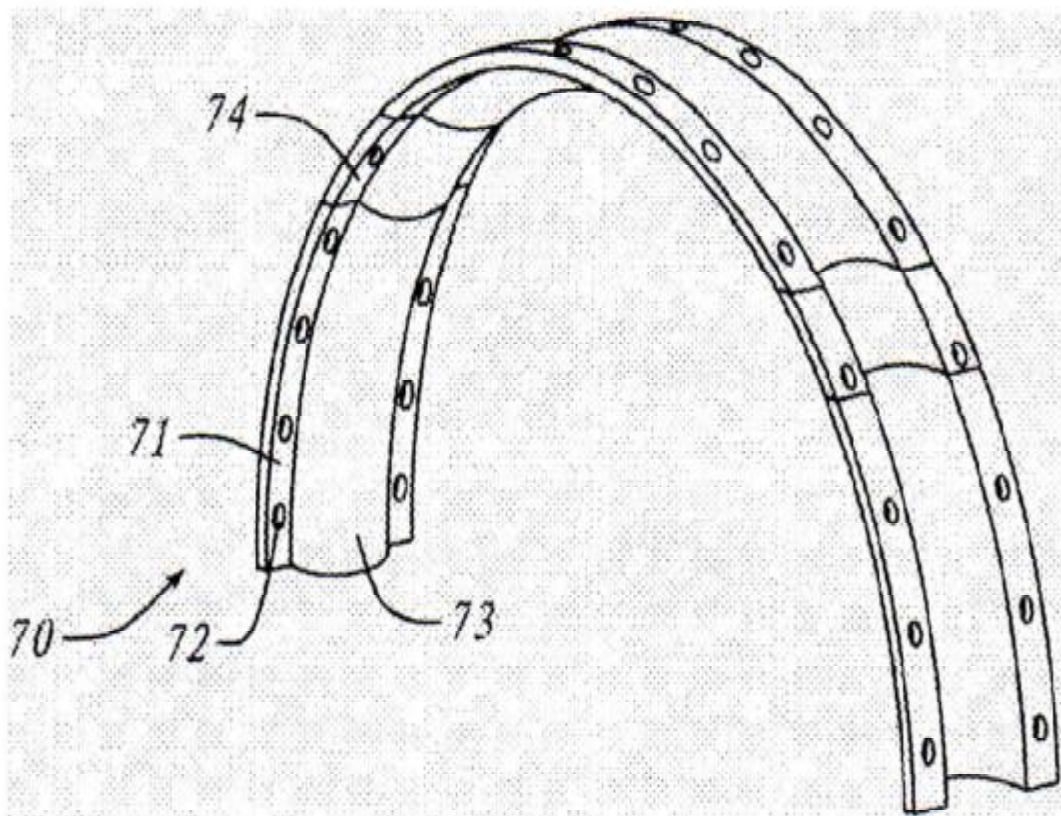
Η Εικόνα 3 είναι ένα διάγραμμα τριών περιπτώσεων υλοποίησης κατασκευαστικών σταδίων της ευρεσιτεχνίας, η τωρινή υλοποίηση είναι ειδικά κατάλληλη για τον περιβάλλοντα βράχο 10 και απευθύνεται στην άσχημη κατάσταση της παρτίδας:

Σε σύγκριση με την δεύτερη υλοποίηση, η τωρινή όπως δείχνουν τα παραδείγματα της περιοχής πρώιμης μεταχείρισης του περιβάλλοντος βράχου 10, έχει ακόμα ένα στάδιο αποστράγγισης 1, η στεγανοποίηση 50 έχει ένα μικρότερο εσωτερικό τοίχο και ακόμα ασχολείται με σημαντική μερική διαρροή, 10. Η χαμηλή ποιότητα της κίνησης μόνο της στεγανοποίησης 50 δεν μπορεί να αποκτήσει έναν σχετικά σταθερό εσωτερικό τοίχο για να διευκολύνει το συνθετικό στρώμα στεγανοποίησης μετά το στάδιο της μερικής αποστράγγισης, καθώς επίσης υπάρχουν και δύο στάδια αποστράγγισης 2 και στάδια εσωτερικής επίστρωσης.



Το σχήμα 5 παρουσιάζει μια ακόμα εναλλακτική υλοποίηση της ευρεσιτεχνίας.

