

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ

ΣΗΡΑΓΓΩΝ



ΟΝΟΜΑΤΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΩΝ:

ΓΕΩΡΓΑΚΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΚΟΥΤΣΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΜΠΟΤΖΟΛΗ ΞΑΝΘΗ

ΕΠΟΠΤΕΣ: ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΧΡΗΣΤΟΥ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

ΠΑΤΡΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	7
<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	9
<i>Ιστορική Ανάδρομη Σηράγγων</i>	9
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΣΗΡΑΓΓΕΣ</u>	11
<i>Βασικές Έννοιες Σηράγγων</i>	12
<i>Σχεδιασμός Ενός Υπόγειου Έργου (Σήραγγας)</i>	16
<i>Μέθοδοι Διάνοιξης Σηράγγων</i>	18
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΣΤΕΓΑΝΩΣΕΙΣ</u>	24
<i>Ιστορική Ανάδρομη Στεγανοποίησης Σηράγγων</i>	25
<i>Πεδίο εφαρμογής – Ορισμοί</i>	26
<i>Υλικά</i>	26
<i>Εκτέλεση εργασιών</i>	26
<i>Γενικά</i>	26
<i>Πατητά Επιχρίσματα</i>	28
<i>Διπλή Ασφαλτική Επάλειψη</i>	28
<i>Διπλή Στρώση Ασφαλτόπανου</i>	29
<i>Περιλαμβανόμενες Δαπάνες</i>	29
<i>Επιμέτρηση και Πληρωμή</i>	30
<u>ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ</u>	
<i>(σύμφωνα με τις εθνικές τεχνικές προδιαγραφές του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)</i>	30
<i>Παράγοντες που Επηρεάζουν τις Εργασίες Στεγάνωσης</i>	31
<i>Απαιτήσεις Στεγάνωσης Ενός Έργου</i>	31
<i>Υδρομαστευτική στρώση - Στεγανωτική μεμβράνη</i>	32
<i>Απαιτήσεις για την Κατασκευή της Στεγάνωσης</i>	33
<i>Στεγάνωση μετώπων εισόδου</i>	47
<i>Διελύσεις στοιχείων διαμέσου της μεμβράνης</i>	48
<i>Γενικές συνθήκες εργοταξίου</i>	48
<u>ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ</u>	49

<i>Συμβατές ιδιότητες των υλικών.....</i>	49
<i>Δοκιμές - Έλεγχος των υλικών.....</i>	50
<i>Παραλαβή Εργοταξιακών Ενώσεων (ραφών) Μονωτικής Μεμβράνης....</i>	50
<i>Εκτέλεση και παραλαβή εργασιών στεγάνωσης.....</i>	51
<i>Επιμέτρηση – Πληρωμή.....</i>	52
<i>Εργασίες με "Τιμές Μονάδας".....</i>	52
<i>Εργασίες με "Συνοπτικές Τιμές Μονάδας".....</i>	53
<u>ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ - ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ.....</u>	53
<i>Εργασίες Υδρομάστευσης (όπου απαιτείται).....</i>	54
<i>Υδρομαστευτική Στρώση.....</i>	55
<i>Αποστραγγιστικός Αγωγός.....</i>	55
<i>Στεγανωτική Μεμβράνη.....</i>	56
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΥΛΙΚΑ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ.....</u>	58
<i>Γεωφάσματα.....</i>	59
<i>Γεωμεμβράνες.....</i>	63
<i>Γεωπλέγματα.....</i>	64
<i>Γεωδίκτυα.....</i>	66
<i>Γεωσύνθετα υλικά σε προβλήματα στεγανοποίησης.....</i>	67
<u>ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....</u>	74
<i>Μεμβράνες PVC.....</i>	74
<i>Μερικό και Ολικό Σύστημα Στεγανοποίησης.....</i>	75
<i>Σύνδεση Ραφών Μεμβρανών PVC.....</i>	75
<i>Διπλή Ραφή με την Δόκιμη Καναλιού.....</i>	75
<i>Αξιολόγηση με βάση όλα τα στοιχεία.....</i>	85
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ</u>	
<u>ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....</u>	86
<u>ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ.....</u>	87
<i>Προϋποθέσεις Υποστρώματος.....</i>	87
<i>Τοποθέτηση Γεωφάσματος.....</i>	87

<i>Τοποθέτηση Στεγανωτικής Μεμβράνης.....</i>	<i>88</i>
<i>Τοποθέτηση Αναμονών Ελαφρού Τύπου Ανάρτησης Οπλισμού.....</i>	<i>90</i>
<i>Τοποθέτηση Αναμονών Βαρέως Τύπου Ανάρτησης Οπλισμού.....</i>	<i>90</i>
<i>Αποθήκευση Υλικών.....</i>	<i>90</i>
<i>Φορέας Στεγάνωσης (Υπόστρωμα).....</i>	<i>91</i>
<i>Στρώση Υδρομάστευσης (γεωφάσμα)</i>	<i>91</i>
<i>Διαδικασία τοποθέτησης γεωφάσματος.....</i>	<i>91</i>
<i>Σημεία στήριξης.....</i>	<i>92</i>
<i>Επικαλύψεις μεμβρανών.....</i>	<i>92</i>
<i>Συγκόλληση μεμβρανών.....</i>	<i>92</i>
<i>Διατρήσεις.....</i>	<i>93</i>
<i>Το υπόστρωμα πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις.....</i>	<i>95</i>
<i>Κατασκευαστικοί αρμοί.....</i>	<i>96</i>
<i>Στεγάνωση μετώπων εισόδων.....</i>	<i>96</i>
<i>Παραλαβή εργοταξιακών ραφών μονωτικής μεμβράνης.....</i>	<i>98</i>
<i>Παρουσίαση των Ελέγχων Στεγάνωσης.....</i>	<i>98</i>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 (CASE STUDIES).....</u>	<u>111</u>
<u>ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕΤΡΟ</u>	
<u>(Σύστημα Δύο Διελεύσεων).....</u>	<u>112</u>
<i>ΜΕΡΟΣ 1 - ΓΕΝΙΚΟ.....</i>	<i>112</i>
<i>Περιγραφή.....</i>	<i>112</i>
<i>Διασφάλιση Ποιότητας.....</i>	<i>113</i>
<i>Υποβολές.....</i>	<i>114</i>
<i>Όροι Εργασίας</i>	<i>115</i>
<i>ΜΕΡΟΣ 2 – ΥΛΙΚΑ.....</i>	<i>116</i>
<i>ΜΕΡΟΣ 3 - ΕΚΤΕΛΕΣΗ.....</i>	<i>119</i>
<i>Αρχική Προετοιμασία Επένδυσης.....</i>	<i>119</i>
<i>Ύφασμα Στεγάνωσης και Συνθετική Μεμβράνη.....</i>	<i>120</i>
<i>Δόκιμη Ραφών Γεωμεμβράνης.....</i>	<i>121</i>

<u>NATM SYSTEM</u>	123
ΜΕΡΟΣ 1 – ΓΕΝΙΚΟ	123
<i>Περιγραφή</i>	123
<i>Ορισμοί</i>	123
<i>Εξασφάλιση Ποιότητας</i>	124
<i>Υποβολές</i>	125
<i>Παράδοση, Αποθήκευση και Χειρισμός</i>	126
<i>Συνθήκες Εργασίας</i>	127
<i>Εγγύηση</i>	127
ΜΕΡΟΣ 2 – ΠΡΟΪΟΝΤΑ-ΥΛΙΚΑ	128
ΜΕΡΟΣ 3 – ΕΚΤΕΛΕΣΗ	130
<i>Προετοιμασία της Επιφάνειας</i>	130
<i>Γεωύφασμα και Γεωμεμβράνη</i>	131
<i>Οπλισμένο Σκυρόδεμα και άλλα Ενσωματωμένα Στοιχεία</i>	133
<i>Δοκιμή των Ραφών της Γεωμεμβράνης</i>	133
<i>Επανόρθωση Διαρροών</i>	134
<u>ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΚΑΚΙΑΣ ΣΚΑΛΑΣ</u>	136
<i>Σύστημα αποστράγγισης & στεγανοποίησης σιδηροδρομικής σήραγγας Κακιάς Σκάλας</i>	137
<i>Στεγανοποιητικός φορέας- (Υδρομαστευτική στρώση και Στεγανοποιητική μεμβράνη)</i>	140
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΦΟΡΕΑ	141
<i>Υδρομαστευτική Στρώση</i>	143
<i>Τοποθέτηση υδρομαστευτικής στρώσης</i>	144
<i>Στεγανοποιητική μεμβράνη</i>	146
<i>Τοποθέτηση στεγανωτικής μεμβράνης</i>	148
<i>Συγκόλληση στεγανωτικής μεμβράνης</i>	150
<i>Έλεγχος παραλαβής εργοταξιακών ενώσεων</i>	152
<i>Δοκιμή αντοχής για αρμούς διπλής ραφής</i>	152

<i>Ειδικές Κατασκευαστικές Εφαρμογές.....</i>	152
<i>Διατρήσεις επί της στεγανωτικής μεμβράνης.....</i>	153
<i>Απαιτήσεις υποστρώματος που εδράζεται στην εκσκαφή.....</i>	154
<i>Αποστράγγιση υπόγειου τμήματος κατά τη φάση κατασκευής.....</i>	156
<i>Άντληση υπόγειου ύδατος.....</i>	157
<i>Υδρομάστευση σε περιοχές μεγάλης υδροφορίας.....</i>	158
<i>Στεγάνωση των μετώπων εισόδου της σήραγγας.....</i>	158
<i><u>Γενικά στοιχεία τελικής επένδυσης.....</u></i>	159
<i>ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....</i>	160
<i>Υλικά κατασκευής μόνιμης επένδυσης.....</i>	161
<i>Μεθοδολογία κατασκευής μόνιμης επένδυσης.....</i>	162
<i>Διάστρωση και συμπύκνωση σκυροδέματος τελικής επένδυσης.....</i>	162
<i>Τσιμεντενέσεις πληρώσεως.....</i>	163
<i>Μεταλλότυπος τελικής επένδυσης.....</i>	164
<i>ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΑΡΜΟΙ ΕΠΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....</i>	166
<i>Αρμοί συστολής / διαστολής.....</i>	166
<i>Αρμοί εργασίας.....</i>	166
<i>Αρμοί κατασκευαστικοί.....</i>	166
<i>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΩΝ.....</i>	168
<i><u>ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΕΛΒΕΤΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....</u></i>	171
<i>ΣΗΡΑΓΓΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΒΕΤΙΚΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟ (NEAT)</i>	171
<i><u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u></i>	177
<i>ΜΕΤΡΟ</i>	177
<i>ΚΑΚΙΑ ΣΚΑΛΑ.....</i>	178
<i>ΕΛΒΕΤΙΚΗ ΣΗΡΑΓΓΑ.....</i>	179
<i><u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u></i>	180

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την ανάδειξη των συστημάτων στεγάνωσης των σιδηροδρομικών σηράγγων. Αναμφίβολα είναι ένα αρκετά απαιτητικό και εξειδικευμένο αντικείμενο της κατασκευής των σηράγγων, καθώς μόλις πριν από λίγα χρόνια ξεκίνησαν τέτοιου είδους κατασκευές στη χώρα μας και αυτό καθιστά αρκετά δύσκολη την ανάλυση τους.

Απώτερος σκοπός της εργασίας αυτής αποτελεί η κατανόηση του όλου συστήματος στεγάνωσης σε μία σήραγγα, το οποίο αποτελείται από τα κατασκευαστικά μέρη και από τα ειδικά υλικά που χρησιμοποιούνται προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Συγκεκριμένα περιγράφεται αναλυτικά όλος ο κύκλος των εργασιών στεγανοποίησης και αποστράγγισης καθώς επίσης και όλες οι δοκιμές που απαιτούνται προκειμένου τα επιλεγμένα υλικά να είναι τα κατάλληλα για την εκάστοτε κατασκευή.

Στην *εισαγωγή* εκτίθεται με τρόπο παραστατικό μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση στην ιστορία των σιδηροδρομικών σηράγγων. Επίσης αναφέρονται τα αίτια ανάπτυξης και η πρόοδος τέτοιου είδους έργων με την πάροδο του χρόνου.

Στο *πρώτο κεφάλαιο* παρατίθεται μια γενική εικόνα για το τι είναι σήραγγα, ποιες είναι οι βασικές έννοιες σηράγγων, ο σκοπός και οι κατηγορίες αυτών, καθώς επίσης ο σχεδιασμός ενός υπόγειου έργου (σήραγγας) και οι μέθοδοι διάνοιξης.

Στο *δεύτερο κεφάλαιο* αναφέρονται αναλυτικά οι προδιαγραφές, οι τρόποι και οι κανονισμοί που πρέπει να τηρεί ο ανάδοχος οποιουδήποτε έργου, σύμφωνα με τα προσχέδια του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. που αφορούν σιδηροδρομικές σήραγγες.

Στο *τρίτο κεφάλαιο* αναλύονται τα είδη των υλικών που τοποθετούνται σε τέτοιες κατασκευές, με πλήρη αναφορά στον τρόπο τοποθέτησής τους και στους ελέγχους αντοχής τους.

Στο *τέταρτο κεφάλαιο* περιγράφονται οι τρόποι κατασκευής της στεγάνωσης, από την έναρξη μέχρι το τέλος αυτής.

Στο *πέμπτο κεφάλαιο* γίνεται αναφορά σε έργα της Ελλάδας και του εξωτερικού που έχει πραγματοποιηθεί στεγάνωση.

Επιπλέον στο ειδικό παράρτημα παρουσιάζονται είδη μεμβρανών και γεωυφασμάτων που κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί σε έργα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Η ιστορία του ανθρώπου έχει συνδεθεί με πάρα πολλές φάσεις ανάπτυξης και χρήσεις του υπόγειου εδάφους. Οι σήραγγες και τα υπόγεια έργα ανήκουν στις πρώτες κατασκευές του ανθρώπου ήδη από τους προϊστορικούς χρόνους.

Ανάλογα με τις ανάγκες της εποχής και το τεχνολογικό επίπεδο της εποχής, τα υπόγεια έργα έχουν χρησιμοποιηθεί ως καταφύγια, κατοικίες, χώροι αποθήκευσης, υδραγωγεία όπως το Ευπαλίνειο της Σάμου, σιδηροδρομικές και οδικές σήραγγες και ως υπόγειοι θάλαμοι σε ενεργειακούς σταθμούς. Οι υπόγειοι χώροι έχουν δώσει λύση στα προβλήματα ανεύρεσης χώρων στα μεγάλα αστικά κέντρα ως υπόγειοι κυκλοφοριακοί κόμβοι, ως αίθουσες συναυλιών, ως στάδια ή ως υπόγειοι σταθμοί.

Στην εποχή των σιδηροδρόμων δηλαδή στη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, οι μηχανικές μέθοδοι διάνοιξης είχαν κόστος που οδηγούσε στη χρεοκοπία κυρίως στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη. Οι μέθοδοι διάνοιξης εκείνη την εποχή καθώς και οι τεχνολογίες της εποχής είναι οι κλασικές μέθοδοι διάνοιξης της εποχής, ' Αυστριακές, Αγγλικές, Βελγικές, Γερμανικές, και Ιταλικές '.

Η πρώτη προσπάθεια για διάνοιξη σηράγγων έγινε με τη χρήση μηχανών ασπίδας από τον Marc Brunel. Το 1818 του δόθηκε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας και άρχισε τη σήραγγα του Τάμεση στο Λονδίνο το 1825.

Η κύρια ιδέα ήταν να σπρώξει ένα άκαμπτο πλαίσιο, ορθογωνικής διατομής, προς τα εμπρός με γρύλους, με σκοπό να αποτραπεί το έδαφος, να καταρρεύσει και έτσι να κατασκευαστεί η σήραγγα μέσα στα πλαίσια.

Αυτή ήταν η πρώτη Ασπίδα Ανοιχτού Μετώπου (OFS) η οποία εφευρέθηκε από τον Marc Brunel για μια σήραγγα πλάτους 11.60 m ύψους

6.70 m και μήκους 365 m κάτω από τον Τάμεση όπου η κατασκευή κράτησε 20 χρόνια.

Η ιστορία των μηχανημάτων ολομέτωπης διάνοιξης σηράγγων (TBM) δείχνει ότι τα θεμέλια είχαν τεθεί τον προηγούμενο αιώνα από το C. Whilson, με μηχανήμα που εφευρέθηκε το 1856 και δοκιμάστηκε στη σήραγγα Hooasc της Μασαχουσέτης. Από την άλλη μεριά λένε ότι η πρώτη προσπάθεια διάνοιξη σήραγγας με TBM ήταν με τη χρήση δύο μηχανών Beaumont – English 7 ποδιών (2.13 m) από το 1881 έως το 1882. Αυτή ήταν τεράστια προσπάθεια κατασκευής σήραγγας για την διέλευση των αλόγων και για τις μεταφορές στο αγγλικό κανάλι.

Μετά την πρώτη προσπάθεια με μια μηχανή διάνοιξης σηράγγων (TBM) από τους Άγγλους πέρασαν αρκετά χρόνια ώσπου ο Dick Robbins ανέπτυξε και κατασκεύασε την πρώτη μηχανή διάνοιξης σηράγγων για σκληρό βράχο το 1951.

Οι μηχανές σήμερα έχουν τη ίδια βασική αρχή σχεδιασμού, που αποτελείται από μια περιστρεφόμενη κεφαλή κοπής η οποία είναι κολλημένη σε ένα κεντρικό άξονα και από τα έμβολα ώθησης που με ειδικές πένσες γαντζώνουν τον τοίχο της σήραγγας για να οδηγήσουν τη μηχανή μπροστά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΗΡΑΓΓΕΣ



ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΡΑΓΓΑ, ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΥΤΗΣ

Οι σήραγγες είναι υπόγεια έργα με μεγάλη διαμήκη διάσταση συγκριτικά με την διατομή τους. Οι σήραγγες εφαρμόζονται κυρίως σε συγκοινωνιακά έργα (ως οδικές ή σιδηροδρομικές σήραγγες), καθώς και ως τμήματα υδραγωγείου σε υδραυλικά έργα. Ως έργα είναι ιδιαίτερα απαιτητικά τόσο στην φάση του σχεδιασμού τους, της κατασκευής τους και της λειτουργίας - συντήρησής τους, επιπλέον έχουν το μεγαλύτερο κόστος ανά μήκος συγκρινόμενα με άλλα συγκοινωνιακά ή υδραυλικά έργα. Ωστόσο δίνουν λύση όταν ο χώρος είναι περιορισμένος ή όταν οι γεωμορφολογικές συνθήκες είναι δύσκολες.