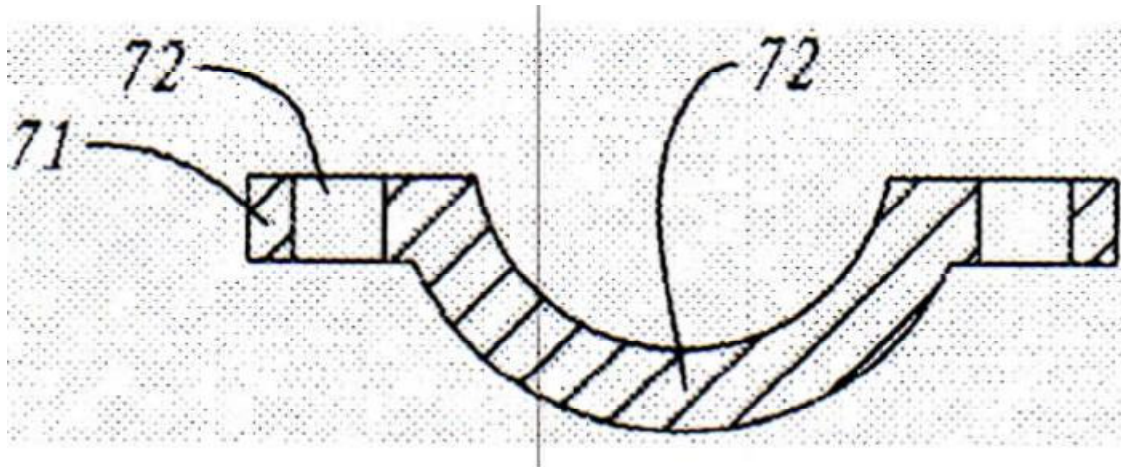
Μετά την μερική αποστράγγιση 1, η μερική διαρροή ρωγμής εμποδίστηκε, ενώ αυτό το στάδιο θα διατηρήσει την περιοχή και δεν θα μπορεί να εμποδιστεί σε αυτή τη θέση, η περιποίηση του σταδίου 2 που θα εμβαθύνει τον αγωγό 70 ο οποίος είναι τοποθετημένος στον τοίχο της σήραγγας κατασκευάζοντας ένα τεχνικό περιβάλλον αποχέτευσης, οπότε το νερό δεν μπορεί να διαρρεύσει συνδέοντας ρωγμές, από πάνω μέχρι κάτω στο δίκτυο και το κάτω μέρος της σήραγγας. Οι Εικόνες 4 και 5 δείχνουν τις λεπτομέρειες του δικτύου του αγωγού 70, αυτό το δίκτυο του αγωγού 70, ήμι-σωληνοειδής, απέναντι από την επέκταση της σήραγγας με εγκάρσια κατεύθυνση στον τοίχο της σήραγγας, ο αγωγός 73 αναπόφευκτα διαρρέει μέσα από τις ρωγμές, έτσι ώστε το νερό να μπορεί να ρέει από το χαμηλό άκρο του σωληνοειδών τμημάτων αποστράγγισης της σήραγγας, ειδικότερα, το σωληνοειδές σώμα 73 έχοντας μια βάση, πλευρική άκρη 72 και μια οπή πάνω στη βάση 71, μπορείς να εκθέσεις τον τρόπο για να ευκολύνεις τον αγωγό 70 που είναι σταθερός στον εσωτερικό τοίχο της σήραγγας, στην πραγματικότητα διευκολύνεται ο αγωγός 70 που δεν είναι μια ολοκληρωμένη σκληρή κατασκευή χρωματίνης και που μπορεί να εγκαταστήσει μια εύκαμπτη σύνδεση 74, το συνδετικό μέλος 74 μπορεί να είναι από καουτσούκ με το σχήμα του αγωγού 73 το οποίο είναι το ίδιο με την παρτίδα που παραμορφώνεται τεντώνοντας ολόκληρο το δίκτυο του αγωγού 70 και μπορεί να αντέξει την επίδραση της έντασης του τοιχώματος της σήραγγας.



Το σχήμα 6 είναι η λεπτομέρεια του αγωγού που απεικονίζεται στο Σχ. 3 με τον αριθμό 70.

Αργή παραμόρφωση κλπ. μπορεί σταθερά να εκτρέψει τη ροή. Η πραγματική διαδικασία εγκατάστασης επειδή το σωληνοειδές σώμα 73 είναι από σκληρό συνθετικό υλικό, το πρώτο σταθερό σωληνοειδές σώμα 73 στον τοίχο της σήραγγας συνδέει το σταθερό μέλος 74, έτσι

ώστε ολόκληρος ο αγωγός 70 να μπορεί να συνδεθεί κατάλληλα για να εκτραπεί στο τοίχωμα της σήραγγας. Συγκεκριμένα η σύνδεση 74 ανταποκρίνεται στη διαρροή μιας μεγάλης τοποθεσίας, έτσι ώστε η πιο πιθανή θέση να παραμορφώνεται, και η παραμόρφωση μπορεί να περιορίσει σημαντικά την απόδοση του βασικού συνδετήρα του έργου.



Το σχήμα 7 δείχνει σε τομή τον αγωγό 70 του Σχ. 4

Ως εκ τούτου, μετά την ολοκλήρωση της αντιμετώπισης της διαρροής στο στάδιο 2, το υλικό επένδυσης από το προηγούμενο στάδιο μαζί με το εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα 70 παρέχει κάλυμμα για βασική προστασία της επιφάνειας. Η επεξεργασία της επιφάνειας στο στάδιο 3 καθώς και η επεξεργασία των μεταγενέστερων σταδίων 4 και 5 έχει να κάνει με την διόρθωση/τροποποίηση της σκληρότητας του υλικού. Εν συνέχεια στα στάδια 4, 5 ακολουθεί η επεξεργασία της εξωτερικής ελαστικότητας της εσωτερικής επένδυσης. Τα στάδια είναι περίπου ίδια με αυτά που ακολουθούνται για την τραχιά επίπεδη επιφάνεια 11 από την παραπάνω υλοποίηση 6. Η διαδικασία για την επίτευξη σκληρότητας που αναφέρεται στα στάδια 4, 5 χρησιμοποιείται σταδιακός ψεκασμός επίστρωσης, δημιουργώντας αδιάβροχα σύνθετα υλικά των οποίων η διαμόρφωση γίνεται με τεχνική καλουπώματος με υψηλή αποδοτικότητα 20. Το πάχος των αδιάβροχων σκληρών μεμβρανών που προκύπτουν στην παρούσα υλοποίηση είναι 1.5 χιλιοστά. Οι εύκαμπτες αδιάβροχες μεμβράνες πάχους 2\_30; χρησιμοποιούν ένα ρευστό υγρό και οι εύκαμπτες αδιάβροχες μεμβράνες καλύπτονται ώστε οι άκαμπτες επιφάνειες να γίνονται αδιάβροχες. Η αδιάβροχη επικάλυψη έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Το πυρίτιο και τα πολυμερή-κεραμικού υλικού έχουν υψηλή αντοχή στη γήρανση και μετά την αναδιάρθρωση της ανάπτυξης του ακρυλικού γαλακτώματος έχουν ένα χημικό δεσμό αμοιβαίας μεταφοράς, συνυφασμένη με την δομή του δικτύου που έχει την ικανότητα να συνδέεται σταθερά με το ελαστικό πολυμερές με τη μορφή της στερεοποίησης. Το παράδειγμα αυτό χρησιμοποιεί το προϊόν FSB-681 type by Xiamen Engineering Co., Ltd. Beijing 湘特