Διάνοιξη (*Tunnel drill - drive*). Η διάνοιξη της σήραγγας είναι το κρισιμότερο στάδιο στην κατασκευή της. Ανάλογα με την μεθοδολογία κατασκευής μπορεί να γίνεται ανεξάρτητα ή ταυτόχρονα με την τελική επένδυση της σήραγγας. Κατά την διάνοιξη προκαλείται αποτόνωση των τάσεων στον περιβάλλοντα βράχο, με αποτέλεσμα την εκδήλωση παραμορφώσεων. Σε κάθε περίπτωση οι παραμορφώσεις πρέπει να είναι ελεγχόμενες ώστε να διατηρείται η επιθυμητή διατομή και να αποτρέπεται η αστοχία μέχρι και την πλήρη κατάρρευση (μέσω σύνθλιψης των τοιχωμάτων ή αστοχίας του μετώπου). Οι τεχνικές διάνοιξης μπορούν να χωριστούν καταρχήν σε συμβατικές και σε πλήρως μηχανοποιημένες μεθόδους. Κατά την διάνοιξη και ανάλογα με τη μεθοδολογία της εκσκαφής, είτε τοποθετείται άμεσα τελική επένδυση, είτε κάποια προσωρινά μέτρα υποστήριξης τα οποία διατηρούν τη διατομή μέχρι την τελική επένδυση.

Διατομή σήραγγας (*Tunnel cross-section*). Οι συνήθεις σήραγγες έχουν κάποια σταθερή γεωμετρία διατομής κατά μήκος. Η διατομή χαρακτηρίζεται από την γεωμετρία καθώς και από το μέγεθος (π.χ. διάμετρος

ή επιφάνεια διατομής). Οι συνηθισμένες γεωμετρίες που χρησιμοποιούνται είναι οι κυκλικές, οι ελλειπτικές, οι σκουφοειδείς, οι πεταλοειδείς κ.α.

Μέτωπο εκσκαφής (*Excavation face*). Η επιφάνεια πάνω στην οποία γίνεται η εκσκαφή της σήραγγας. Με την εκάστοτε μεθοδολογία γίνεται θραύση των πετρωμάτων του μετώπου και κατόπιν απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής. Ένα τμήμα του βράχου μεταξύ μετώπου και μέτρων υποστήριξης που έχουν τοποθετηθεί μένει ανεπένδυτο. Το μήκος αυτό πρέπει να περιορίζεται ανάλογα και με τις γεωμηχανικές συνθήκες. Επιπλέον, το μέτωπο πρέπει να είναι ευσταθές καθώς η αστοχία του είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο φαινόμενο. Σε περίπτωση ασθενών υλικών σε συνθήκες σύνθλιψης, πρέπει να περιορίζεται το μέτωπο εκσκαφής εφαρμόζοντας διαδοχική εκσκαφή ή μέθοδοι υποστήριξης του μετώπου όπως οι δοκοί προπορίας (*fore-polling*).

Υποστήριξη (*Tunnel support*). Η υποστήριξη της σήραγγας αναφέρεται στην λήψη κατάλληλων μέτρων ώστε να εκτελείται ασφαλής κατασκευή περιορίζοντας τις παραμορφώσεις των τοιχωμάτων. Το ποσοτικό μέτρο για τον σχεδιασμό της υποστήριξης είναι το φορτίο υποστήριξης (*supporting load*), το οποίο θεωρητικά ασκείται από τα μέτρα υποστήριξης προς τον περιβάλλοντα βράχο. Μία σήραγγα μπορεί να είναι ανεπένδυτη ή ανυποστήρικτη (*unsupported*) όταν οι γεωμηχανικές συνθήκες το επιτρέπουν. Σε αυτήν την περίπτωση το φορτίο υποστήριξης είναι μηδέν.

Μέτρα υποστήριξης (*Support measures*). Τα μέτρα υποστήριξης αφορούν κατασκευές οι οποίες αναλαμβάνουν να αναλάβουν το φορτίο υποστήριξης. Ανάλογα με την μεθοδολογία κατασκευής τοποθετούνται ως τελική επένδυση ή ως προσωρινά μέτρα υποστήριξης. Τα πλέον διαδεδομένα μέτρα υποστήριξης είναι τα παρακάτω:

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (*Shotcrete*) ή Ganite.
- Αγκύρια (*Anchors*) και καρφιά (*nails*).
- Πλαίσια (*Frames*) Χαλύβδινα ή ξύλινα.

- Δικτυώματα (*Lattice girders*).
- Δομικά πλέγματα (*Structural grids*).
- Προκατασκευασμένα στοιχεία (π.χ. σε κατασκευή με TBM).

Τελική Επένδυση (*Lining*). Η τελική επένδυση είναι το τελευταίο στάδιο κατασκευής της σήραγγας δημιουργώντας μία σταθερή, ανθεκτική και ασφαλής διατομή εξασφαλίζοντας μεταξύ άλλων μία μακροχρόνια περίοδο λειτουργικότητας. Η τελική επένδυση κατασκευάζεται συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοποθετείται πάνω στην προσωρινή επένδυση. Οι μέθοδοι κατασκευής με TBM μπορούν να προβλέπουν άμεση τοποθέτηση της τελικής επένδυσης μετά την εκσκαφή (π.χ. με προκατασκευασμένα στοιχεία).

Γεωλογία Σηράγγων (*Tunnel geology*). Κατά τον σχεδιασμό ενός υπόγειου έργου γίνεται μία εκτεταμένη γεωλογική έρευνα για τον εντοπισμό των ομοιογενών περιοχών παρόμοιων ιδιοτήτων καθώς και των περιοχών που πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή (π.χ. ρηξιγενείς ζώνες με μυλωνίτες κλπ). Εντοπίζονται τα γεωλογικά στρώματα που διασχίζει η σήραγγα, οι ιζηματογενείς ασυμφωνίες, οι τεκτονικές μορφές, ρήγματα κλπ. Κατά την κατασκευή γίνεται συνεχής καταγραφή των σχηματισμών που αποκαλύπτονται στο μέτωπο καθώς και η οριστική ταξινόμηση της βραχώμαζας.

Ο σκοπός που εξυπηρετεί μια σήραγγα είναι τα εξής:

- Η βελτίωση της χάραξης αρχικά οριζοντιογραφικά για τη μείωση του μήκους του έργου και έπειτα υψομετρικά για τη βελτίωση της μηκοτομής.
- Η αποφυγή και παράκαμψη μεγάλων φυσικών εμποδίων, κυρίως βουνά.
- Στα μεγάλα υδραυλικά έργα όπου χρησιμοποιούνται αγωγοί, η κατασκευή κατά τμήμα ή τμήματα του κύριου αγωγού άρδευσης, μεγαλύτερου μήκους από τη σήραγγα, οδηγεί σε λύσεις μεγάλου περιορισμού του ολικού του μήκους και συνεπώς στην οικονομικότερη κατασκευή του έργου.

Οι κατηγορίες βάσει στις οποίες μπορεί να ενταχθεί μια σήραγγα είναι με βάση τα χαρακτηριστικά της:

1. Με βάση τη χρήση της

- Ø Συγκοινωνιακές, δηλαδή σιδηροδρομικές, μετρό, πεζόδρομοι, υποθαλάσσιες, αυτοκινητόδρομοι.
- Ø Διακομιστήκες, δηλαδή υδροηλεκτρικά έργα, μεταφορά ύδατος, μεταφορά σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

2. Με βάση την τοποθέτησή της

- Ø Μικρού βάθους.
- Ø Μεγάλου βάθους.
- Ø Επιφανειακές.

3. Με βάση τη διάρκεια χρόνου χρήσης της

- Ø Προσωρινές, όταν προβλέπεται μικρή διάρκεια χρήσης έτσι ώστε να επιτρέπει τη χρήση της επένδυσης με προσωρινή αντιστήριξη η οποία μειώνει το κόστος της κατασκευής.
- Ø Μόνιμες, όταν ο χρόνος προβλέπεται να είναι πολύ μεγάλος και επιδρά στον τύπο της επένδυσης με αποτέλεσμα να αυξάνει το κόστος της κατασκευής της σήραγγας.

4. Με βάση τη μορφή της μηκοτομής

- Ø Όπου ο άξονας τους, υψομετρικά, αποτελείται από ένα ευθύγραμμο τμήμα ενιαίας κατά μήκος κλίσης.
- Ø Σε φρεάτια με κατακόρυφο άξονα.
- Ø Σε φρεάτια με πολύ μεγάλες γωνίες κλίσεως του άξονα ως προς τη κατακόρυφη.

5. Με βάση τη γεωμετρική μορφή του άξονα της σήραγγας, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά

- Ø Ευθύγραμμο τμήμα.
- Ø Καμπύλο τόξο.

- Ø Να αποτελείται από ευθύγραμμα τμήματα συνδεδεμένα μεταξύ τους με καμπύλα τόξα μεταξύ τους.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΡΓΟΥ (ΣΗΡΑΓΓΑΣ)

Για τον σχεδιασμό συνεκτιμούνται τα επιθυμητά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της σήραγγας και οι γεωμηχανικές συνθήκες για να προταθεί η μεθοδολογία της κατασκευής και στην συνέχεια να εκτιμηθούν τα απαιτούμενα μέτρα υποστήριξης. Οι κύριες παράμετροι που υπεισέρχονται στον σχεδιασμό είναι:

Û **Επιτόπου τάσεις (*in-situ stress*)**. Οι επιτόπου τάσεις έχουν σημαντική επιρροή στην επιλογή των μέτρων υποστήριξης καθώς οι τάσεις είναι το βασικό αίτιο για την εκδήλωση των παραμορφώσεων. Διαχωρίζονται σε γεωστατικές (αίτιο: το ίδιο-βάρος των πετρωμάτων) και σε τεκτονικές (αίτιο: η τεκτονική των πλακών). Επιπλέον, διαχωρίζονται σε κατακόρυφες και οριζόντιες. Το αίτιο των κατακόρυφων επιτόπου τάσεων είναι συνήθως αποκλειστικά η γεωστατική φόρτιση και μπορούν να λαμβάνονται ως $\sigma_v = \gamma \times z$ όπου z το βάθος την εξεταζόμενης διατομής της σήραγγας και γ το ειδικό βάρος των πετρωμάτων (μπορεί να λαμβάνεται 27 kN/m^3). Οι οριζόντιες επιτόπου τάσεις ορίζονται μέσω του λόγου οριζοντίων προς κατακόρυφων τάσεων k : $\sigma_h = k \times \sigma_v$. Ο λόγος k μπορεί να εξαχθεί από την σχέση ελαστικότητας $k = \nu / (1 - \nu)$ ν : ο λόγος Poisson όταν το τεκτονικό καθεστώς το επιτρέπει (π.χ. εφελκυστικό τεκτονικό καθεστώς – κανονικά ρήγματα), $k = 1$ για ελαστοπλαστική συμπεριφορά (κυρίως σε μεγάλα βάθη διάνοιξης), $k = 1 - \sin \varphi'$ (φ' : γωνία τριβής) για διάνοιξη σήραγγας σε κοκκώδη εδάφη, $k = (1 - \sin \varphi') (\text{OCR})^{\sin \varphi'}$ για προφορτισμένες αργίλους (OCR: λόγος προφόρτισης). Σε θλιπτικό τεκτονικό καθεστώς ο λόγος k μπορεί να ξεπεράσει την τιμή $k = 3$ φράζεται δε: $100/z + 0.3 < k < 1500/z + 0.5$ όπου z το βάθος σε μέτρα. Για μεγάλα βάθη εν γένει τείνει στην τιμή $k = 1$.

Û Ταξινόμηση βραχομάζας (*Rockmass classification*). Η βαθμολογία της βραχομάζας είναι καθοριστική για την επιλογή των μέτρων υποστήριξης καθώς και για την ομαδοποίηση των μέτρων ανά τμήματα του έργου.

Û Αντοχή (*Strength*). Ο ακριβής υπολογισμός των μέτρων υποστήριξης στηρίζεται στην γνώση της μηχανικής συμπεριφοράς της βραχομάζας. Γίνεται εργαστηριακή εκτίμηση της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος καθώς και εκτίμηση της αντοχής της βραχομάζας.

Û Ασυνέχειες. Καταγραφή μεμονωμένων και ομάδων ασυνεχειών. Κατάρτιση τεκτονικών διαγραμμάτων. Διερεύνηση για την δημιουργία πιθανών μηχανισμών με σφήνες και σχεδιασμού μέτρων «καρφώματος» (αγκύρωσης).

Û Γεωμετρία Διατομής. Η γεωμετρία της διατομής καθορίζεται από τον σκοπό του έργου (μία σχετικά αυθαίρετη ταξινόμηση ως προς το μέγεθος των σηράγγων είναι: υδραυλικές σήραγγες <σιδηροδρομικές σήραγγες <οδικές σήραγγες). Οι μεγαλύτερες διατομές απαιτούν συνήθως διαδοχική εκσκαφή εφόσον δεν είναι δυνατή η χρήση TBM υποστήριξη μετώπου. Η αύξηση του μεγέθους της διατομής έχει ως συνέπεια της ενεργοποίησης μεγαλύτερου μέρους της περιβάλλουσας βραχομάζας και επειδή τα σχετικά μεγέθη των ασυνεχειών μικραίνουν, έχουμε και επιδείνωση των μηχανικών χαρακτηριστικών.

Û Υπόγεια ύδατα (*Ground water*). Τα υπόγεια ύδατα έχουν σαν συνέπεια την αλλαγή των χαρακτηριστικών αντοχής μέσω της ανάπτυξης υδατικών πιέσεων και μεταβολή των ενεργών τάσεων στους εδαφικούς πόρους (για την περίπτωση των εδαφών) ή των ασυνεχειών (για την περίπτωση βραχομάζας). Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό των συνθηκών στράγγισης (πλήρως στραγγιζόμενη διατομή ώστε να απομονώνονται οι υδατικές πιέσεις ή στεγανή διατομή με πλήρη ανάπτυξη των υδατικών πιέσεων).

Û Κατασκευή. Μέθοδοι κατασκευής όπως η διάτρηση και ανατίναξη προκαλούν διατάραξη στην περιβάλλουσα βραχομάζα και μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών.

Û Άλλοι παράγοντες. Είναι τα επιφανειακά έργα στην περιοχή της σήραγγας (ως φορτίσεις ή ως απαίτηση μη-εκδήλωσης παραμορφώσεων και καταστροφών στις υπερκείμενες κατασκευές). Η καταπόνηση του έργου από τις δονήσεις των οχημάτων - συρμών (οδικές – σιδηροδρομικές σήραγγες) καθώς και από την εσωτερική πίεση του νερού (υδραυλικές σήραγγες).

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Για τη κατασκευή μιας σήραγγας εφαρμόζονται τρεις διαφορετικοί τρόποι:

1. Η μέθοδος ανοιχτού ορύγματος (Cut and Cover)

Εφαρμόζεται σε εδαφικούς σχηματισμούς όταν το έργο είναι σε μικρό βάθος. Η μέθοδος ανοιχτού ορύγματος εφαρμόζεται διαφορετικά σε ακατοίκητες και διαφορετικά σε κατοικημένες περιοχές. Σε ακατοίκητες περιοχές δεν αντιμετωπίζουμε προβλήματα. Η εκσκαφή γίνεται σε όλο το εύρος από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το βάθος στο οποίο θα εδραστεί το έργο , δε γίνεται αντιστήριξη των παρειών της εκσκαφής οι οποίες διαμορφώνονται με την κλίση που επιτρέπει το έδαφος. Όταν υπάρχουν υπόγεια νερά η στάθμη υποβιβάζεται μέχρις ότου κατασκευαστεί το έργο. Δυσκολίες παρουσιάζονται σε κατοικημένες περιοχές επειδή η κατασκευή των έργων δεν πρέπει αφενός να προκαλέσει προβλήματα στην κυκλοφορία και αφετέρου ζημίες στις γειτονικές κατασκευές όπως υπόγειους αγωγούς , υπόγεια καλώδια.

2. Η μέθοδος κλειστής διάνοιξης (TBM)

Εφαρμόζεται σε όλους τους τύπους εδαφών όταν το βάθος είναι σχετικά μεγάλο και σχεδόν πάντοτε όταν η διάνοιξη πρέπει να γίνει σε βραχώδες υλικό. Βασικά διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τρόπους κατασκευής: το συμβατικό τρόπο κατασκευής του έργου και την κατασκευή του έργου με

μηχανές ολομέτωπης διάνοιξης. Οι μηχανές ολομέτωπης διάνοιξης χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σηράγγων κυκλικής διατομής. Με τις μηχανές αυτές εκτελούνται ταυτόχρονα η διάνοιξη, η υποστήριξη του μετώπου και των τοιχωμάτων της σήραγγας και η τοποθέτηση της οριστικής υποστήριξης.

3. Η μέθοδος NATM.

Γενικά

Η λεγόμενη "Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων" (New Austrian Tunnelling Method - NATM) ουσιαστικά δεν αποτελεί μια "μέθοδο" αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά τη διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοσθεί και πριν το 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου αλλά η συστηματοποίηση και ονομασία τους (NATM) έγινε από Αυστριακούς Μηχανικούς (Rabczewicz, Mueller, Brunner και Pacher) περίπου το 1960.