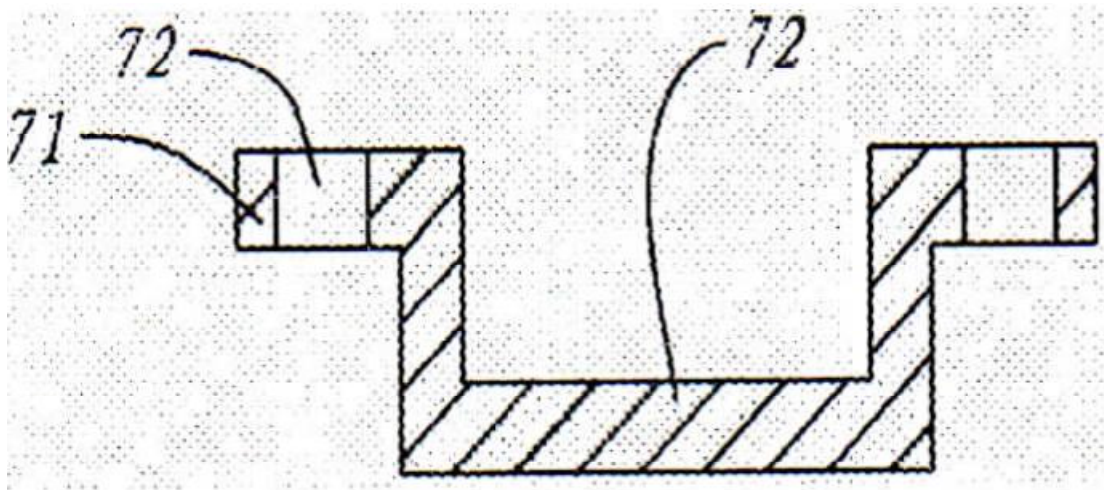


Εν τω μεταξύ, η αντιμετώπιση της διαρροής:

δείχνει ότι η παρούσα υλοποίηση είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τους περιβάλλοντες βράχους 10 με πιο σοβαρή περιοχή διαρροής, σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις, το στάδιο αύξησης των επιμέρους χαρακτηριστικών που μπορεί να ακολουθήσει ο ίδιος εξοπλισμός καθώς και η κάρτα διαδικασίας που αναφέρεται στο στάδιο 2, δίνουν την δυνατότητα άμεσης δοκιμασίας των υλικών. Η περιποίηση του σωλήνα διατομής 70 μπορεί να περιλαμβάνει μικρές συλλογικές προμήθειες αλλά που να έχουν μεγάλη δύναμη.

Παράδειγμα 4

Σε αυτό το παράδειγμα, όλα τα στάδια διαφέρουν από αυτά του αποχετευτικού σωλήνα 70 εικόνα 6 χρησιμοποιώντας μια τετραγωνική διατομή. Η ευρύτερη περιοχή της εγκάρσιας τομής του αγωγού μπορεί να χειριστεί μεγάλες διαρροές νερού.



Το Σχήμα 8 δείχνει σε τομή τον αγωγό 70 όπως αυτός χρησιμοποιείται στην τέταρτη υλοποίηση της παρούσας ευρεσιτεχνίας.

Η παραπάνω περιγραφή είναι από την προτιμώμενη εφαρμογή της ευρεσιτεχνίας χωρίς όμως να περιορίζεται το πεδίο της εφαρμογής της. Κάτω από αυτό το πρίσμα το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας και οι περιεχόμενες αλλαγές προδιαγραφών και τροποποιήσεις που έγιναν εξακολουθούν να υπάρχουν στο πλαίσιο της εφαρμογής της ευρεσιτεχνίας.

## 5.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ PVC 30541

Πριν από την τοποθέτηση του συστήματος στεγάνωσης γίνονται κατάλληλες προετοιμασίες όπως η αποκοπή οποιουδήποτε ξένου σώματος που προεξέχει από το gunite (αγκυρώσεις) ή επισκευή των σημείων αυτών με κατάλληλο επισκευαστικό κονίαμα, αποκατάσταση όλων των σημαντικών κοιλοτήτων και εξασφάλιση της μη παρουσίας ζωντανού ύδατος. Αν αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί με χρήση ταχύπηχτων κονιαμάτων ή τσιμεντοενέσεων, τότε είναι απαραίτητη η τοποθέτηση κατακόρυφων στραγγιστηρίων που θα παροχετεύουν το νερό στο δάπεδα της σήραγγας και από εκεί στα σημεία άντλησης. Πρέπει να πραγματοποιηθεί μία

προσπάθεια για απόδοση ομαλής επιφάνειας επένδυσης σταθερής διαμέτρου, αλλά και για αφαίρεση των βοηθητικών εγκαταστάσεων κατασκευής.

Η επιφάνεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πρέπει να έχει διαμορφωθεί έτσι ώστε, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες των υλικών (γεωύφασμα, μεμβράνη στεγανοποίησης), να μην υπάρχει υπερβολική καταπόνηση ή βλάβες.

Η φέρουσα το σύστημα στεγάνωσης επιφάνεια από εκτοξευόμενο σκυροδέμα πρέπει να πληροί τις ελάχιστες ιδιότητες, όπως ελάχιστο πάχος 4cm, μέγιστη κόκκωση 8mm, μέγιστη δυνατή αναλογία στρογγυλού προς θραυστού κόκκου, επαρκή σταθερότητα και αντοχή για να είναι εφικτή η σταθεροποίηση με συσκευές κοχλίωσης, ελάχιστη ακτίνα ανώμαλων σημείων 0,2m, ελάχιστη αναλογία διαμέτρου προς ύψος των ανωμαλιών της προς στεγανοποίηση επιφάνειας. Η εισροή υδάτων λόγω δημιουργίας θυλάκων πίσω από τη μεμβράνη πρέπει να αποφεύγεται με κατασκευαστικά μέτρα προ-στεγάνωσης, προβλέποντας την απορροή υγρασίας ή περιορισμένων υδάτων στην περιοχή του πόδα του θόλου μέσω του γεωυφάσματος.

Η εφαρμογή του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου υλικού πρέπει να συμπεριλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1ο Βήμα: Μηχανική στερέωση μη υφαντού γεωυφάσματος πολυπροπυλενίου, βάρους 385gr/m<sup>2</sup>, τύπου TS 80 στην εσωτερική επιφάνεια της σήραγγας από εκτοξευόμενο σκυροδέμα (gunite). Η διάστρωση του γεωυφάσματος αποσκοπεί αφενός στην προστασία της στεγανωτικής στρώσης από μηχανικές καταπονήσεις, ιδίως σε σημεία προεξοχών ή έντονων κοιλιοτήτων του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αφετέρου στην υδρομάστευση τυχόν υπογείων υδάτων προς τους συλλεκτήριους αγωγούς που τοποθετούνται κατά μήκος της σήραγγας για αποφυγή ανάπτυξης υδροστατικής πίεσεως.

Το γεωύφασμα στηρίζεται στην επιφάνεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ακτινικά ως προς τον άξονα της σήραγγας και στα σημεία που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απόσταση από τον άξονα της σήραγγας (κοιλότητες). Τα ρολά του γεωυφάσματος τοποθετούνται με επικάλυψη κατ' ελάχιστον 5cm.

Για τη στερέωση αυτή χρησιμοποιούνται ειδικά καρφιά με μεταλλική ροδέλα ελάχιστης διαμέτρου 20mm και πάχους 1mm και ροδέλες PVC. Οι ροδέλες αυτές (εξωτερικής διαμέτρου κατ' ελάχιστον 8mm) παρουσιάζουν μικρό πάχος στο σημείο του ομφαλού (όπου το βάθος είναι 4mm), γεγονός που προκαθορίζει το σημείο αυτό ως σημείο θραύσης σε οποιαδήποτε περίπτωση υπέρμετρης καταπόνησης του συστήματος, ώστε να αποφευχθεί σχίσσιμο της μεμβράνης με αποτέλεσμα αστοχία της στεγάνωσης. Οι ροδέλες τοποθετούνται έτσι ώστε να αποδώσουν επιφάνεια καννάβου και σε πυκνότητα που αυξάνει προχωρώντας από το δάπεδο προς τη στέψη του θόλου, καθώς και σε κάθε σημείο που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή (κοιλότητες, ανθρωποθυρίδες κ.λπ.). Προτιμάται το γεωύφασμα - όσο και η μεμβράνη εφόσον οι ροδέλες χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα για τη σημειακή θερμοσυγκόλληση της στεγανωτικής μεμβράνης PVC - να στερεώνεται με ελάχιστο δυνατό αριθμό στηριγμάτων, ώστε να παραμένει ελεύθερο τάσεων κατά τη σκυροδέτηση. Η πράξη έχει αποδείξει ότι ο ελάχιστος αριθμός ροδελών είναι 34 και ο μέγιστος 42 για μια καθ' όλα ασφαλή ανάρτηση της στεγάνωσης.