Έτσι, αν και η "Μέθοδος NATM" όταν προτάθηκε δεν ήταν ούτε "Νέα" ούτε "Αυστριακή" (αφού είχε εφαρμοσθεί και στο παρελθόν σε άλλες χώρες), αλλά ούτε και "Μέθοδος" (αφού ουσιαστικά αποτελείται από ένα σύνολο τεχνικών οι οποίες μάλιστα αλλάζουν με την πρόοδο της τεχνολογίας), διατήρησε διεθνώς μέχρι σήμερα το όνομά της. Αν και δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτός ορισμός της "Μεθόδου NATM", ο όρος συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διάνοιξη σηράγγων με εκτεθειμένο το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα) και υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό ή οπλισμένο) ή/και αγκύρια βράχου. Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι εναλλακτικοί τρόποι διάνοιξης σηράγγων που δεν υπάγονται στη μέθοδο NATM είναι:

- i. **Διάνοιξη με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM)**, επειδή κατά τη μέθοδο αυτή η κοπτική κεφαλή του μηχανήματος ασκεί πίεση επί του μετώπου εκσκαφής.
- ii. **Διάνοιξη με προστατευτική ασπίδα (shield)**, επειδή η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται μέσω της ασπίδας και όχι με εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή αγκυρίων.
- iii. **Οποιαδήποτε άλλη μέθοδος διάνοιξης** κατά την οποία η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή αγκύρια, όπως π.χ. με έγχυτο σκυρόδεμα, προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, μέταλλο ή άλλο υλικό. Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε μια ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές I) και αγκύρια (παθητικά ή προεντεταμένα). Σημειώνεται ότι η υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνον με αγκύρια χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπάγεται επίσης στην κατηγορία της μεθόδου NATM. Τέλος, κατά τη μέθοδο NATM η ως άνω άμεση υποστήριξη συνήθως ακολουθείται σε μεταγενέστερο χρόνο από την κατασκευή της "τελικής επένδυσης" της σήραγγας η οποία θεωρείται ως φέρον στοιχείο (σε ορισμένες περιπτώσεις δεν κατασκευάζεται τελική επένδυση αλλά η άμεση υποστήριξη σχεδιάζεται ώστε να αναλάβει το σύνολο των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας).

Χαρακτηριστικά της μεθόδου NATM

Η βασική αρχή της μεθόδου NATM είναι ότι η διάνοιξη της σήραγγας και η κατασκευή της άμεσης υποστήριξης γίνονται κατά τρόπο ώστε να ενεργοποιηθεί η αντοχή της περιβάλλουσας βραχώμαζας (μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας) σε ικανό βαθμό ώστε να μειωθούν αρκετά οι πιέσεις επί της άμεσης υποστήριξης αλλά όχι τόσο

ώστε να προκληθεί αποδιοργάνωση της βραχώμαζας με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικώς την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας.

Δεδομένου ότι ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει εμπρός από το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή πριν η εκσκαφή φθάσει στη συγκεκριμένη θέση) και επιπλέον ότι η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με ταχείς ρυθμούς στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής, προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή της βραχώμαζας έχει ενεργοποιηθεί επαρκώς πολύ κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής και συνεπώς η άμεση υποστήριξη θα πρέπει να κατασκευασθεί κατά το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής.

Η παραπάνω αρχή της μεθόδου NATM εξειδικεύεται ως εξής:

i. Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες από μια φάσεις. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου της εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μια φάση) και βελτιώνεται η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας

ii. Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης της διατομής σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Τούτο επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσης εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2 μέτρων αναλόγως της ποιότητας της βραχώμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο φτωχότερη είναι η ποιότητα της βραχώμαζας (επειδή στις περιπτώσεις αυτές η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας είναι ταχύτερη).

iii. Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του

τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή, επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχώμαζα (και συνεπώς η παραμικρή σύγκλιση του τοιχώματος προκαλεί τη φόρτισή του) και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως (μερικές ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κλίμακον οπλίζει την περιβάλλουσα βραχώμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχώμαζα. Πράγματι, η τάση της βραχώμαζας αν παραμορφωθεί διατμητικά προκαλεί (μέσω της διασταλτικότητας) την ανάπτυξη εφελκυσμού στα αγκύρια και συνεπώς θλίψη στη βραχώμαζα. Η θλίψη της βραχώμαζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητά της λόγω εγκιβωτισμού (λειτουργία ανάλογη με αυτή του σπειροειδούς οπλισμού στα υποστυλώματα).

iv. Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευμένου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής (δηλαδή και στο δάπεδο). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας κλειστός δακτύλιος με πολύ μικρή παραμορφωσιμότητα ώστε να περιορίζονται οι περαιτέρω συγκλίσεις του τοιχώματος.

v. Η δημιουργία κλειστού δακτυλίου με την ταχεία σκυροδέτηση του δαπέδου (early invert closure) συντελεί τα μέγιστα στη μείωση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας και στην ευστάθεια της διατομής. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση βραχώμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευμένου σκυροδέματος, δηλαδή δεν επενδύεται με σκυρόδεμα το δάπεδο της σήραγγας.

vi. Στην περίπτωση διάνοιξης σηράγγων σε βραχώμαζα με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ή σε εδαφικούς σχηματισμούς, είναι συνήθης η εμφάνιση φαινομένων αστάθειας του μετώπου της εκσκαφής (face instability). Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν αύξηση της σύγκλισης και αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας με πιθανή κατάληξη την κατάρρευση της σήραγγας. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να ληφθούν

μέτρα βελτίωσης της ευστάθειας του μετώπου, όπως αύξηση του αριθμού των φάσεων εκσκαφής (ώστε να μειωθούν οι διαστάσεις του μετώπου), διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς την κατακόρυφο (δηλαδή αφήνοντας έναν εδαφικό τάκο στον πόδα του μετώπου), ενίσχυση του μετώπου με αγκύρια, ενίσχυση της οροφής με ράβδους (spiles) ή δοκούς προπορείας (forepoling), κατασκευή τσιμεντενέσεων, επένδυση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΤΕΓΑΝΩΣΕΙΣ



ΣΤΕΓΑΝΩΣΕΙΣ

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Από τα αρχαία χρόνια, ο άνθρωπος σκάβει βαθιά στις πλευρές των σπηλιών και στα κοιλάματα των λόφων στη γη. Στο παρελθόν, αυτό επρόκειτο να παράσχει ένα ειδικό προστατευτικό ενάντια στα στοιχεία και στα άγρια ζώα. Με το πέρασμα του χρόνου, οι λόγοι για τους οποίους δημιουργούνται υπόγειες κατασκευές και η διείδυση στα βουνά έχουν αλλάξει. Στο παρελθόν, οι σήραγγες που ήταν κατασκευασμένες για μετρό και σιδηροδρομικά συστήματα δεν ήταν υδατοστεγείς και έμοιαζαν με σπηλιές σταλακτιτών. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι εκείνες στεγανοποιήθηκαν μόλις έγιναν προσιτές για αυτοκινητόδρομους.

Κατά συνέπεια, τις λύσεις στεγανοποίησης από τα προηγούμενα και τα πρόσφατα έτη εξετάζουμε και βελτιώνουμε όπου είναι απαραίτητο. Υπάρχουν ικανοί και πεπειραμένοι μηχανικοί στον τομέα των στεγανοποιητικών συστημάτων υπόγειων έργων και σηράγγων, παρέχοντας συμβουλές σχετικές με το πρόγραμμα.

Τα στεγανοποιητικά συστήματα μπορούν να ελεγχθούν στην εγκατάσταση και να στεγανοποιούνται για οποιοδήποτε διαρροή. Με βάση την εμπειρία τους, την έρευνα, την ανάπτυξη, την τεχνολογία των εφαρμογών και με δοκιμή, οι εύκαμπτες στεγανοποιητικές μεμβράνες μας απολαμβάνουν μια εξαιρετικά μακριά ζωή, έτσι ώστε οι κατασκευές παραμένουν προστατευμένες από το νερό στο μέλλον.

Από το 1920, όταν άρχισε η ηλεκτροδότηση των σιδηροδρόμων, η σημασία της στεγανοποίησης σηράγγων αναγνωρίστηκε. Σήμερα, η στεγανοποίηση των υπόγειων κατασκευών κυκλοφορίας απαιτείται φυσικά από ειδικούς.

Πεδίο εφαρμογής – Ορισμοί

- i. Το πεδίο εφαρμογής περιλαμβάνει τις εργασίες στεγάνωσης έργων πολιτικού μηχανικού, όπως οχετών, τοίχων αντιστήριξης, φρεατίων, γεφυρών, υπογείων έργων που κατασκευάζονται με τη μέθοδο «εκσκαφής και επίκωσης» (cut and cover), επενδύσεων πασσαλοστοιχιών κτλ.
- ii. Ως στεγανώσεις νοούνται όλα τα σχετικά μέτρα που λαμβάνονται για την επίτευξη της στεγανότητας των κατασκευών.

Υλικά

- i. Χωρίς αναγκαστικά να περιορίζονται στα παρακάτω, οι στεγανώσεις γίνονται με:
 - πατητά επιχρίσματα
 - ασφαλικές επαλείψεις
 - στρώσεις ασφαλτόπανου
 - στρώσεις ειδικών μεμβρανών

Για τα πατητά επιχρίσματα ισχύουν οι ΠΤΠ T44 και T87, με τις όποιες βελτιώσεις, τροποποιήσεις ή/ και συμπληρώσεις που αναφέρονται κατωτέρω.

- ii. Για τις ασφαλικές επαλείψεις και τις στρώσεις ασφαλτόπανου, ισχύει η ΠΤΠ T110 με τις όποιες βελτιώσεις, τροποποιήσεις ή και συμπληρώσεις αναφέρονται κατωτέρω.

- iii. Τα συστήματα στεγάνωσης με ειδικές μεμβράνες, που περιγράφονται στις σχετικές παραγράφους του παρόντος, πρέπει να συνοδεύονται από πιστοποιητικά καταλληλότητας της εφαρμογής τους σε ανάλογα έργα, σύμφωνα με τα Βρετανικά ή Γερμανικά Πρότυπα ή τα Πρότυπα ISO.

Εκτέλεση εργασιών

Γενικά

- i. Ο Ανάδοχος πρέπει να προτείνει εγκαίρως σύστημα στεγάνωσης (υλικά, μέθοδος κατασκευής, έλεγχοι), το οποίο να πληρεί τις απαιτήσεις των

συμβατικών τευχών. Ο Ανάδοχος υποχρεούται να υποβάλλει στην Υπηρεσία όλα τα σχετικά έγγραφα, δηλαδή οδηγίες του κατασκευαστή των υλικών, πρότυπα και κανονισμούς καθώς και πιστοποιητικά, προηγούμενων εφαρμογών σε ανάλογα έργα.

Η Υπηρεσία δικαιούται να απορρίψει την προτεινόμενη μέθοδο, εφόσον κατά την κρίση της, δεν εξασφαλίζεται επαρκής στεγάνωση της κατασκευής.

ii. Δεν επιτρέπεται η εκτέλεση εργασιών στεγάνωσης σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος κάτω από 5°C.

iii. Μετά την εφαρμογή της στεγάνωσης πρέπει να εξασφαλίζεται πρόσκαιρη προστασία, ώστε να αποφεύγονται τυχόν φθορές από την κυκλοφορία (ακόμη και αυτή του εργατοτεχνικού προσωπικού). Η προστατευτική στρώση που τυχόν απαιτείται διαστρώνεται αμέσως μετά την τοποθέτηση της στεγανωτικής στρώσης.

iv. Τα τελειώματα των επιφανειών προς στεγάνωση εκτελούνται σύμφωνα με τις εγκεκριμένες προδιαγραφές του κατασκευαστή του υλικού και μετά από την παραλαβή τους από την Υπηρεσία. Πριν την εφαρμογή οι επιφάνειες πρέπει να είναι επίπεδες, χωρίς όμως να έχουν λειανθεί, στεγνές και εντελώς απαλλαγμένες από σκόνες, λάδια, παραφίνες και χαλαρά υλικά. Στην περίπτωση χρήσης ειδικών στεγανωτικών μεμβρανών ή ασφαλτόπανου, η επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να εξομαλύνεται με πατητό επίχρισμα πάχους 2 cm και αναλογίας 600 kg τσιμέντου ανά m³ κονιάματος.

v. Κατάλληλες λεπτομέρειες προβλέπονται στη στεγάνωση των ακμών γύρω από ανοίγματα και στους αρμούς διαστολής, έτσι ώστε το νερό να μη διέρχεται μεταξύ της στρώσης στεγάνωσης και της στεγανωμένης επιφάνειας. Τα αποχετευτικά σημεία των γεφυρών θα φέρουν κατάλληλη διάταξη (φλάντζα) προσαρμογής της στεγανωτικής στρώσης, αποστράγγισης των νερών διήθησης και ρύθμισης του ύψους του στομίου τους.

Ο ανάδοχος υποβάλλει στην Υπηρεσία βεβαίωση του κατασκευαστή του υλικού για το είδος του διαστρωτήρα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

vi. Οι ενώσεις των ειδικών αυτών μεμβρανών επιτυγχάνονται με επικάλυψη όπως προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή τους. Όταν τα άκρα βρίσκονται σε χαμηλά σημεία, η στεγάνωση θα τερματίζεται σε κατάλληλη εσοχή με κατακόρυφη απόληξη ύψους τουλάχιστον 0,07 m.

vii. Μετά το πέρας των εργασιών στεγάνωσης και πριν την αρχή των επόμενων εργασιών, η κατασκευή επανελέγχεται από την Υπηρεσία. Οποιαδήποτε κακοτεχνία διαπιστωθεί επιδιορθώνεται από τον Ανάδοχο χωρίς συμπληρωματική αμοιβή.

Πατητά Επίχρισματα

Πατητό Επίχρισμα πάχους 1,5 cm:

◆ Εφαρμόζεται κυρίως σε εξωτερικές επιφάνειες σκυροδέματος αλλά και σε εσωτερικές. Δεν εφαρμόζεται σε εσωτερικές επιφάνειες έργων υπονόμων και φρεατίων. Η επιφάνεια του σκυροδέματος προστατεύεται με πατητό επίχρισμα πάχους 1,5 cm, το οποίο διαστρώνεται σε τρεις στρώσεις. Η πρώτη στρώση (πεταχτή) έχει αναλογία τσιμέντου ανά m^3 ξηράς άμμου $650 \text{ kg}/m^3$. Η δεύτερη στρώση (στρωτή) έχει αναλογία τσιμέντου ανά m^3 ξηράς άμμου $650 \text{ kg}/m^3$ και η τρίτη στρώση(πατητή) έχει αναλογία τσιμέντου ανά m^3 ξηράς άμμου $900 \text{ kg}/m^3$.

◆ Στη συνέχεια γίνεται επίταση με τσιμέντο σε λεία, επίπεδη, ή καμπύλη επιφάνεια και κατά τα λοιπά όπως ορίζεται στην ΠΤΠ 44 και την ΠΤΠ Τ87.

Διπλή Ασφαλτική Επάλειψη

◆ Εφαρμόζεται γενικά σε επιφάνειες σκυροδεμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων.

◆ Η επιφάνεια του σκυροδέματος ή τσιμεντοκονιάματος επαλείφεται με όση ποσότητα ασφαλτικού υλικού τύπου LANCOL ή άλλου εγκεκριμένου τύπου απαιτείται (διπλή επάλειψη).

Διπλή Στρώση Ασφαλτόπανου

◆ Εφαρμόζεται κυρίως σε επιφάνειες σκυροδεμάτων, οριζόντιους φορείς γεφυρών / οχετών στέψης.

◆ Τοποθετείται διπλή στρώση ασφαλτόπανου πάχους 2 mm και βάρους από 2,20 kg/m² έως 2,50 kg/m².

◆ Η στεγάνωση αυτού του τύπου θα προστατεύεται απαραίτητα στους φορείς τεχνικών έργων υπό επίχωση και ενδεχομένως στους φορείς στέψης με στρώση από σκυρόδεμα B15 (χαρακτηριστικής αντοχής 15 Mpa), ελάχιστου πάχους 0,07 m με γαλβανισμένο σιδηρό πλέγμα, τοποθετημένο στο μέσο του πάχους αυτής, με μέγιστο μέγεθος βροχίδας 5 cm x 5 cm και διάμετρο συρμάτων 3 mm. Σε άλλες περιπτώσεις η στεγάνωση είναι δυνατόν να προστατεύεται με τσιμεντοκονίαμα πάχους 2 cm και αναλογία 600 kg τσιμέντου ανά m³.

Περιλαμβανόμενες Δαπάνες

Πατητά Επιχρίσματα

Η εργασία περιλαμβάνει την προμήθεια και μεταφορά επί τόπου των έργων όλων των απαιτούμενων υλικών και την κατεργασία και τοποθέτησή τους, όπως τα ανωτέρω περιγράφονται λεπτομερώς στο παρόν.

Λοιπές Στεγανώσεις

Για κάθε τύπο στεγάνωσης, όπως αυτός περιγράφηκε στις αντίστοιχες παραγράφους του παρόντος, η εργασία περιλαμβάνει:

◆ Όλες τις διαδικασίες έγκρισης του στεγανωτικού συστήματος, όπως περιγράφηκαν. Την προμήθεια και μεταφορά επί τόπου των έργων όλων των

απαιτούμενων υλικών την κατεργασία και τοποθέτησή τους, όπως περιγράφηκαν.

Επιμέτρηση και Πληρωμή

Γενικά

♦ Οι εργασίες εφαρμογής στεγανωτικής στρώσης θα επιμετρώνται σε τετραγωνικά μέτρα (m²), πλήρως περαιωμένων, ανά τύπο στεγάνωσης που εμφανίζεται στο τιμολόγιο.

♦ Η (οι) ποσότητα (ες) των εργασιών που εκτελέστηκαν ικανοποιητικά, όπως αυτή (ες) επιμετρήθηκε (αν) σύμφωνα με τα ανωτέρω και εγκρίθηκε (αν) από την Υπηρεσία, θα πληρώνεται (ονται) σύμφωνα με την παρούσα ΓΤΣΥ για τους διάφορους τύπους στεγάνωσης. Η (οι) τιμή (ές) μονάδας θα αποτελεί (ούν) πλήρη αποζημίωση για τα όσα ορίζονται στην ανωτέρω παράγραφο «Περιλαμβανόμενες Δαπάνες» του άρθρου, καθώς και για κάθε άλλη δαπάνη που είναι αναγκαία σύμφωνα με τα οριζόμενα «Γενικοί Όροι».

ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

(σύμφωνα με τις εθνικές τεχνικές προδιαγραφές του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)

Κατά την κατασκευή των σηράγγων προκύπτουν απαιτήσεις στεγανότητας αυτών από τα νερά της βραχομάζας. Η ικανοποίηση της βασικής απαίτησης στεγανότητας επιτρέπει τον υπολογισμό της τελικής επένδυσης των σηράγγων χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη φορτίο από υδροστατική πίεση, λόγω συγκέντρωσης νερών, γεγονός που τελικά σημαίνει εξοικονόμηση δαπάνης κατά την κατασκευή της τελικής επένδυσης.