2ο Βήμα. Τοποθέτηση των στεγανωτικών φύλλων μεμβράνης PVC τύπου 35041 πάχους 2,00mm (signal layer) της ALKOR-DRAKA. Η στεγανωτική μεμβράνη PVC φθάνει σε ρολά

τυποποιημένου πλάτους 2,20m ή 2,25m και στερεώνεται θερμοσυγκολλούμενη στις ροδέλες PVC που ήδη έχουν τοποθετηθεί στο γεώφασμα έτσι ώστε να εξασφαλίζουν δύο σειρές – μία σε κάθε άκρη του ρολού. Αφού η μεμβράνη στερεωθεί πλήρως και έχοντας δώσει τη δέουσα προσοχή στο κεντράρισμα του ρολού ως προς τον άξονα της σήραγγας και στην τυχόν προσθήκη πρόσθετων ροδελών, όπου αυτές απαιτούνται, ώστε η μεμβράνη να ακολουθεί πιστά την περίμετρο, ακολουθεί η θερμοσυγκόλληση των φύλλων με αυτόματο μηχάνημα θερμού πυρήνα που δημιουργεί διπλή ραφή συνολικού πλάτους 4cm, με ενδιάμεσο κανάλι αέρος πλάτους 1 cm, το οποίο επιτρέπει το μετέπειτα έλεγχο της ραφής με air test. Εάν κάποια συγκόλληση δεν μπορεί να γίνει με το μηχάνημα αυτό (ιδιάζοντα σημεία, διασταυρώσεις διπλών ραφών, γωνίες), τότε εκτελείται με θερμοσυγκολλητικό μηχάνημα χειρός, θερμού αέρα (hot air), μονή ραφή πλάτους τουλάχιστον 4cm. Με τον ίδιο τρόπο γίνονται όλες οι επισκευές ή μπαλώματα.

**3ο Βήμα.** Τοποθέτηση αναμονών ανάρτησης οπλισμού (εάν απαιτείται). Το εν λόγω σύστημα αγκυρίου διαπερνά τη μεμβράνη, προτοποθετημένο μέσα σε ειδικό τεμάχιο από PVC με διαμόρφωση πατούρας και σωληνίσκου, και στερεώνεται μέσα στο τοιχίο με ισχυρή εποξειδική ρητίνη και στεγανοποιείται μέσα στο σωληνίσκο με δύο σφικτήρες μεταξύ των οποίων εγκλωβίζεται πολουρεθανική σφραγιστική μαστίχη, ενώ η πατούρα θερμοσυγκολλάται με τη στεγανωτική μεμβράνη. Ο τύπος και ο αριθμός των αγκυρίων που απαιτούνται για την ανάρτηση οπλισμού εξαρτάται από το βάρος και το μέγεθος του οπλισμού και την κατάσταση του gunite.

**4ο Βήμα.** Προστασία της στεγανωτικής στρώσης στα σημεία διακοπής σκυροδέτησης. Ενδείκνυται η τοποθέτηση λωρίδας μεμβράνης PVC πλάτους 0,5m στις προκαθορισμένες θέσεις αρμών διακοπής σκυροδέτησης για προστασία της στεγάνωσης έναντι διατρήσεων. Η λωρίδα θερμοσυγκολλάται με μηχάνημα θερμού αέρα.

**5ο Βήμα.** Στεγανοποίηση των αγωγών αποστράγγισης πλευρικά της σήραγγας. Η στεγανοποίηση των αγωγών γίνεται αφού έχει τοποθετηθεί ο αποστραγγιστικός αγωγός και σύμφωνα με τα σχέδια και τις απαιτήσεις του έργου.

**6ο Βήμα.** Έλεγχος. Ο έλεγχος των διπλών ραφών γίνεται με πίεση αέρα 2–2,5bar στο ενδιάμεσο κανάλι αέρα και για χρονική διάρκεια 10 λεπτών. Απώλεια πίεσης μεγαλύτερη του 20% δεν είναι παραδεκτή. Οι μονές ραφές ελέγχονται με καρφίδα ως προς την αποκόλληση. Σε περίπτωση που απαιτείται καταστροφικό τεστ, αυτό γίνεται με τον κατάλληλο εξοπλισμό με συμμόρφωση ως προς το γενικό κανόνα ότι αστοχία της μεμβράνης θα συμβεί σε περιοχή εκτός ραφής.

**7ο Βήμα.** Συνεργείο εφαρμογής στεγάνωσης. Η εφαρμογή της στεγανοποίησης γίνεται συνήθως με χρήση ειδικής ηλεκτροκίνητης, τηλεχειριζόμενης σκαλωσιάς, μήκους περίπου 6m, η οποία καλύπτει ολόκληρο το ανάπτυγμα της σήραγγας. Το συνεργείο εφαρμογής πρέπει να αποτελείται από εξειδικευμένους τεχνίτες.