Ο βαθμός της στεγανότητας και η έκταση των εργασιών στεγάνωσης καθορίζονται, σύμφωνα με την ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα νερών, που είναι δυνατόν να γίνει ανεκτή από τον Κύριο του Έργου, γι'αυτό και οι απαιτήσεις στεγανότητας διαφέρουν κατά περίπτωση.

Παράγοντες που Επηρεάζουν τις Εργασίες Στεγάνωσης

Τον καθορισμό των απαιτήσεων στεγάνωσης επηρεάζουν, όχι όμως περιοριστικά, οι ακόλουθοι παράγοντες του έργου :

- § Γεωλογικές συνθήκες
- § Αναμενόμενες φορτίσεις από τη βραχώμαζα
- § Χημικές ιδιότητες του νερού και του πετρώματος
- § Τρόπος κατασκευής του έργου
- § Απαιτήσεις στεγανότητας σε σχέση με τη χρήση της σήραγγας (οδική σήραγγα, σιδηροδρομική σήραγγα, σήραγγα METRO).
- § Αναμενόμενες παραμορφώσεις, καθιζήσεις και σχετικές μετακινήσεις των στεγανοποιημένων τμημάτων της σήραγγας.
- § Αντιμετώπιση υδροστατικής πίεσης από τις εργασίες στεγάνωσης.

Απαιτήσεις Στεγάνωσης Ενός Έργου

Κατά την κατασκευή ενός έργου απαιτείται πλήρης στεγάνωση της διατομής χρήσης της σήραγγας, διότι τούτο εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες κυκλοφορίας της σήραγγας και την ασφάλεια των κατασκευών της από την παρουσία νερών (διάβρωση κατασκευών από σκυρόδεμα, κίνδυνοι βραχυκυκλωμάτων Η/Μ εγκαταστάσεων κλπ).

Αν και η τελική επένδυση της σήραγγας, η οποία κατασκευάζεται από έγχυτο σκυρόδεμα, θα υπολογισθεί με υδροστατική πίεση νερού υπέρ την κλείδα της διατομής (σύμφωνα με τους ειδικούς όρους δημοπράτησης και της μελέτης του έργου), είναι επιθυμητό να μη φέρει υδροστατικά φορτία και κατά συνέπεια απαιτεί πλήρη αποστράγγιση του νερού από το εξωρράχιο της εσωτερικής επένδυσης.

Υδρομαστευτική στρώση - Στεγανωτική μεμβράνη

Πλήρης στεγάνωση των κατασκευών επιτυγχάνεται με χρήση γεωφασμάτων (GEOTEXTILES) για υδρομαστευτική στρώση και στεγανωτικών μεμβρανών, από υψηλά πολυμερή, συνήθως από χλωριούχο πολυβινύλιο ή από πολυαιθυλένιο, μεθοδολογία η οποία έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια στον ευρωπαϊκό χώρο και έχει επεκταθεί και στις ΗΠΑ (WASHINGTON METRO και τμήματα METRO NEW YORK).

Ο ρόλος του γεωϋφάσματος είναι διττός. Αφενός προστατεύει τη μεμβράνη, η οποία κινδυνεύει να πληγωθεί από πιθανές καταπονήσεις μηχανικής, χημικής, θερμικής και υδραυλικής πίεσης, από πίεση της επάνω σε κάποιο προεξέχον τμήμα της άμεσης υποστήριξης, αφετέρου προσφέρει τη δυνατότητα στράγγισης των νερών πίσω από την εσωτερική επένδυση, οδηγώντας τα νερά στους κατά μήκος της σήραγγας συλλεκτήριους αγωγούς και ως εκ τούτου αποφεύγεται η αύξηση της υδροστατικής πίεσης.

Η μεθοδολογία εφαρμογής, που αναπτύχθηκε ειδικά για σήραγγες, με πλήρη μηχανοποιημένη τεχνική στερέωσης και συγκόλλησης των μεμβρανών, με πρακτικές και αποτελεσματικές διατάξεις ελέγχου της επιτυγχανόμενης στεγανότητας και, τέλος, με επακριβή αντιμετώπιση όλων των μηχανολογικών λεπτομερειών, αντιπροσωπεύουν σήμερα την πιο τεχνολογικά εξελιγμένη μέθοδο στεγάνωσης, όσον αφορά :

- i. Τα υλικά
- ii. Τη μεθοδολογία εφαρμογής
- iii. Την ασφάλεια και την ακρίβεια της κατασκευής



Απαιτήσεις για την Κατασκευή της Στεγάνωσης

Η μεμβράνη στεγάνωσης πρέπει να τοποθετηθεί σωστά και εύκολα, ιδιαίτερα στην περιοχή των εσωραχίου και στις ανωμαλίες που δημιουργούνται κατά την εκσκαφή των σηράγγων και παραμένουν μετά τη διάστρωση εκτοξευμένου σκυροδέματος και να είναι δυνατό να επιδιορθώνεται και να δοκιμάζεται. Η τεχνική της κατασκευής της πρέπει να ανταποκρίνεται στις εκάστοτε απαιτήσεις ασφαλείας του έργου.

Η στερέωση της στεγανοποιητικής μεμβράνης δύναται να γίνει πάνω στις στρώσεις του εκτοξευμένου σκυροδέματος της άμεσης υποστήριξης της σήραγγας. Γενικότερα, η διάταξη των εργασιών στεγάνωσης, που προβλέπεται με την παρούσα προδιαγραφή είναι η ακόλουθη :

- i. Υπάρχει, κατ' αρχή, η επιφάνεια της βραχομάζας.
- ii. Πάνω στην επιφάνεια έχει διαστρωθεί το εκτοξευμένο σκυρόδεμα της άμεσης υποστήριξης.
- iii. Μέσα στο εκτοξευμένο σκυρόδεμα αναπτύσσεται το δίκτυο των πλαστικών σωλήνων των υδρομαστεύσεων, οι οποίες πραγματοποιούνται στις περιοχές μεγάλης υδροφορίας.
- iv. Πάνω στην επιφάνεια του εκτοξευμένου σκυροδέματος τοποθετείται η υδρομαστευτική στρώση του γεωφάσματος.
- v. Ακολουθούν τα μέσα στερέωσης της μονωτικής μεμβράνης πάνω στο γεώφασμα (ροδέλες).
- vi. Τοποθετείται, με θερμοσυγκόλληση, η στεγανωτική μεμβράνη.
- vii. Τέλος, ακολουθεί η κατασκευή της τελικής επένδυσης της σήραγγας.

Απαιτήσεις για την Κατασκευή της Υδρομαστευτικής Στρώσης

Η στρώση αυτή προβλέπεται να τοποθετηθεί έξω και πριν από τη στεγανωτική μεμβράνη προς το πέτρωμα και σκοπό της είναι:

- i. Να προστατεύσει τη στεγανωτική μεμβράνη, που τοποθετείται στη συνέχεια, από βλάβες που δύνανται να προκληθούν από ανωμαλίες του πετρώματος ή των στοιχείων της άμεσης υποστήριξης. Για τον ίδιο λόγο, ο

Ανάδοχος πρέπει να λάβει υπ' όψη ότι η υδρομαστευτική στρώση θα πρέπει να τοποθετηθεί αφού θα έχει προηγηθεί εξομάλυνση του εσωραχίου της άμεσης υποστήριξης της σήραγγας, με αφαίρεση τεμαχίων του εκτοξευμένου σκυροδέματος, που προεξέχουν, με άμβλυση απότομων ακμών, με κάλυψη ηλώσεων / αγκυρίων με εκτοξευμένο σκυρόδεμα και με κοπή κάθε μεταλλικού αντικειμένου, που προεξέχει.

ii. Να εξασφαλίσει ταχεία απαγωγή των νερών της βραχομάζας προς τους σωλήνες αποχέτευσης, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος ανάπτυξης υδροστατικών πιέσεων. Ο ρόλος αυτός της υδρομαστευτικής στρώσης είναι ο περισσότερο σοβαρός και γι' αυτό θα πρέπει το σύστημα και το είδος των υλικών και των μεθόδων, που θα επιλεγούν, να ανταποκρίνονται, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, σε μόνιμη στραγγιστική λειτουργία της υδρομαστευτικής στρώσης.

iii. Συνήθως για την υδρομαστευτική στρώση επιλέγεται τύπος γεωυφάσματος (GEOTEXTILE), από αυτούς που κυκλοφορούν στο εμπόριο και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 1.

Ο Ανάδοχος πριν προβεί σε εισκόμιση των υλικών της υδρομαστευτικής στρώσης θα πρέπει να υποβάλει:

- i. Πίνακα χαρακτηριστικών, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα.
- ii. Δείγματα του υλικού της υδρομαστευτικής στρώσης.
- iii. Πιστοποιητικά ελέγχου από έγκυρο εργαστήριο, ελληνικό ή αλλοδαπό.

Η Υπηρεσία, κατά την πρώτη εισκόμιση του υλικού, λαμβάνει δείγματα και τα αποστέλλει για έλεγχο και επιβεβαίωση των ιδιοτήτων τους σε εργαστήριο, της έγκρισής της, με δαπάνη του Αναδόχου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ
(ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ)

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΜΟΝΑΔΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Αναλλοίωτο		-	Απεριόριστα
Μη διαλυτότητα σε οποιοδήποτε είδος υπογείων νερών		-	Απόλυτα
Μη βλαπτικότητα σε πόσιμο νερό		-	Ουδέτερο
Ευφλεκτικότητα		-	Δύσκολη
Διαπερατότητα κάθετα προς την επιφάνεια της στρώσης (ροή υπό πίεση στήλης νερού 10 m)		lt/sec/m ²	≥ 60
Συντελεστής διαπερατότητας κάθετα και παράλληλα προς την επιφάνεια στρώσης υπό κάθετη πίεση 2 kPa		cm/sec	≥ 10 ⁻¹
Βάρος /μονάδα επιφάνειας	DIN 53854	gr/m ²	≥ 500
Ανεκτή διαφορά από το ονομαστικό βάρος ανά μονάδα επιφάνειας		%	≤ 10
Ελάχιστο πάχος	DIN 53855	mm	≥ 2
Ανεκτή διαφορά από το ονομαστικό πάχος		%	≤ 10
Αντοχή σε εφελκυσμό κατά τη διαμήκη, εγκάρσια και διαγώνια έννοια	DIN 53857*	kN/m	≥ 16
Επιμήκυνση ρηγμάτωσης κατά τη διαμήκη, εγκάρσια και διαγώνια έννοια	DIN 53857*	%	≥ 60
Αντοχή σε διάτρηση	ASTMD.4883	N	≥ 550

* (ή ισοδύναμο ASTM)

Σημείωση : Ο προμηθευτής και το υλικό πρέπει να διαθέτουν υποχρεωτικά Πιστοποιητικό Ποιότητας κατά ISO 9000

Στεγανωτική Μεμβράνη

Η στεγανωτική μεμβράνη, η οποία εξασφαλίζει την πλήρη στεγάνωση της διατομής χρήσης της σήραγγας, συνήθως είναι από πολυβινύλιο, πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο και διατίθεται στο εμπόριο σε φύλλα τυποποιημένων διαστάσεων. Η ένωση των πλαστικών φύλλων, μεταξύ τους, γίνεται με θερμοσυγκόλληση και η στερέωση τους στο γεώφασμα γίνεται μέσω ειδικών καρφιών με κυκλικούς δίσκους (ροδέλες), από το ίδιο πλαστικό υλικό.

Λεπτομέρειες για τον τρόπο στερέωσης και συγκόλλησης της μεμβράνης δίνονται στις παρακάτω παραγράφους της παρούσας προδιαγραφής. Οι επιθυμητές ιδιότητες της στεγανωτικής μεμβράνης δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 2.

Σημειώνεται ότι οι μονωτικές μεμβράνες πρέπει να αντιστέκονται στην καταστροφή από πυρκαγιά και ειδικότερα πρέπει:

- i. Να μην είναι εύφλεκτες.
- ii. Όταν καίγονται να μην δημιουργούν καπνό και οι απελευθερωμένες ουσίες και τα τυχόν τοξικά αέρια θα πρέπει να είναι αποδεκτά από τις συνθήκες κατασκευής του έργου.
- iii. Να μην ρευστοποιούνται στις υψηλές θερμοκρασίες.

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής θα πρέπει :

- Ø Να μη γίνονται εργασίες με φλόγα στις περιοχές στις οποίες είναι ακάλυπτα τα μονωτικά υλικά.
- Ø Να υπάρχουν κατάλληλες εγκαταστάσεις πυρασφάλειας.
- Ø Να περιορίζεται το μήκος των τμημάτων της σήραγγας, στο οποίο γίνονται εργασίες μόνωσης και όπου υπάρχουν υλικά μόνωσης εκτεθειμένα σε κινδύνους πυρκαγιάς.
- Ø Να υπάρχουν αρκετοί δρόμοι φυγής από τα εκτεθειμένα τμήματα.

Πριν από την εισκόμιση των υλικών της στεγανωτικής μεμβράνης, ο Ανάδοχος θα πρέπει να υποβάλει για έγκριση στην Υπηρεσία:

- Πίνακα χαρακτηριστικών της μεμβράνης, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα.
- Δείγματα της μεμβράνης και των ειδικών τεμαχίων που θα χρησιμοποιηθούν (στερέωσης, συνδέσεων κλπ.).
- Πρόσφατα πιστοποιητικά ελέγχου από έγκυρο εργαστήριο.



ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΕΓΑΝΩΤΙΚΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

<u>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</u>	<u>ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ</u>	<u>ΜΟΝΑΔΑ</u>	<u>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</u>
Πάχος	DIN 53370:1976-02 ^{*1}	mm	≥2
Αντοχή σε θραύση (διαμήκης και εγκάρσια)	EN ISO 527-1:1996 ^{*2}	MN/m ² N/mm ²	≥15
Επιμήκυνση σε θραύση (διαμήκης και εγκάρσια)	EN ISO 527-1:1996 [*]	%	≥300
Απομένουσα αντοχή θραύσης	EN ISO 527-1:1996 [*]	N/mm	≥50
Θλιπτική τάση για 20% παραμόρφωση	EN ISO 527-1:1996 ^{*3}	MN/m ² N/mm ²	≥20
Πλαστική παραμένουσα παραμόρφωση μετά από 20% θλιπτική παραμόρφωση		%	≤5
Αντοχή θλίψης σε χάραξη	EN ISO 527-1:1996 [*]	MN/m ² N/mm ²	≥10
Μέτρο ελαστικότητας	ASTM D882-02 ⁵	MN/m ²	≥120
Αντίσταση σε	BS 6906-2:1989-01-31 ⁶		Ουδεμία διάτρηση

Συστήματα Στεγάνωσης Σιδηροδρομικών Σηράγγων

διάτρηση για ύψος Πτώσης 750mm	ASTM D1922-03a ⁷	-	
Υδροαπορροφητικότητα	ISO 8361-1:1991 ^{*8}	%	≤2
Αντοχή σε σχίσιμο	ASTM D1922-03α	KN/m	≥30
Αντοχή σε διάδοση σχισίματος	DIN 53363:2003-10 ^{*9}	N	≥250
Αντοχή σε κρούση	ASTM D1709-04 ¹⁰	KN/m	≥150
Συρρίκνωση	DIN 16729:1984-09 ^{*11}	%	≤2
Αντοχή σε θραύση από υδροστατική πίεση	ASTM D751-00e1 ¹²	bars	≥10
Ποιότητα κατά την διάρκεια και μετά την φύλαξη σε 80 °C [μη ρυγμάτωση (διαμήκεις και εγκάρσια) σε χαμηλές θερμοκρασίες]	DIN 16729:1984-09*	°C	-20
Ανθεκτικότητα σε όξινα και αλκαλικά εδάφη	DIN 16729:1984-09*	%	Ανεπηρέαστη
Συμπεριφορά των αρμών συγκόλλησης (πίεση αέρα μέχρι 0,5 bar, εφαρμοζόμενη τουλάχιστον για 10 min)	ASTM D4885-01 ¹³	-	Ουδεμία Διαφυγή
Αποβολή πτητικών	ASTM D4885-01	%	≤1
Σκληρότητα		SHORE	≥75

* (ή ισοδύναμο ASTM)

Σημείωση: ο προμηθευτής και το υλικό πρέπει να διαθέτουν υποχρεωτικά πιστοποιητικό ποιοτικού ελέγχου κατά ISO 9000 και θα έχουν σήμανση CE.

- i. DIN 53370:1976-02, testing of plastic films; determination of thickness by mechanical feeling
- ii. EN ISO 527-1:1996, plastics-determination of tensile properties-part 1: general principles (ISO 527-1:1993 including corr 1:1994). — πλαστικά. Προσδιορισμός εφελκιστικών ιδιοτήτων. Μέρος 1: Γενικές αρχές.
- iii. EN ISO 527-1:1996, plastics-determination of tensile properties-part 1: general principles (ISO 527-1:1993 including corr 1:1994). — πλαστικά. Προσδιορισμός εφελκιστικών ιδιοτήτων. Μέρος 1: Γενικές αρχές.
- iv. ASTM D1204-02, standard test method for linear dimensional changes of nonrigid thermoplastic sheeting or film at elevated temperature – πρότυπη δοκιμή προσδιορισμού γραμμικής διαστολής εύκαμπτων θερμοπλαστικών. Δοκιμές μεμβρανών ή υμένων σε υψηλές θερμοκρασίες.
- v. ASTM D882-02, standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting—πρότυπη δοκιμή εφελκιστικής αντοχής λεπτών πλαστικών μεμβρανών.
- vi. BS 9606-2:1989-01-31, method of test for geotextiles-determination of the apparent pore size distribution by dry sieving—μέθοδοι δοκιμής γεωφασμάτων. Προσδιορισμός της κατανομής των πόρων κατά μέγεθος με την μέθοδο του κοσκινίσματος σε ξηρή κατάσταση.
- vii. ASTM D1922-03 a, standard test method for propagation tear resistance of plastic film and thin sheating by pendulum method-πρότυπη δοκιμή προσδιορισμού της αντίστασης μετάδοσης σχισίματος πλαστικών υμένων και λεπτών φύλλων με την μέθοδο του εκκρεμούς.

- viii. ISO 8361-1:1991, thermoplastics pipes and fittings- water absorptions—part 1 general test method—θερμοπλαστικοί σωλήνες και εξαρτήματα. Απορρόφηση νερού μέρος 1 :γενική δοκιμή.
- ix. DIN 53363:2003-10 testing of plastic films- tear test using trapezoidal test specimen with incision—δοκιμές πλαστικών μεμβρανών. Δοκιμή απόσχισης επί τραπεζοειδούς σχήματος δοκιμίου με εγχάραξη.
- x. ASTM D1709-04 standard test method for impact resistance of plastic film by the free falling dart method—πρότυπη δοκιμή προσδιορισμού της αντοχής πλαστικών μεμβρανών σε κρούση με την μέθοδο του πίπτοντος βέλους.
- xi. DIN 16729:1984-09ethylene copolymer bitumen (ECB) plastic roofing sheeting and plastic sealing sheeting; requirements—φύλλα ασφαλικού αιθυλενικού συμπολιμερούς επιστέγασης και στεγάνωσης.
- xii. ASTM D751-00e1 standard test methods for coated fabrics – πρότυπη δοκιμή επενδεδυμένων υφασμάτων.
- xiii. ASTM D4885-01 standard test method for determining performance strength of geomembranes by the wide strip tensile method – πρότυπη δοκιμή προσδιορισμού λειτουργικής αντοχής γεωμεμβρανών με την μέθοδο εφελκυσμού ευρείας λωρίδας.

ΈΛΕΓΧΟΣ ΝΕΡΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ -

ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Περιοχές Μεγάλης Υδροφορίας - Υδρομάστευση

Στις περιοχές μεγάλης υδροφορίας, τις οποίες θα πρέπει ο ανάδοχος να επισημαίνει κατά τη διάρκεια των εργασιών διάνοιξης, και ύστερα από σχετική εντολή της Υπηρεσίας, θα πρέπει να διαταχθεί σύστημα αποστραγγιστικών οπών. Οι ποσότητες των νερών, που μαζεύονται από τις αποστραγγιστικές οπές, θα συγκεντρώνονται σε ειδικό δίκτυο πλαστικών σωλήνων, καταλλήλων διαμέτρων, και θα οδηγούνται στο διάτρητο αποστραγγιστικό αγωγό ή όπου αλλού αποφασίσει η Υπηρεσία, χωρίς να παραβλάπτεται η στεγανότητα της διατομής χρήσης της σήραγγας. Η τοποθέτηση των πλαστικών σωλήνων θα γίνει ταυτόχρονα με τις εργασίες εκτοξευομένου σκυροδέματος, ώστε οι σωλήνες να ενσωματωθούν στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΩΤΙΚΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

Απαιτήσεις Επιφάνειας Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος

Η ποιότητα της επιφάνειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος συμβάλλει σημαντικά στην καλή λειτουργία του όλου συστήματος της στεγάνωσης, γιατί πάνω σ' αυτή γίνεται η στερέωση του συστήματος.

Το στρώμα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι επιβεβλημένο όχι μόνο να εξασφαλίζει την ευστάθεια της βραχομάζας, αλλά συγχρόνως να καλύπτει όλες τις αιχμές, προεξοχές και κοιλώματά της, καθώς επίσης και τις στερεώσεις ή τα αγκύρια, που χρησιμοποιούνται και μάλιστα με τρόπο, που να εξασφαλίζονται οι εξής προϋποθέσεις:

- i. Επαρκή αντοχή και σταθερότητα.
- ii. Τελική στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος απαραίτητα από λεπτόκοκκο αδρανές υλικό, μέγιστης διαμέτρου έξι (6) mm.

- iii. Σχέση (λόγος) μήκους προς ύψος, στις τοπικές προεξοχές, τουλάχιστον πέντε (5) προς ένα (1), στην περίπτωση ελαστικών μεμβρανών, πάχους μέχρι δύο (2) mm, ενώ για σκληρότερες ή χονδρότερες μεμβράνες χρειάζεται σχέση δέκα (10) προς ένα (1), τουλάχιστον.
- iv. Ακτίνα "στρογγυλευμάτων" τουλάχιστον είκοσι (20) cm.

Στον Ανάδοχο πρέπει να τονιστεί να οργανώσει την κατασκευή της στρώσης του εκτοξευομένου σκυροδέματος σύμφωνα με τα ακόλουθα:

- Να κατασκευάζει το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στο πάχος που απαιτείται για τη στατική λειτουργία της άμεσης υποστήριξης σε πρώτη φάση.
- Αφού σταθεροποιηθεί η βραχομάζα και εκτονωθούν οι τυχόν παραμορφώσεις μετά τη διάνοιξη, να επανέλθει σε δεύτερη φάση και να κατασκευάσει τη δεύτερη στρώση του εκτοξευομένου σκυροδέματος, με διαβάθμιση κόκκων 0 - 6 mm.

Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η αρίστη συνεργασία του γεωφάσματος με την υποκείμενη στρώση του εκτοξευομένου σκυροδέματος.

Πριν την έναρξη της εργασίας για την τοποθέτηση των υλικών υδατοστεγάνωσης, θα γίνεται, τμηματικά, η παραλαβή της επιφάνειας του εκτοξευομένου σκυροδέματος από την Επίβλεψη, μαζί με τον έλεγχο για τις ελάχιστες διαστάσεις της διατομής. Σε όσα σημεία υποδεικνύει η Υπηρεσία, ο Ανάδοχος υποχρεούται να βελτιώσει την επιφάνεια του εκτοξευομένου σκυροδέματος, εάν αυτή δεν κριθεί ικανοποιητική.

Στερέωση Γεωφάσματος

Η στεγάνωση του θόλου γίνεται, για τεχνικούς λόγους, ακτινικά προς τον άξονα της σήραγγας και απολήγει στη σύνδεση με τον αποστραγγιστικό σωλήνα, στη βάση της διατομής.

Είναι αυτονόητο ότι το γεωφάσμα πρέπει να στηρίζεται σταθερά πάνω στα τοιχώματα της σήραγγας. Ο αριθμός των σημείων στήριξης πρέπει να περιορίζεται, όσο είναι δυνατό περισσότερο, ώστε το "σεντόνι" στεγάνωσης να "απλώνεται", πάνω στα τοιχώματα της σήραγγας, ελεύθερο τάσεων, όσο είναι δυνατό, κατά την εφαρμογή της καταπόνησης από την εσωτερική σκυροδέτηση. Μεταξύ των λωρίδων του γεωφάσματος δεν πρέπει να μένει ακάλυπτη επιφάνεια εκτοξευομένου σκυροδέματος, αλλά πρέπει να επικαλύπτεται κατά 20-30 cm.

Εξ άλλου, η ανώμαλη επιφάνεια, που προκύπτει από τις ανατινάξεις, συνεπάγεται την ανάγκη στήριξης στα βαθύτερα σημεία, ώστε να εξασφαλίζεται ύπαρξη επαρκούς υλικού και να αποκλείεται η δημιουργία κοιλωμάτων.

Μετά την εκτέλεση διαφόρων πειραματικών εφαρμογών, έχει αποδειχθεί ότι το πιο αποτελεσματικό σύστημα στερέωσης είναι το εξής:

- Το γεωφάσμα (πλάτους 2 έως 4 m) στερεώνεται πάνω στην επιφάνεια του εκτοξευομένου σκυροδέματος με τη χρήση ταινιών ή δίσκων (ροδελών) από συνθετική ύλη, οι οποίες καρφώνονται, πάνω στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, με χαλύβδινο καρφί. Πάνω σ' αυτές τις ροδέλες στερεώνεται, με θερμοκόλληση, η μονωτική μεμβράνη.



- Οι ροδέλες στερέωσης πρέπει να παρουσιάζουν εσοχή τεσσάρων (4) mm βάθους, για την υποδοχή της κεφαλής του καρφιού, και διάμετρο ή εύρος κατ' ελάχιστο ογδόντα (80) mm.
- Κάτω από τις ροδέλες της συνθετικής ύλης και από την κεφαλή του καρφιού, προβλέπεται η τοποθέτηση μεταλλικής ροδέλας, με ελάχιστη διάμετρο είκοσι (20) mm και ελάχιστο πάχος ένα (1) mm, έτσι ώστε κατά το χτύπημα των καρφιών να μην παρουσιάζεται "σταμπάρισμα".



Γενικά, σε περιπτώσεις ομοιόμορφων εκσκαφών βράχου, τρία σημεία στερέωσης, κατά μέσο όρο, ανά τετραγωνικό μέτρο επαρκούν. Σε περιπτώσεις, πάντως, εκτεταμένων ανωμαλιών στις εκσκαφές, ιδίως στην περιοχή της οροφής της σήραγγας, καθίσταται αναγκαία η χρήση μεγαλύτερου αριθμού σημείων στήριξης.

Ο αριθμός των σημείων στερέωσης πρέπει να ανέρχεται, κατ' ελάχιστο, σε :

- Ένα (1) τεμάχιο ανά m^2 στην περιοχή του δαπέδου.
- Δύο (2) τεμάχια ανά m^2 στην περιοχή των παρειών.
- Τρία (3) τεμάχια ανά m^2 στην περιοχή της οροφής.

Συγκόλληση των Στεγανωτικών Μembranών

Οι λωρίδες της μεμβράνης αλληλεπικαλύπτονται υποχρεωτικά, για τη συγκόλληση μεταξύ τους κατά απόλυτα στεγανό τρόπο. Η συγκόλληση γίνεται με τη μέθοδο του θερμού πυρήνα (hot air double welding)

Το ελάχιστο πλάτος της επικάλυψης εξαρτάται από τον τρόπο εργασίας του Αναδόχου και θα εγκριθεί από την Υπηρεσία, αφού υποβάλλει ο

Ανάδοχος τα απαραίτητα στοιχεία. Σημειώνεται ότι η συνήθης επικάλυψης φύλλων ανέρχεται σε 13-15 cm.

Η θερμοκόλληση της μεμβράνης γίνεται στην επιφάνεια των δίσκων. Έτσι σε μία αύξηση των φορτίων της βραχομάζας (π.χ. λόγω δυναμικής καταπόνησης) η μεμβράνη απλά θα αποκολληθεί από κάποιους δίσκους, χωρίς να σκιστεί.

Η ποιότητα της συγκόλλησης των ραφών προκύπτει σαν συνισταμένη της σωστής θερμοκρασίας συγκόλλησης και της κατάλληλης μηχανικής πίεσης, που ασκείται πάνω στη θέση τοπικής τήξης του υλικού των μεμβρανών στο σημείο της συγκόλλησης. Η ραφή θα είναι υποχρεωτικά διπλή, για λόγους ασφαλείας της στεγάνωσης και για να είναι δυνατός ο έλεγχος της στεγανότητάς της.

Σήμερα χρησιμοποιούνται αυτόματες μηχανές συγκόλλησης δι' επαφής με μεταλλικό θερμαντικό στοιχείο. Οι αυτόματες αυτές μηχανές διαθέτουν ειδικό σύστημα, με μόνιμη διάταξη αντιστήριξης, που κινείται με χωριστό μικροκινητήρα. Σαν αποτέλεσμα αυτού, η συγκόλληση είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι υπόβαθρου στήριξης των μεμβρανών.



Η ταχύτητα της συσκευής ρυθμίζεται σύμφωνα με την απαιτούμενη θερμοκρασία και μάλιστα με δυνατότητα συνεχούς διαβάθμισης (ηλεκτρονική ρύθμιση) και κατά συνέπεια στο χειριστή απομένει απλώς να καθοδηγεί τη συσκευή και να επιμελείται για τη διατήρηση επαρκούς επικάλυψης και για την ακινητοποίηση του μηχανήματος, σε περίπτωση

κάποιας ανωμαλίας. Η συγκολλητική ραφή, με το παραπάνω μηχάνημα, δύναται να αρχίσει είτε από το ένα είτε από το άλλο άκρο της μεμβράνης στο μήκος της και, σε γενική περίπτωση, συνεχίζεται "μια και έξω", δηλαδή σε μια διαρκή φάση, μέχρι το άλλο άκρο.

Το θερμαντικό στοιχείο έχει εσοχή, πλάτους δέκα (10) mm περίπου στο κέντρο, ώστε να δημιουργείται μια γεωμετρική, εκ των προτέρων προσδιορισμένη, διακοπή της συνεχούς ραφής στο σημείο αυτό. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται, καθ' όλο το μήκος της ραφής, ένα "αυλάκι" ενώ η ραφή καθίσταται διπλή.

Το ολικό πλάτος της διπλής ραφής πρέπει να είναι τριάντα (30) mm, εφ' όσον χρησιμοποιείται αυτόματη μηχανή, ή σαράντα (40) mm, προκειμένου για χρήση μονάδων θερμού αέρα.

Το αυλάκι, μεταξύ των δυο ραφών, χρησιμεύει στη συνέχεια στον έλεγχο της στεγανότητας και της μηχανικής αντοχής της ραφής με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα, που πρεσάρεται μέσα σ' αυτό υπό πίεση διακοσίων (200) kPa επί δέκα (10) λεπτά της ώρας. Πριν από τον έλεγχο πρέπει κανείς να βεβαιωθεί ότι οι ραφές έχουν κρυώσει επαρκώς. Στην πράξη, οι ραφές ελέγχονται όλες μαζί, προς το τέλος κάθε βάρδιας εργασίας.

Σκαλωσιές

Η όλη εκτέλεση της στεγάνωσης, όπως περιγράφηκε ήδη, πραγματοποιείται με τη βοήθεια κινητού φορείου (σκαλωσιάς).

Η διάταξη του φορείου αυτού είναι τέτοια, ώστε να μην παρεμποδίζεται η ροή των άλλων εργασιών, που γίνονται στην σήραγγα. Ο κατάλληλος σχεδιασμός του φορείου είναι ουσιαστικής σημασίας για την επίτευξη ικανοποιητικού ρυθμού εργασίας.

Η ασφάλεια στον χώρο της εργασίας επιβάλλει, εξ άλλου, συνεχή και επαρκή φωτισμό.



ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Κατασκευαστικοί αρμοί

Οι κατασκευαστικοί αρμοί στην εσωτερική επένδυση με σκυρόδεμα αντιπροσωπεύουν μια επικίνδυνη περιοχή στην όλη στεγάνωση. Συνήθως στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται μεγαλύτερες διατμητικές τάσεις πάνω στις μεμβράνες. Εξ άλλου δημιουργούνται κίνδυνοι και κατά την φάση της τοποθέτησης και εφαρμογής του σιδηρού καλουπιού της σκυροδέτησης. Γι' αυτόν τον λόγο χρειάζεται πρόσθετη εξασφάλιση της στεγανωτικής μεμβράνης στη θέση των κατασκευαστικών αρμών, που επιτυγχάνεται με επικόλληση πρόσθετης προστατευτικής λωρίδας από το ίδιο υλικό πλάτους 50 cm, που τοποθετείται πάνω στην κυρίως ραφή, περιφερειακά και συγκολλάται με χειροκίνητη μηχανή.



Στεγάνωση μετώπων εισόδου

Η σύνδεση των στεγανωτικών κατασκευών εντός της σήραγγας με αυτές των εισόδων γίνεται σε περιοχή ευαίσθητη σε καθιζήσεις και γι' αυτό θα πρέπει να διαμορφωθεί ιδιαίτερα. Κατά κανόνα οι κατασκευές εισόδου διαμορφώνονται μετά την ολοκλήρωση της εσωτερικής επένδυσης με

σκυρόδεμα και κατά συνέπεια στο χρόνο που μεσολαβεί θα πρέπει να προστατεύεται η στεγάνωση με βοηθητικά μέσα.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της εισόδου, απομακρύνεται η βοηθητική στερέωση και σφραγίζεται ο αρμός. Η είσοδος που κατασκευάζεται με ανοικτή μέθοδο στεγανώνεται αφού περιληφθεί η μεμβράνη μεταξύ δύο γεωφασμάτων προστασίας. Εάν αργότερα επικαλυφθεί με κονίαμα τότε συνίσταται προστατευτική επικάλυψη με σκυρόδεμα πάχους τουλάχιστον 5 cm.

Η τελική στερέωση της στεγανωτικής μεμβράνης περιμετρικά της εισόδου πραγματοποιείται μηχανικά με κατάλληλη λάμα ή με συγκόλληση σε ειδικά προφίλ ενσωματούμενα στο σκυρόδεμα κατά την έγχυση.

Διελύσεις στοιχείων διαμέσου της μεμβράνης

Διαπεράσεις διαφόρων στοιχείων (σωλήνων κλπ.) αντιμετωπίζονται βασικώς με κατασκευές φλαντζών (συνδυασμός τρελής-σταθερής). Η στρώση προστασίας (γεωφάσμα) δεν πρέπει να παρεμβληθεί μεταξύ των φλαντζών. Η μεμβράνη στεγάνωσης συσφίγγεται μεταξύ δύο στρώσεων NEOPREN 5 mm πάχους.

Οι διαστάσεις των φλαντζών, ανάλογα με τις επιδράσεις (νερό υπό πίεση ή όχι) πρέπει να κατασκευάζονται, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή της μεμβράνης και τα σχετικά σχέδια εφαρμογής.

Γενικές συνθήκες εργοταξίου

Είναι γνωστό ότι κατά την κατασκευή της σήραγγας επικρατούν δύσκολες συνθήκες και τα απρόοπτα επηρεάζουν ουσιαδώς τις κατασκευαστικές εργασίες. Σαν αποτέλεσμα αυτού είναι ότι οι εργασίες στεγάνωσης εξαρτώνται κυρίως από το κατά πόσον υπάρχουν οι εξειδικευμένες γνώσεις αντιμετώπισης των αντίξοων καταστάσεων από όλους τους συμμετέχοντες του έργου.

Είναι προτιμότερο οι εργασίες στεγάνωσης να αρχίζουν μόνο αφού η σήραγγα έχει πλήρως διανοιχτεί. Στην περίπτωση που τούτο δεν είναι εφικτό προκύπτουν ουσιώδεις δυσκολίες για τη μεταφορά των υλικών, απαιτούνται ενισχυμένα μέτρα ασφάλειας και επίσης πρέπει οι εργασίες να διακόπτονται κατά τις ανατινάξεις.