## **5.5 ΒΑΦΗ MASTERSEAL 142A ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ**

Το MASTERSEAL 142A είναι μία προστατευτική υδατοδιαλυτή βαφή δύο συστατικών, εποξειδικής – ακρυλικής βάσεως, χωρίς οργανικούς διαλύτες, ειδική για τη προστασία σηράγγων και υπόγειων διαβάσεων πεζών. Είναι σύμφωνο με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο για αντίδραση σε φωτιά BS EN 13501-1, Κλάση B-s1, d0.



Το MASTERSEAL 142A βελτιώνει την ορατότητα και την άνεση της οδήγησης στις σήραγγες, είναι σύμφωνο με τις οδηγίες της E.E 2004/42/EG (σχετικά με τους διαλύτες), ενώ παρουσιάζει χαμηλότερη περιεκτικότητα από το μέγιστο επιτρεπτό όριο για τις οργανικές πτητικές ενώσεις (VOC) (φάση 2, 2010). Σύμφωνα με την οδηγία-κανονισμό της E.E 2004/42, η μέγιστη επιτρεπτή περιεκτικότητα των VOC, για τη κατηγορία των προϊόντων J BA ισοδυναμεί με 140gr/lit (όριο: φάση 2, 2010).

Αποδεικνύεται λοιπόν ότι είναι εφαρμόσιμο είτε σε κλειστούς χώρους είτε σε ελαφρώς αεριζόμενους με ελάχιστη δυσκολία για το τεχνικό συνεργείο. Παρουσιάζει υψηλή αντίσταση στη βρωμιά, αντιστέκεται και αντέχει στην τριβή και στο επαναλαμβανόμενο πλύσιμο, καθώς και στην αρνητική πίεση νερού. Αυτό αποτελεί και το κύριο χαρακτηριστικό που αποδεικνύεται σημαντικό για την πρόληψη των σταλαγματιών του νερού, κάθε φορά που υπάρχει αρνητική πίεση νερού της επένδυσης. Επιπλέον, εμποδίζει την είσοδο του νερού, επιτρέπει την καταπολέμηση πιθανών διαδικασιών διάβρωσης των υποστρωμάτων, σχετικών με την είσοδο, για παράδειγμα, των χλωρικών ιόντων και την καταστροφή του σκυροδέματος λόγω της εναλλαγής φάσεων παγετού (πάγωμα/ ξεπάγωμα).

Επίσης, ο ανθρακικός ανυδρίτης με την πάροδο του χρόνου κάνει το σκυρόδεμα να χάνει, με την αντίδραση της ενανθράκωσης, τη φυσική του ικανότητα να καθιστά παθητικά τα υποστρώματα και υποστηρίγματα (δηλ. λιγότερο ευπρόσβλητα σε χημικούς παράγοντες), με συνέπεια τον κίνδυνο της διάβρωσης. Η προστατευτική αυτή επένδυση καθιστά αδιάβατη την είσοδο του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), ενώ αντέχει σε κύκλους ψύξης - απόψυξης, ακόμη και με την παρουσία των αλάτων που προκαλούν ξεπάγωμα/λιώσιμο. Αυτή η επίδοση είναι σημαντική στις πολύ ορεινές σήραγγες και ιδιαίτερα για τη ζώνη-περιοχή διαπερατότητας όπου η παρουσία των αλάτων αυτών μπορεί να αποτελέσει ένα σοβαρό επιθετικό παράγοντα είτε για το προστατευτικό, είτε για την επένδυση από σκυρόδεμα.

Η βαφή MASTERSEAL 142A ελέγχει την περιεκτικότητα της υγρασίας και αυξάνει την ηλεκτρική αντίσταση του σκυροδέματος. Μία υψηλή διαπερατότητα με υδρατμό είναι βασική για να αποφευχθεί η γέννηση-δημιουργία, με την αλλαγή της θερμοκρασίας, εντάσεων των υδρατμών (φυσικό φαινόμενο) στο σημείο πρόσφυσης ανάμεσα στη βαφή και στο σκυρόδεμα, οι οποίες είναι ικανές να προκαλέσουν αποκόλληση. Επίσης, η συνεχής απώλεια της εσωτερικής υγρασίας, που είναι δυνατή μέσω της φυσικής <<αναπνοής>> της επιφάνειας και δεν εμποδίζεται από το προστατευτικό, μαζί με την αδιαπερατότητα και αδιαβροχοποίηση καθαυτής της επένδυσης, καθιστούν το σκυρόδεμα εμφανώς πιο ανθεκτικό σε σχέση με τα φαινόμενα διάβρωσης των υποστρωμάτων και υποστηρίγμάτων, χάρη σε μία σταδιακή και σταθερή αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης και της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος.