Το μέτωπο της στεγάνωσης πρέπει να απέχει τουλάχιστον 200 m από το μέτωπο της σήραγγας ώστε να αποφεύγονται παρενοχλήσεις και να εξασφαλίζεται ομαλή εξέλιξη των εργασιών.

Ο αγωγός αερισμού στην οροφή μπορεί να αποδειχθεί σοβαρό εμπόδιο. Γι' αυτό συνιστάται να διατίθεται στο φορείο εργασίας ένας εναλλάξιμος εύκαμπτος αγωγός που να μπορεί να προσαρμοσθεί στον κυρίως αγωγό ώστε η συγκόλληση των ραφών των μεμβρανών να μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς διακοπές.

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Απαιτήσεις υλικών

Επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται μόνο κατάλληλα υλικά στεγάνωσης. Αυτά πρέπει έναντι του νερού της βραχομάζας να είναι διαρκούς σταθερότητας και δεν επιτρέπεται να απολεσθεί η προστατευτική τους ικανότητα λόγω αναμενόμενων μετακινήσεων ή τμημάτων της κατασκευής από συστολές, αλλαγές θερμοκρασίας και καθιζήσεις.

Συμβατές ιδιότητες των υλικών

Όλα τα στεγανοποιητικά υλικά πρέπει να είναι συμβατά μεταξύ τους όπως επίσης και με όλα τα άλλα γειτονικά υλικά κατασκευής κύρια και βοηθητικά και πρέπει να συμπεριφέρονται ομοιόμορφα απέναντι στις εξωτερικές επιδράσεις και να έχουν την ανάλογη αντοχή σε διάρκεια ζωής έναντι του χρόνου ζωής του έργου. Δεν επιτρέπεται να υφίσταται καμιά δυσμενής αλληλεπίδραση μεταξύ των υλικών κατασκευής ενός και του αυτού φορέα.

Δοκιμές - Έλεγχος των υλικών

Για όλα τα χρησιμοποιούμενα υλικά στεγάνωσης πρέπει να γίνει μια αρχική εξέταση σε ένα αναγνωρισμένο υπηρεσιακό εργαστήριο δοκιμής υλικών ή σε αναγνωρισμένο ιδιωτικό εργαστήριο, ελληνικό ή ξένο ώστε να αποδεικνύεται η τήρηση των ελάχιστων μηχανικών ιδιοτήτων. Σημειώνεται ότι ο προμηθευτής και τα υλικά θα πρέπει να διαθέτουν υποχρεωτικά πιστοποιητικό ποιοτικού ελέγχου κατά ISO 9000.

Παραλαβή Εργοταξιακών Ενώσεων (ραφών) Μονωτικής Μembrάνης

Όλες οι ραφές της χαλαρά τοποθετημένης μονωτικής μεμβράνης πρέπει να υποβληθούν σε μια (συνεχή) δοκιμή στεγανότητας.

Η πίεση της δοκιμής του πεπιεσμένου αέρα της δοκιμής δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2,5 bar. Η διάρκεια της δοκιμής πρέπει κατ' ελάχιστον να ανέρχεται στα 10 λεπτά και κατά μέγιστο στα 30 λεπτά.

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να μειώνονται τα μήκη των ενώσεων (ραφών) που δοκιμάζονται.

Οι δοκιμές των ραφών της χαλαρής μονωτικής μεμβράνης πρέπει να εκτελούνται παρουσία εκπροσώπου του Αναδόχου και της Υπηρεσίας Επίβλεψης.



Επίσης θα πρέπει να τηρηθεί Πρωτόκολλο Δοκιμών, το οποίο, κατ' ελάχιστο, θα περιέχει τις παρακάτω ενδείξεις:

- i. Έργο
- ii. Θέση
- iii. Ανάδοχος
- iv. Υπεργολάβος στεγάνωσης αν υπάρχει
- v. Μέθοδος δοκιμής
- vi. Αποτέλεσμα δοκιμής, σχόλια, κρίσεις
- vii. Γενική κατάσταση της στεγάνωσης
- viii. Θερμοκρασία κατά την τοποθέτηση
- ix. Υπογραφή του Αναδόχου
- x. Υπογραφή του Υπεργολάβου στεγάνωσης
- xi. Υπογραφή της Υπηρεσίας

Εκτέλεση και παραλαβή εργασιών στεγάνωσης

Συνιστάται την εκτέλεση εργασιών στεγάνωσης στις σήραγγες να εκτελεί ικανό και εκπαιδευμένο προσωπικό που να έχει εκτελέσει με επιτυχία παρόμοιες εργασίες.

Είναι δυνατόν οι εργασίες στεγάνωσης να εκτελεστούν από συνεργείο του Αναδόχου που θα εκπαιδευθεί κατάλληλα από τεχνικούς του οίκου που προμηθεύει τα υλικά, τουλάχιστον για χρονικό διάστημα δύο μηνών, εφόσον τούτο κριθεί επαρκές από την Υπηρεσία Επίβλεψης.

Η παραλαβή της υδρομαστευτικής στρώσης (γεωύφασμα) και της μονωτικής μεμβράνης, οι οποίες μαζί αποτελούν τον στεγανοποιητικό φορέα, γίνεται με τη σύνταξη ιδιαίτερου πρωτοκόλλου παραλαβής, όπου πρέπει να επιβεβαιώνεται ότι ο στεγανοποιητικός φορέας εκπληρώνει τις απαιτήσεις που προβλέπει η τεχνική της στεγάνωσης και αναφέρονται στις παρούσες προδιαγραφές.

Επιμέτρηση - Πληρωμή

Εργασίες με "Τιμές Μονάδας"

Η εργασία θα επιμετράται και θα πληρώνεται αντίστοιχα με τα τετραγωνικά μέτρα τελειωμένης υδατοστεγανωμένης επιφάνειας σήραγγας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και η οποία εγκρίθηκε ως αποδεκτή και απαραίτητη από την Υπηρεσία.

Διευκρινίζεται ότι η τιμή μονάδας αφορά πλήρως περαιωμένη εργασία (προμήθεια και μεταφορά επί τόπου στο έργο των υλικών, όλες οι απαραίτητες εργασίες για την τοποθέτηση τους, καθυστερήσεις, φθορές κλπ.) και σημειώνονται ενδεικτικά τα παρακάτω που είναι ανοιγμένα σ' αυτή:

- i. Μικροϋλικά και εργασία στήριξης.
- ii. Σκαλωσιές και επίπεδα εργασίας.
- iii. Ειδικός εξοπλισμός και ειδικευμένο προσωπικό.
- iv. Έλεγχος στις ραφές (μέσα, προσωπικό, σύνταξη δελτίων).
- v. Διέλευση σωλήνων (ειδικά υλικά, εργασία).
- vi. Στεγάνωση σε ειδικά σημεία όπως φωλεές, πάρκινγκ, είσοδοι.
- vii. Καθυστέρηση στις άλλες εργασίες.

Με την τιμή των αντίστοιχων άρθρων του τιμολογίου που αναφέρονται στην εργασία αυτή θα αποζημιώνεται το τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας σήραγγας στο οποίο τοποθετείται υδρομαστευτική στρώση (GEOTEXTILE ή ανάλογου τύπου) και το τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας σήραγγας στο οποίο τοποθετείται πλήρης στεγανωτική μεμβράνη.

Ως προς τον τρόπο επιμέτρησης της εργασίας διευκρινίζονται τα παρακάτω:

- Η ποσότητα που χρησιμοποιείται για επικάλυψη των φύλλων μεταξύ τους και για τις προστατευτικές λωρίδες στους κατασκευαστικούς αρμούς είναι ανηγμένη στο τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας σήραγγας και δεν επιμετράται χωριστά.
- Η φθορά ή η απώλεια υλικού όπως και η χρησιμοποίηση μεγαλύτερης ποσότητας λόγω υπερεκσκαφής δεν επιμετρώνται.

- Οι επιφάνειες της σήραγγας που θα καλυφθούν με διπλό γεωύφασμα κατόπιν εντολής της Υπηρεσίας, επιμετρώνται δύο φορές.

Εργασίες με "Συνοπτικές Τιμές Μονάδας"

Στην περίπτωση αυτή, όταν η τελειωμένη υδατοστεγανωμένη επιφάνεια της σήραγγας χρησιμοποιείται για εργασία που περιλαμβάνεται σε "Συνοπτική Τιμή Μονάδας", τότε η πλήρης δαπάνη αυτής, που θα επιμετράτε σύμφωνα με την παραπάνω παράγραφο θα περιλαμβάνεται ανοιγμένη στην αντίστοιχη "Συνοπτική Τιμή Μονάδας" του Τιμολογίου Προσφοράς του Αναδόχου, που θα περιλαμβάνει και ποσοστιαία κατανομή αυτής σε επί μέρους εργασίες, σύμφωνα με τους όρους δημοπράτησης.

ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ - ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ

Γενικά

- Η στράγγιση και η στεγάνωση των διατομών της σήραγγας εκτελείται σύμφωνα με την παρούσα προδιαγραφή.
- Η στεγάνωση αυτή αποβλέπει στα ακόλουθα αποτελέσματα:
 - i. Απαλλαγή της τελικής επένδυσης της σήραγγας από υδροστατικό φορτίο.
 - ii. Περιορισμό της υγρασίας μέσα στη σήραγγα, πράγμα που θα ενοχλούσε την ορθή λειτουργία της.
 - iii. Αποφυγή ροών ύδατος, που θα επέτρεπαν αποπλύσεις και θα ευνοούσαν διαβρώσεις.
 - iv. Εξασφάλιση καθοδηγημένης απαγωγής όλων των εμφανίσεων νερών μέσω του συστήματος στράγγισης.
- Το σύστημα στράγγισης και στεγάνωσης της σήραγγας αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- i. Εργασίες υδρομάστευσης, δηλαδή κατασκευή αποστραγγιστικών οπών και δικτύου σωλήνων απαγωγής τους προς τον κεντρικό αποδέκτη, όπου παρατηρείται συγκεντρωμένη ροή ύδατος.
- ii. Υδρομαστευτική στρώση, που αποτελείται από γεωϋφασμα.
- iii. Στεγανωτική στρώση, που αποτελείται από μεμβράνη.
- iv. Δίκτυο διάτρητων αποστραγγιστικών αγωγών, φρεατίων, φωλεών καθαρισμού, κλπ. και τυχόν αρμών αποστράγγισης.

Εργασίες Υδρομάστευσης (όπου απαιτείται)

Οι εργασίες της υδρομάστευσης αρχίζουν αφού έχουν προηγηθεί ορισμένες εργασίες άμεσης υποστήριξης (ηλώσεις - αγκυρώσεις, πλαίσια, αρχική στρώση εκτοξευμένου σκυροδέματος), πριν όμως ολοκληρωθεί η διάστρωση του εκτοξευμένου σκυροδέματος.

Ο Ανάδοχος θα κατασκευάσει ριπίδιο στραγγιστικών οπών, διαμέτρου 3" \approx 7,5cm και μήκους 3 έως 6m, η κάθε μία και αριθμού ανάλογου με τις τοπικές συνθήκες. Τα άκρα των οπών αυτών συνδέονται με εύκαμπτους σωλήνες απαγωγής, συνήθως πλαστικούς, που οδηγούν τα νερά στους αποστραγγιστικούς αγωγούς που υπάρχουν στη βάση της διατομής. Οι σωλήνες αυτοί θα στερεωθούν με καρφιά (π.χ. τύπου "HILTI") και θα ενσωματωθούν στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Οι οπές αποστράγγισης είναι δυνατό να γεμίσουν μερικά ή ολικά με διάτρητους σιδηροσωλήνες τυλιγμένους με κομμάτια γεωϋφάσματος, από εκείνο που θα χρησιμοποιηθεί σαν υδρομαστευτική στρώση, κυρίως σε περιοχές ύποπτες μετακινήσεων. Οι σωλήνες αυτοί τοποθετούνται στις περιοχές μεγάλης υδροφορίας και σκοπό έχουν να εξασφαλίσουν την καλύτερη απορροή των νερών και την προστασία των οπών από μικροκαταπτώσεις, που δύνανται να προκαλέσουν έμφραξή τους. Σε περιπτώσεις εξαιρετικής υδροφορίας και όπου δεν υπάρχουν μετακινήσεις, ώστε να απαιτούνται σωλήνες μεγάλης αντοχής, αντί των σωλήνων αυτών

τοποθετούνται ειδικοί σωλήνες από αλουμίνιο ή PVC ή άλλο κατάλληλο υλικό της έγκρισης της Υπηρεσίας, διαμορφωμένοι, από την κατασκευή τους, για να λειτουργούν σαν φίλτρα.

Υδρομαστευτική Στρώση

Η υδρομαστευτική στρώση αποτελείται από γεωύφασμα, το οποίο πληρεί τις ιδιότητες που προβλέπονται από την προδιαγραφή “*Αποστράγγιση και Στεγανοποίηση Σηράγγων*”.

Το γεωύφασμα στερεώνεται πάνω στην εξομαλυμένη επιφάνεια του εκτοξευμένου σκυροδέματος ή γενικότερα στην εξομαλυμένη επιφάνεια της άμεσης υποστήριξης, διατάσσεται ακτινικά πάνω στην επιφάνεια του θόλου και των παρειών της σήραγγας και καταλήγει στο σημείο επαφής των παρειών με τον πυθμένα της σήραγγας. Σε περιοχές μεγάλης υδροφορίας είναι δυνατό η Υπηρεσία να ζητήσει να τοποθετηθεί διπλή στρώση γεωϋφάσματος, ώστε να εξασφαλισθούν καλύτερα οι συνθήκες αποστράγγισης της βραχομάζας και να οδηγηθούν ασφαλώς τα νερά της βραχομάζας προς το κάτω μέρος της παρειάς της σήραγγας, όπου τοποθετείται ο διάτρητος αποστραγγιστικός αγωγός.

Αποστραγγιστικός Αγωγός

Ο αποστραγγιστικός αγωγός πρέπει να περιβάλλεται κατάλληλα από το πέρας του γεωϋφάσματος, ώστε να συλλέγει τα νερά που συγκεντρώνονται πίσω από το γεωϋφασμα, η παρουσία του οποίου εμποδίζει την κίνησή τους προς την τελική επένδυση της διατομής. Ο αποστραγγιστικός αυτός αγωγός έχει κατάλληλη διάμετρο [$D \geq 160\text{mm}$ για συγκοινωνιακές σήραγγες (οδών, σιδ. γραμμών)] ανάλογα με το σύστημα στράγγισης που διαμορφώνεται σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη, είναι από PVC ή από άλλο κατάλληλο υλικό της έγκρισης της Υπηρεσίας, φέρει σχισμές στο άνω τμήμα του και τοποθετείται κολυμβητός μέσα σε πορώδες σκυρόδεμα.

Ο αποστραγγιστικός αγωγός υπολογίζεται να λειτουργεί θεωρητικά με τα 2/3 του ονομαστικού του φορτίου, γι' αυτό και καταλήγει κάθε 50m περίπου σε “φωλεές καθαρισμού”. Οι φωλεές καθαρισμού θα είναι δίδυμες (μία σε κάθε πλευρά της σήραγγας) και θεωρείται ότι η απόσταση των 50m περίπου είναι, πρακτικά, η μεγαλύτερη που επιτρέπει επιτυχή καθαρισμό των αποστραγγιστικών αγωγών $D \geq 160\text{mm}$ των συγκοινωνιακών σηράγγων (οδών, σιδ. γραμμών) με τα συνήθη μέσα που υπάρχουν σήμερα.

Στεγανωτική Μεμβράνη

- Το όλο σύστημα στεγάνωσης και αποστράγγισης ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση της στεγανωτικής μεμβράνης, η οποία αποτελείται από φύλλα τυποποιημένων διαστάσεων, σύμφωνα με την παραγγελία της Αναδόχου προς τον κατασκευαστή των υλικών. Η μεμβράνη ακολουθεί τις διατάξεις της προδιαγραφής, όσον αφορά στα ποιοτικά της χαρακτηριστικά και στον τρόπο τοποθέτησής της. Η στεγανωτική μεμβράνη αποκλείει εντελώς τη διήθηση των νερών μέσα στην τελική επένδυση, εκτρέποντας τα νερά της βραχομάζας προς τον αποστραγγιστικό αγωγό. Δημιουργείται έτσι στο εξωράχιο της τελικής επένδυσης ένας “στεγανός σωλήνας”, που επιτρέπει την ασφαλή συνέχιση των εργασιών της τελική επένδυσης, απαλλαγμένης, όμως, από τα νερά της βραχομάζας και γενικότερα τη λειτουργία της σήραγγας, κάτω από συνθήκες στεγανότητας.

- Η σειρά εργασιών τοποθέτησης των μεμβρανών είναι η ακόλουθη:

- i. Οι στεγανωτικές μεμβράνες στερεώνονται στις ειδικές ροδέλες, που έχουν τοποθετηθεί πάνω στο γεώφασμα, με ειδικές συσκευές αυτογενούς συγκόλλησης. Στα άκρα των φύλλων των στεγανωτικών μεμβρανών δεν πρέπει να υπάρχουν ροδέλες στερέωσης, για να είναι δυνατό να γίνει η συγκόλληση των φύλλων μεταξύ τους.

ii. Η συγκόλληση πραγματοποιείται με αυτόματες συσκευές αυτογενούς συγκόλλησης διπλής ραφής με ενδιάμεσο “κανάλι” ελέγχου, που είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος ελέγχου ευστοχίας ραφής.

- Παρακάτω εφιστάται η προσοχή του Ανάδοχου σε ορισμένα ειδικά σημεία. Βασικά, κατά την κατασκευή της τελικής επένδυσης, αλλά και ύστερα από αυτή, πρέπει να καταβληθεί σοβαρή προσπάθεια για να μην τραυματιστεί η στεγανωτική μεμβράνη, που θα έχει ήδη τοποθετηθεί. Για να επιτευχθεί αυτό λαμβάνονται τα ακόλουθα μέτρα:

i. Για να εκτελεστούν τσιμεντενέσεις επαφής μεταξύ του σκυροδέματος της τελικής επένδυσης και της μονωτικής μεμβράνης, τοποθετούνται ειδικοί σωληνίσκοι, κατά προτίμηση από PVC, κατά τη διάρκεια των εργασιών σκυροδέτησης.

ii. Αν απαιτηθεί η κατασκευή τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης, τότε αυτές γίνονται μέσα από ειδικούς σωλήνες, που διαπερνάνε τη στεγανωτική μεμβράνη και στεγανοποιούν την περιοχή επαφής των σωλήνων με τη μεμβράνη.

iii. Στις θέσεις που τοποθετούνται όργανα για τον έλεγχο της συμπεριφοράς της σήραγγας μετά την σκυροδέτηση (π.χ. πιεζόμετρα), λαμβάνεται ειδική μέριμνα για τη διέλευση των αγωγών, καλωδίων κλπ. μέσα από τη μεμβράνη, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

iv. Στην περίπτωση κατά την οποία πρόκειται να τοποθετηθεί σιδηρούς οπλισμός στην τελική επένδυση της σήραγγας, τότε θα τοποθετούνται ειδικές καβίλιες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΛΙΚΑ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ



ΥΛΙΚΑ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ

Γεωφάσματα

Ιστορική ανασκόπηση

Τα γεωφάσματα όπως είναι γνωστά και χρησιμοποιούνται σήμερα, αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σε πρόβλημα διάβρωσης του εδάφους με στόχο να αποτελέσουν μια εναλλακτική λύση αντί των κοκκωδών εδαφικών φίλτρων. Κατά συνέπεια ο αρχικός και ακόμα μερικές φορές χρησιμοποιούμενος όρος των γεωφασμάτων είναι *υλικά φιλτραρίσματα*. Η αρχική χρήση των γεωφασμάτων εμφανίστηκε πρώτη φορά στα τέλη του 1950 σε λιμενικό έργο προκειμένου να αντιμετωπιστεί η διάβρωση του εδάφους.

Τα γεωσύνθετα προϊόντα χρησιμοποιούνται σε ευρύ πεδίο εφαρμογών, παρέχοντας λύσεις σε προβλήματα αποστραγγίσεων, στεγανοποιήσεων - διαχωρισμού και ενίσχυσης. Η ευκολία που παρέχουν κατά την εφαρμογή τους (τοποθέτηση) στο πεδίο καθώς επίσης οι βελτιωμένες φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες που έχουν σε σχέση με τα κλασικά γεωυλικά, αποτελούν τους παράγοντες εκείνους ώστε πλέον να επιλέγονται και να προτιμώνται στα τεχνικά έργα. Η προτίμηση αυτή οδηγεί σε ανάπτυξη νέων γεωσυνθετικών υλικών εξειδικευμένων για συγκεκριμένα προβλήματα με θεαματικά αποτελέσματα. Τα γεωσυνθετικά υλικά συνδυάζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις των τεχνικών έργων ώστε τα γεωσύνθετα που προκύπτουν να ικανοποιούν τις απαιτήσεις αυτές.

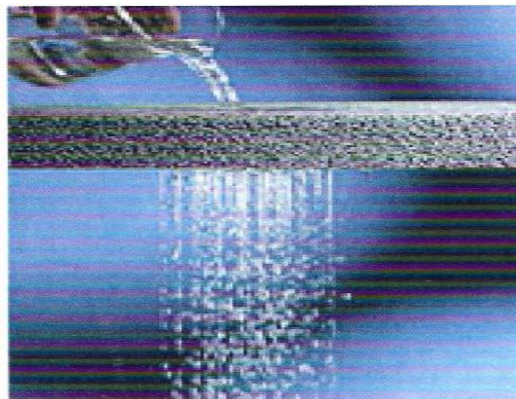
Γενικά

Τα γεωφάσματα αποτελούν τη μεγαλύτερη κατηγορία γεωσυνθετικών, τόσο από άποψη αριθμού των διαθέσιμων στο εμπόριο προϊόντων, όσο και από την άποψη του εύρους των εφαρμογών και του όγκου των πωλήσεων. Ο KOERNER (1994) αναφέρει πάνω από 100 διαφορετικές περιπτώσεις όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωφάσματα, μεταξύ των οποίων και η προστασία γεωμεμβρανών.

Τα γεωφάσματα κατασκευάζονται από ίνες ή νήματα πολυπροπυλενίου, πολυεστέρα, πολυαιθυλενίου, πολυαμιδίου, ή άλλων πολυμερών. Επειδή για την κατασκευή τους δεν χρησιμοποιούνται φυτικές ίνες, τα γεωφάσματα δεν παρουσιάζουν πρόβλημα βιοαποδόμησης. Για τη κατασκευή τους χρησιμοποιούνται κλασικές υφαντουργικές μηχανές και έτσι παράγονται τα λεγόμενα υφασμένα ή πλεκτά γεωφάσματα.

Παράγονται όμως και έχουν μεγαλύτερο όγκο πωλήσεων και προϊόντα με τυχαίο προσανατολισμό των ινών, που ονομάζονται μη υφασμένα βελονοδιάτρητα γεωφάσματα.

Εκτός από τις φυσικές ιδιότητες (πάχος, μάζα ανά μονάδα επιφάνειας) τα γεωφάσματα χαρακτηρίζονται και από ένα ευρύ φάσμα μηχανικών ιδιοτήτων όπως η συμπεριφορά σε εφελκυσμό και οι αντοχές σε κρούση, διάτρηση, διάρρηξη και σχίσιμο. Χαρακτηριστικές όμως αυτής της κατηγορίας γεωσυνθετικών είναι οι υδραυλικές ιδιότητες και ιδίως η υδατοπερατότητα. Τα γεωφάσματα έχουν την ιδιότητα να επιτρέπουν ελεύθερη ροή από τη μια επιφάνειά τους προς την άλλη (κάθετα στο επίπεδό τους) αλλά και στο εσωτερικό τους (παράλληλα προς το επίπεδό τους) όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σε οποιαδήποτε εφαρμογή, τα γεωφάσματα επιτελούν τουλάχιστον μια από τις τέσσερις βασικές λειτουργίες δηλαδή: διαχωρισμό, ενίσχυση-οπλισμό, αποξήρανση, προστασία, φιλτράρισμα ή διήθηση και στράγγιση.



Λειτουργίες γεωφασμάτων

Τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών υποστηρίζοντας συγκεκριμένες λειτουργίες οι βασικότερες των οποίων είναι οι εξής:

i. Διαχωρισμός

Αν και τα Γεωφάσματα είναι διαπερατά το άνοιγμα των πόρων τους διατηρείται αρκετά μικρό έτσι ώστε να δημιουργείται ένας αποτελεσματικός φραγμός μεταξύ των διαφόρων εδαφικών στρώσεων και να αποκλείεται η ανάμιξη τους.



- μεταξύ υπόβασης και βάσης δρόμων
- μεταξύ των υλικών οδοστρωσίας
- μεταξύ των γεωμεμβρανών και των στρωμάτων αποστράγγισης
- μεταξύ του εδάφους θεμελίωσης και των αναχωμάτων
- μεταξύ του εδάφους και των τοίχων αντιστήριξης
- κάτω από τις πλάκες πεζοδρομίων
- κάτω από χώρους στάθμευσης
- κάτω από αθλητικές εγκαταστάσεις
- κάτω από προκατασκευασμένα τμήματα
- μεταξύ των διάφορων ζωνών στα χωμάτινα φράγματα
- μεταξύ παλαιών και νέων στρωμάτων ασφάλτου

ii. Ενίσχυση των εδαφών

- σε μαλακά εδάφη δρόμων
- σε μαλακά εδάφη σιδηρόδρομων
- σε μαλακά εδάφη αθλητικών εγκαταστάσεων
- σε ασταθή υλικά οδοστρωσίας

- για την πλευρική συγκράτηση του έρματος σιδηροδρόμων
- σε χωμάτινα και βραχώδη φράγματα
- στην κατασκευή τοίχων οπλισμένου εδάφους
- για τη προστασία γεωμεμβάνων από τα υποκείμενα ή υπερκείμενα εδαφικά υλικά.

iii. **Αποξήρανση**

- ως αγωγός εξαερισμού σε χωμάτινο φράγμα
- πίσω από τους τοίχους αντιστήριξης
- για παροχέτευση ύδατος κάτω από γεωμεμβράνες
- για παροχέτευση αερίων κάτω από γεωμεμβράνες
- ως αγωγός κάτω από αθλητικές εγκαταστάσεις.

iv. **Προστασία**

Οι εξαιρετικές εφελκυστικές ιδιότητες των γεωφασμάτων συντελούν στην αντίσταση σημαντικών τάσεων που αναπτύσσονται κατά την κατασκευή.

Επίσης, προστατεύουν εύθρυπτα ή ευαίσθητα υλικά από ζημιές και ενισχύουν την κατασκευή.

v. **Διήθηση**

- περιμετρικά σε υπόγειους σωλήνες
- κάτω από υλικά οδοστρωσίας
- για την προστασία των υλικών σε στοές αποστράγγισης
- μεταξύ του χώματος των τοίχων συγκράτησης
- περιμετρικά σε φρεάτια
- ως φίλτρο κάτω από κρηπιδώματα
- ως φίλτρο κάτω από προκατασκευασμένα τμήματα λιμενοβραχιόνων.



vi. **Στράγγιση**

Η δομή των βελονωτών Γεωφασμάτων εξασφαλίζει την ροή διά μέσου της μάζας τους για αποτελεσματική στράγγιση των κατασκευών.



Γεωμεμβράνες

Οι γεωμεμβράνες είναι πρακτικά αδιαπέραστα φύλλα που χρησιμοποιούνται, συνήθως σε συνδυασμό με γεωυλικά, σε μια κατασκευή για τον έλεγχο της κίνησης ρευστών.

Οι γεωμεμβράνες θεωρούνται η δεύτερη μεγάλη σε μέγεθος κατηγορία γεωσυνθετικών, αλλά με βάση το κόστος του όγκου πωλήσεων είναι περίπου ισοδύναμες με τα γεωφάσματα. Ανάλογα με τη μέθοδο της κατασκευής, τα φύλλα είναι μιας ή κι περισσότερων στρώσεων. Ακόμα κατασκευάζονται γεωμεμβράνες ενισχυμένες εσωτερικά με κάναβο από νήματα που χρησιμοποιούνται συχνά για την κατασκευή των γεωφασμάτων.

Η μηχανική συμπεριφορά των γεωμεμβρανών είναι σημαντική για τον σχεδιασμό έργων με γεωμεμβράνες λόγω των μηχανικών καταπονήσεων που υφίστανται τα υλικά αυτά στο πεδίο. Όμως το κύριο χαρακτηριστικό των γεωμεμβρανών είναι η εξαιρετικά χαμηλή διαπερατότητα σε σχέση με την διαπερατότητα συμβατικών υλικών που είναι ανταγωνιστικά των γεωμεμβρανών. Το ανταγωνιστικό υλικό είναι συνήθως η μπετονική άργιλος η οποία έχει κατά προσέγγιση διαπερατότητα της τάξεως των 10^{-8} cm/sec. Αντίθετα, η διαπερατότητα μιας τυπικής γεωμεμβράνης είναι 10^{-11} cm/sec έως 10^{-13} cm/sec. Η βασική αυτή ιδιότητα των γεωμεμβρανών τις καθιστά ιδανικά υλικά για να λειτουργήσουν ως φραγμός στην κίνηση ρευστών ή

αερίων. Έτσι οι πιθανές περιοχές εφαρμογής τους διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

i. Παρεμπόδιση της κίνησης ή της διήθησης νερού ή άλλων ρευστών: η γεωμεμβράνη λειτουργεί σαν φραγμός μεταξύ του νερού και περιβάλλοντος υλικού και ελαχιστοποιεί την μεταφορά νερού από την μια πλευρά της στην άλλη.

ii. Παρεμπόδιση της διάδοσης ρύπων: η γεωμεμβράνη διαχωρίζει δύο υλικά και απαγορεύει οποιαδήποτε ανάμιξή τους.

Αναφέρονται περισσότερες από 30 εφαρμογές έργων πολιτικού μηχανικού όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωμεμβράνες με κυριότερα τα εξής:

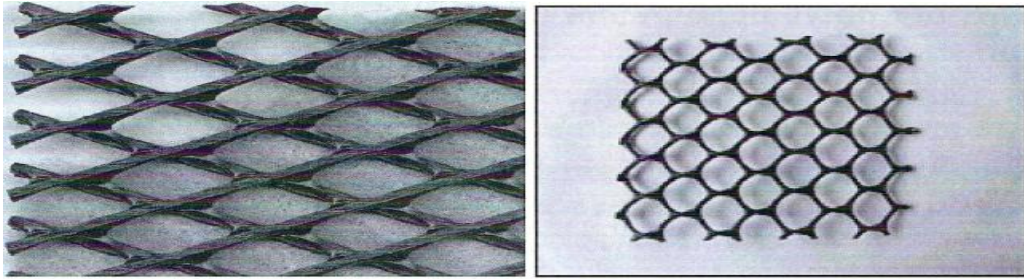
- Λιμνοδεξαμενές για πόσιμο νερό
- Χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων
- Αρδευτικά κανάλια
- Χωμάτινα φράγματα για έλεγχο διήθησης
- Στεγανοποίηση σηράγγων

Γεωπλέγματα

Ιστορική ανασκόπηση

Η κατηγορία των γεωσυνθετικών υλικών που αφορά τα γεωπλέγματα είναι σχετικά πρόσφατη καθώς τα πρώτα γεωπλέγματα κατασκευάστηκαν στην Μεγάλη Βρετανία και μόλις το 1982 εισήλθαν στη αγορά των Η.Π.Α..

Τα γεωπλέγματα είναι επίπεδα πολυμερή τα οποία σχηματίζουν ομοιόμορφα κενά διαφόρων διαστάσεων στο επίπεδο τους και χρησιμοποιούνται σε τεχνικά έργα κατά κανόνα ώστε να ενισχύουν εδαφικά υλικά. Το κύριο χαρακτηριστικό των γεωπλεγμάτων είναι τα σχετικά μεγάλα ανοίγματα τους μεταξύ των διαμηκών και εγκάρσιων πλευρών τους με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η διείσδυση εδαφικού υλικού από την μια πλευρά του γεωπλέγματος στην άλλη όπως φαίνεται στο σχήμα



Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της διατμητικής αντοχής του συστήματος εδαφικού υλικού γεωπλέγματος καθώς τα επιμέρους υλικά λειτουργούν σαν ένα ενιαίο σύνολο. Η βασική του λειτουργία είναι αυτή της ενίσχυσης, όμως σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για διαχωρισμό σε χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά με μεγάλο μέγεθος κόκκων.

Δεδομένης της κύριας χρήσης των γεωπλεγμάτων ως υλικό ενίσχυσης, η κρίσιμη ιδιότητά τους είναι αυτή της αντοχής η οποία προσδιορίζεται εργαστηριακά με αρκετές δοκιμές με σημαντικότερη την δοκιμή πλατιάς λωρίδας. Τα γεωπλέγματα συνεισφέρουν στην ενίσχυση των εδαφών παραλαμβάνοντας φορτία μέσω του στερεού σκελετού τους.

Έτσι είναι προφανές πως θα πρέπει να έχουν ικανές αντοχές τόσο κατά την διεύθυνση παραγωγής τους όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση.

Λειτουργίες

Τα γεωπλέγματα είναι σχετικά υψηλής αντοχής, υψηλού μέτρου ελαστικότητας και χαμηλού ερπυσμού υλικά με ανοίγματα που ποικίλουν από 1 μέχρι 10cm σε μέγεθος. Αυτά τα ανοίγματα είναι είτε επιμηκυμένες ελλείψεις, είτε τετράγωνα με στρογγυλεμένες, είτε τετράγωνα ή ορθογώνια. Μερικές από τις πιο συχνές λειτουργίες τους είναι:

- κάτω από την βάση και υπόβαση δρόμων
- κάτω από το έρμα στην κατασκευή σιδηρόδρομου
- ενίσχυση σε πλήρωση αναχώματος και χωμάτων φραγμάτων
- αποκαθιστώντας αστοχίες κλίσης και καθιζήσεων εδάφους
- στην κατασκευή τοίχων αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους

- στις συναρμογές γεφυρών
- ως ενίσχυση της ασφάλτου
- ένθετα μεταξύ γεωφασμάτων
- ένθετα μεταξύ των γεωμεμβρανών
- ένθετα μεταξύ γεωφάσματος και μιας γεωμεμβράνης
- για αύξηση του συντελεστή τριβής μιας γεωμεμβράνης

Γεωδίκτυα

Ιστορική ανασκόπηση

Τα γεωδίκτυα είναι από τα νεότερα μέλη της οικογένειας των γεωσυνθετικών υλικών. Ομοιάζουν με τα γεωπλέγματα όμως υπάρχει σαφής διαφοροποίηση στις λειτουργίες των δυο αυτών γεωσυνθετικών υλικών.

Τα γεωδίκτυα χρησιμοποιούνται για την εξαιρετική ικανότητα αποστράγγισης, ενώ τα γεωπλέγματα για την ενίσχυση. Παρόλα αυτά τα γεωδίκτυα έχουν και αυτά ικανές αντοχές κυρίως όταν συνδυάζονται με εδαφικά υλικά όμως στην πράξη χρησιμοποιούνται σε προβλήματα αποστραγγίσεων σχεδόν αποκλειστικά καθώς οι υδραυλικές τους ιδιότητες είναι εξαιρετικές.

Λειτουργίες

Τα γεωδίκτυα δεδομένων των εξαιρετικών υδραυλικών ιδιοτήτων τους χρησιμοποιούνται σε προβλήματα αποστραγγίσεων και έλεγχου ροής των ρευστών μέσα σε εδαφικά υλικά. Οι πιο συχνές λειτουργίες τους είναι οι εξής:

- στραγγιστήρια πίσω από τοίχους αντιστήριξης
- στραγγιστήρια σε εδαφικά πρανή
- στραγγιστήρια κάτω από αθλητικές εγκαταστάσεις
- στραγγιστήρια κάτω από θεμελιώσεις κτηρίων

- στραγγιστήρια στον πυθμένα χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

Εισαγωγή

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, γεωσύνθετα καλούνται εκείνα τα υλικά τα οποία προκύπτουν από το συνδυασμό ανά δύο, γεωφάσματος, γεωμεμβράνης και γεωπλέγματος καθώς επίσης και συνδυασμό ενός από αυτούς τους τύπους γεωσυνθετικού με άλλο υλικό. Η βασική φιλοσοφία των γεωσύνθετων υλικών είναι ο συνδυασμός των καλύτερων ιδιοτήτων των γεωσυνθετικών υλικών με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί η αντιμετώπιση εξειδικευμένων προβλημάτων τα οποία παρουσιάζονται στην πράξη, με το καλύτερο αποτέλεσμα. Παρόλα αυτά ένας επιπλέον λόγος ώστε να εφαρμοστούν τα γεωσύνθετα υλικά σε συγκεκριμένα έργα, είναι η ευκολία που παρέχουν κατά την εφαρμογή τους καθώς πρόκειται για βιομηχανοποιημένα προϊόντα τα οποία δεν απαιτούν ιδιαίτερες τεχνικές ή εξειδικευμένες δεξιότητες κατά την τοποθέτησή τους.