Επιπλέον, η βαφή αντιστέκεται στην ακτινοβολία UV, χαρακτηριστικό που αποδεικνύεται σημαντικό, κυρίως για τις ζώνες/περιοχές διαπερατότητας και διαβατότητας που εκτίθενται στο ηλιακό φως. Είναι επίσης σύμφωνο με τις αρχές που ορίζονται στην οδηγία της UNI EN 1504-2 (συστήματα προστασίας της επιφάνειας από σκυρόδεμα) για τις επενδύσεις και για τα σχετικά όρια αποδοχής. Τέλος, πρέπει να επισημανθεί και το γεγονός ότι έχει ελεγχθεί ως προς την αντίδρασή του σε περίπτωση φωτιάς σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο BS EN 13501-1 και έχει ταξινομηθεί στην Κλάση B-s1,d0, που το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογή μέσα σε σήραγγες και υπόγειες διαβάσεις πεζών. Η πραγματική κατανάλωση εξαρτάται από το πορώδες του σκυροδέματος και των περιβαλλοντικών και εφαρμοσμένων συνθηκών. Για ένα ξηρό πάχος 200mm, η θεωρητική κατανάλωση είναι 0,4lt/m<sup>2</sup>.

## 5.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ MASTERSEAL 142A

Το MASTERSEAL 142A είναι μία προστατευτική υδατοδιαλυτή βαφή εποξειδικής-ακρυλικής βάσεως, διαπερατή από υδρατμούς και με υψηλή αντοχή στη δεισδυση οξειδίων του άνθρακα (καυσαερίων). Είναι πλενόμενη, ειδικά σχεδιασμένη για τη προστασία οδικών και σιδηροδρομικών σηράγγων και υπόγειων διαβάσεων πεζών και σιδηροδρόμων. Εφαρμόζεται σε υπόστρωμα από σκυρόδεμα ή σοβατισμένα τοιχία. Η εφαρμογή της βελτιώνει αισθητικά την εμφάνιση των επιφανειών σκυροδέματος, ενώ είναι κατάλληλη για εφαρμογή σε κλειστούς χώρους καθώς δεν περιέχει διαλύτες.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Πληροφορίες και φωτογραφικό υλικό από τον επίσημο ιστότοπο της εταιρίας Εργομόνωση (<http://www.ergomonosi.gr/> )
2. Πληροφορίες και φωτογραφικό υλικό από τον επίσημο ιστότοπο της εταιρίας ISOMAT (<http://www.isomat.gr/index.php>)
3. Πληροφορίες και φωτογραφικό υλικό από τον επίσημο ιστότοπο της εταιρίας ESHA (<http://esha.gr/home>)
4. Πληροφορίες από τον επίσημο ιστότοπο της εταιρίας Google(<https://www.google.com/patents/CN102704954B?hl=el&cl=en> )
5. Πληροφορίες από τον ιστότοπο ( <http://www.michanikos.gr> ) (Για την απόδοση χρήσιμων όρων στην Αγγλική )
6. Πληροφορίες από τον ιστότοπο ([https://www.waterproofmag.com/downloads/2012-10/WP\\_2012-10\\_Bored\\_Tunnels%20.pdf](https://www.waterproofmag.com/downloads/2012-10/WP_2012-10_Bored_Tunnels%20.pdf))
7. Παπαδόπουλος (2004), Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών, Πανεπιστήμιο Τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη.
8. Μ. Παπαδόπουλος (1998), Θερμομόνωση κτιρίων, Αδελφοί Κυριακίδη ΑΕ.
9. Δ. Αραβατινός (2000), σημειώσεις για το μάθημα Οικοδομικής ΙΙ, Η θερμομόνωση των κτιρίων και τα θερμομονωτικά υλικά, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη.
10. Χρήστος Γ. Αθανασόπουλος (2007), Κατασκευή Κτιρίων, Σύνθεση και Τεχνολογία (ζ έκδοση – Αθήνα )
11. ICAP: Κλαδική μελέτη ‘Μονωτικά Υλικά’, 2000