Επομένως ο συνδυασμός της εύκολης εφαρμογής τους στο πεδίο και των βελτιωμένων μηχανικών και υδραυλικών ιδιοτήτων, που αυτά τα υλικά προσφέρουν, είναι ο κρίσιμος και καθοριστικός παράγοντας ώστε ένα τέτοιο γεωσύνθετο προϊόν να επιλέγει σε κάποιο τεχνικό έργο.

Τα γεωσύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε προβλήματα στεγανοποίησης όπου εφαρμόζονται κυρίως σύνθετα γεωφάσματος-γεωμεμβράνης, σε προβλήματα αποστράγγισης όπου εφαρμόζονται κυρίως γεωσύνθετα γεωφάσματος - γεωδικτύου. Παρακάτω αναπτύσσονται αναλυτικότερα αυτές οι περιπτώσεις.

Γεωσύνθετα υλικά σε προβλήματα στεγανοποίησης

Το πλέον διαδεδομένο και ευρέως χρησιμοποιημένο γεωσύνθετο υλικό, το οποίο εφαρμόζεται σε προβλήματα στεγανοποιήσεων από επικόλληση

γεωφάσματος σε γεωμεμβράνη. Κατά τη συσκευασία, μεταφορά και ανάπτυξη των γεωμεμβρανών στο πεδίο και την τοποθέτησή τους στη θέση του έργου, οι γεωμεμβράνες είναι δυνατόν να καταπονηθούν και να αστοχήσουν, εάν υπάρχει υπέρβαση της αντοχής τους, σε εφελκυσμό, σχίσιμο, διάτρηση και κρούση.



Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε τυχαία γεγονότα, είτε σε κακή ποιότητα εργασιών. Συνήθεις καταστάσεις είναι η πτώση εργαλείων πάνω στη γεωμεμβράνη, κατά την επίστρωσή της, η κίνηση οχημάτων πάνω στη διαστρωμένη μεμβράνη, οι τυχόν ισχυροί άνεμοι που μπορεί να πνέουν κατά την τοποθέτηση της, την οποία και επιφορτίζουν και πιθανώς οι αδέξιοι χειρισμοί κατά την τοποθέτηση μεγάλων φύλλων στη σωστή τους θέση. Έτσι για τη σωστή λειτουργία της γεωμεμβράνης κατά την περίοδο λειτουργίας του έργου στο οποίο αυτή έχει τοποθετηθεί, είναι απαραίτητο να μην υπάρξει υπέρβαση της αντοχής της σε εφελκυσμό, σχίσιμο, διάτρηση και κρούση κατά την συσκευασία, τη μεταφορά, την ανάπτυξη στο πεδίο και την τοποθέτησή της στη θέση του έργου.

Οι τιμές των αντοχών αυτών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το πάχος της γεωμεμβράνης. Αύξηση του πάχους της γεωμεμβράνης μπορεί να οδηγήσει σε εκθετική συνήθως αύξηση των τιμών των προαναφερθεισών αντοχών.

Για να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα των γεωμεμβρανών κατά το στάδιο της τοποθέτησής τους στο πεδίο, έχουν προταθεί ή έχουν καθιερωθεί

τιμές για το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος της γεωμεμβράνης. Έτσι ο Koerner (1994) προτείνει ελάχιστο πάχος από 0,63mm έως 1,00mm , ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο πεδίο (τοποθέτηση με το χέρι ή με μηχανή, μέγεθος φορτίου τραχύτητα της μονάδας έδρασης της γεωμεμβράνης). Οι πληροφορίες αυτές συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

ΙΔΙΟΤΗΤΑ, ΜΟΝΑΔΕΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ			
	Χαμηλός	Μέτριος	Υψηλός	Πολύ Υψηλός
Πρότυπο(ASTM)				
Πάχος(mm) D 5199	0.63	0.75	0.88	1.00
Εφελκυσμός(KN/m) M) D 882	7.0	8.7	10.5	12.2
Σχίσιμο(N) D 1004-C	33	45	67	90
Διάτρηση (N) D 4833	110	130	160	180
Κρούση(I) D 1424	9.0	11	15	99

Οι γεωμεμβράνες καταπονούνται επιπλέον και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου στο οποίο έχουν ενσωματωθεί, για παράδειγμα από επισωρευμένα υλικά όπως στερεά απόβλητα ή υγρά απόβλητα. Για την προστασία λοιπόν της γεωμεμβράνης έναντι όλων αυτών των μηχανικών καταπονήσεων εφαρμόζεται η τοποθέτηση γεωφάσματος σε επαφή με την γεωμεμβράνη το οποίο προσφέρει προστασία στη γεωμεμβράνη από μηχανικές καταπονήσεις που ασκούνται από την πλευρά που τοποθετείται το γεωφάσμα.

Στις επενδύσεις πρανών και πυθμένων κατασκευών για αποθήκευση ρευστών η τοποθέτηση γεωφάσματος, τουλάχιστον κάτω από τη

γεωμεμβράνη προσφέρει αυξημένη ασφάλεια έναντι διάτρησης της γεωμεμβράνης, βελτιώνει την αντίσταση λόγω τριβών μεταξύ επένδυσης και εδάφους στα πρανή και διευκολύνει στην κίνηση και την στράγγιση του νερού και άλλων υγρών που συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος της γεωμεμβράνης. Σε κανάλια ή ανοιχτούς αγωγούς η τοποθέτηση της γεωμεμβράνης πάνω σε γεωφύλασμα προσφέρει τα πλεονεκτήματα που προαναφέρθηκαν παραπάνω. Επιπλέον επειδή σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητη η επικάλυψη της γεωμεμβράνης με εδαφικό ή άλλο αδρανές υλικό, συνιστάται η τοποθέτηση γεωφύλασματος και πάνω από τη γεωμεμβράνη για λόγους προστασίας.

Στις πιο πολλές εφαρμογές που περιγράφονται στη βιβλιογραφία, τα γεωφύλασματα και οι γεωμεμβράνες που τοποθετούνται σε επάλληλη διάταξη δεν είναι συγκολλημένα μεταξύ τους. Έχει αναγνωριστεί όμως ότι η χρησιμοποίηση ενός σύνθετου προϊόντος με το γεωφύλασμα συγκολλημένο πάνω στη γεωμεμβράνη, προσφέρει πλεονεκτήματα τουλάχιστον από την άποψη της ταχύτητας και του κόστους κατασκευής, αφού η τοποθέτηση και των δύο γεωσυνθετικών γίνεται ταυτόχρονα. Επιπλέον η ύπαρξη του γεωφύλασματος περιορίζει σημαντικά τις πιθανότητες αστοχίας της γεωμεμβράνης κατά το στάδιο της κατασκευής που μπορεί να προέλθει από τον "τραυματισμό" της γεωμεμβράνης, δεδομένου ότι πάνω σε αυτή κινούνται άνθρωποι και μηχανήματα.



Ο πλέον κατάλληλος οδηγός για την επιλογή μεθόδου ή μεθόδων συγκόλλησης γεωφάσματος επί γεωμεμβράνης για τη δημιουργία ενός γεωσύνθετου προϊόντος είναι οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για συγκόλληση γεωμεμβρανών.

Οι μέθοδοι που έχουν καθιερωθεί πλέον στην πράξη συνοψίζονται στις εξής:

- Συγκόλληση με πρόσθετη τηγμένη λωρίδα από το ίδιο υλικό.
- "Σύντηξη" με χρήση θερμής σφήνας ή θερμού αέρα.
- Με διαλυτικό ή ενισχυμένο διαλυτικό.
- Με κόλλα επαφής.

Όταν η συγκόλληση γίνεται με χρήση διαλυτικού, απλώνεται ένα στρώμα διαλυτικού υγρού μεταξύ των δύο φύλλων γεωμεμβράνης που πρόκειται να ενωθούν. Σε ελάχιστο χρόνο (δευτερόλεπτα) ένα μέρος των προς συγκόλληση υλικών περιέρχεται σε ιξώδη κατάσταση από τη δράση του διαλυτικού και τότε εφαρμόζεται πίεση για να επέλθει πλήρης επαφή. Υπερβολική ποσότητα διαλυτικού υγρού προκαλεί εξασθένιση (μείωση της μηχανικής αντοχής) των συγκολλούμενων φύλλων γεωμεμβράνης στην περιοχή της συγκόλλησης, ενώ ανεπαρκής ποσότητα διαλυτικού υγρού οδηγεί σε συγκόλληση χαμηλής αντοχής.

Οι συγκολλήσεις με χρήση ενισχυμένου διαλυτικού είναι όμοιες με τις προηγούμενες εκτός από το ότι στη μάζα του διαλυτικού υγρού προστίθεται ποσοστό 1% έως 20% του υλικού της γεωμεμβράνης και ακολούθως εκτελείται η συγκόλληση. Σκοπός της ενίσχυσης του διαλυτικού υγρού είναι αυτό να γίνει πιο ιξώδες ώστε να διευκολύνονται οι συγκολλήσεις πεδίου σε πρηνή ή και να ρυθμίζεται ο ρυθμός εξάτμισης του διαλυτικού υγρού. Η εφαρμογή πίεσης είναι απαραίτητη και η αποτελεσματικότητα της μεθόδου βελτιώνεται ακόμα περισσότερο με προσφορά θερμότητας μέσω κατάλληλων συσκευών.

Οι κόλλες με διαλυτικό που περιέχουν συγκολλητική ουσία η οποία

μένει στη ραφή μετά την εξάτμιση του διαλυτικού. Έτσι η κόλλα γίνεται ένα επιπρόσθετο υλικό του συστήματος και στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθεί επαρκής πίεση. Η κόλλα επαφής απλώνεται και στις δυο προς συγκόλληση επιφάνειες και αφήνεται να στεγνώσει ως ένα βαθμό. Ακολουθώντας, τα δυο φύλλα τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο και εφαρμόζεται πίεση με κύλινδρο. Η κόλλα αποτελεί πλέον το συνθετικό υλικό μεταξύ των δυο φύλλων γεωμεμβράνης και είναι ένα επιπρόσθετο υλικό του συστήματος. Η συγκόλληση με χρήση θερμότητας επιτυγχάνεται με διάφορες τεχνικές.

Στην τεχνική της "σύντηξης" με αέρα χρησιμοποιείται συσκευή, η οποία διοχετεύει ρεύμα θερμού αέρα μεταξύ των δύο προς συγκόλληση φύλλων ώστε να προκαλείται κυριολεκτικά τήξη του υλικού στις προς συγκόλληση επιφάνειες. Αμέσως μετά την τήξη των επιφανειών εφαρμόζεται πίεση με κύλινδρο.

Στη μέθοδο σύντηξης με θερμή σφήνα χρησιμοποιείται, αντί για θερμός αέρας, μία λεπίδα που θερμαίνεται μέσω ηλεκτρικής αντίστασης και κινείται μεταξύ των δυο προς συγκόλληση επιφανειών. Καθώς οι επιφάνειες τήκονται, εφαρμόζεται πίεση με κύλινδρο και επιτυγχάνεται η συγκόλληση. Μία άλλη μέθοδος θερμής συγκόλλησης (με τηγμένη λωρίδα) έχει μεγάλη ομοιότητα με την μεταλλουργική συγκόλληση. Μία λωρίδα λιωμένου πολυμερούς τοποθετείται ανάμεσα στις δυο επιφάνειες που πρόκειται να ενωθούν. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, προκαλείται τήξη και στις επιφάνειες των φύλλων γεωμεμβράνης και επομένως προκαλείται ανάμιξη του υλικού στην περιοχή της συγκόλλησης.

Ορισμένες εταιρίες έχουν αρχίσει την παραγωγή σύνθετων προϊόντων που αποτελούνται από γεωμεμβράνη και γεωφάσμα συγκολλημένα στη μία πλευρά της. Επίσης εκτιμάται η συγκόλληση του γεωφάσματος επί της γεωμεμβράνης βελτιώνει τη συνεργασία μεταξύ των δύο υλικών στην παραλαβή των φορτίων που ασκούνται σε αυτά, μέχρι να προκύψει αστοχία

της συγκόλλησης. Εφόσον η συγκόλληση είναι αρκετά ισχυρή, τα εφελκυστικά φορτία που αναπτύσσονται στο σύστημα γεωφάσματος - γεωμεμβράνης, κατανέμονται και στα δύο υλικά, με αποτέλεσμα να μειώνεται το εφελκυστικό φορτίο της γεωμεμβράνης. Το γεωφάσμα δηλαδή, αναμένεται να λειτουργεί και ως ενίσχυση της γεωμεμβράνης έναντι φορτίων εφελκυσμού.

Τέλος, σε περιπτώσεις επικάλυψης πρανών, είναι γενικά γνωστό ότι ασθενέστερη διεπιφάνεια, δηλαδή η επιφάνεια με το μικρότερο συντελεστή αλληλεπίδρασης ή τριβής, είναι αυτή μεταξύ γεωφάσματος και γεωμεμβράνης.

Η άποψη αυτή υποστηρίζεται και από αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών κατά τις οποίες μετρήθηκε η γωνία τριβής μεταξύ διαφόρων γεωμεμβρανών και άλλων υλικών, όπως διάφορα γεωφάσματα και διάφοροι τύποι εδαφών.

Κατά συνέπεια, ισχυρή συγκόλληση του γεωφάσματος επί της γεωμεμβράνης, αναμένεται να βελτιώσει την ευστάθεια του συστήματος και να επιτρέπει τη διαμόρφωση πρανούς με μεγαλύτερη κλίση, αφού αυτή θα ρυθμίζεται πλέον από την αλληλεπίδραση του γεωσύνθετου με άλλα υλικά και κυρίως με εδαφικά υλικά.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως προκύπτει ότι η επικάλυψη των γεωμεμβρανών με γεωφάσμα προσφέρει προστασία στη γεωμεμβράνη από μηχανικές καταπονήσεις που ασκούνται από την πλευρά στην οποία τοποθετείται το γεωφάσμα. Εάν γίνει επικόλληση του γεωφάσματος πάνω στη γεωμεμβράνη, τότε το γεωσύνθετο το οποίο προκύπτει, έχει σαφώς βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με αυτές της γεωμεμβράνης πράγμα που προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στο μηχανικό κατά το σχεδιασμό ενός έργου.

Για την παραγωγή τέτοιων γεωσύνθετων, παρατηρείται ότι χρησιμοποιούνται μη υφασμένα βελονοδιάτρητα γεωφάσματα βάρους

συνήθως μεταξύ 100 gr/m^2 και 300 gr/m^2 που συγκολλούνται είτε θερμικά είτε με άλλες μεθόδους επί ποικιλίας, τόσο ως προς τον τύπο πολυμερούς όσο και ως προς το πάχος των γεωμεμβρανών. Η επιλογή του τύπου της γεωμεμβράνης φαίνεται πως εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας του κάθε έργου ή από ισχύοντες κανονισμούς.

Σε ότι αφορά στις χρήσεις των γεωσύνθετων γεωφάσματος-γεωμεμβράνης αυτές εφαρμόζονται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Σε λιμνοδεξαμενές για πόσιμο νερό
- Σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων
- Σε αρδευτικά κανάλια
- Σε χωμάτινα φράγματα για έλεγχο διήθησης
- Σε επενδύσεις και ενισχύσεις πρανών
- Για στεγανοποίηση σηράγγων.

MEMBRANES ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

MEMBRANES PVC

Η τεχνογνωσία στο υλικό PVC δείχνει ότι οι μεμβράνες για τούνελ PVC, όχι μόνο έχουν αποδείξει την αξία τους αλλά επίσης ικανοποιούν τις περισσότερες αυστηρές απαιτήσεις, μερικές από τις οποίες είναι:

- i. Μακροπρόθεσμη αντίσταση της επίθεσης του νερού και της επαφής του νερού με τα υλικά κατασκευής.
- ii. Αντίσταση στα στατικά και δυναμικά φορτία
- iii. Αμετάβλητα χαρακτηριστικά σε πραγματικά θερμοκρασιακά όρια
- iv. Προσαρμοστικότητα στην κατασκευή
- v. Ευκολία στην εγκατάσταση
- vi. Εύκολη διαμόρφωση
- vii. Αρκετά οικονομική λύση

Μερικό και Ολικό Σύστημα Στεγανοποίησης

- Η μερική στεγανοποίηση χρησιμοποιείται σε περιοχές που έχουν μόνο μικρή διήθηση νερού. Η είσοδος του νερού εκτρέπεται σε πλευρικά κανάλια αποξηράνσεως από το στρώμα αποξηράνσεων που εγκαθίσταται πίσω από την στεγανοποίηση.
- Στις περιοχές όπου η πίεση του νερού δεν μπορεί να απομακρυνθεί, χρησιμοποιείται ένα ολικό στεγανοποιητικό σύστημα. Αυτός ο τύπος στεγανοποίησης είναι πιο απαιτητικός στα υλικά στεγανοποίησης και στην τοποθέτηση.

Σύνδεση Ραφών Μembranών PVC

Οι μεμβράνες PVC συνδέονται ομοιογενής, χρησιμοποιώντας την μέθοδο συγκόλλησης με θερμότητα. Οι ραφές πραγματοποιούνται σε κάθε πλευρά και είναι διπλές ραφές με τεστ δοκιμής μεταξύ τους ή ενιαία συγκόλληση.

Διπλή Ραφή με την Δόκιμη Καναλιού

- Δοκιμή συμπιεσμένου αέρα. Οι διπλές ραφές εξετάζονται με πίεση περίπου 2 atm. Η δοκιμή θεωρείται επιτυχής και έγκυρη, εάν οι πτώσεις πίεσης είναι λιγότερο από 20% μέσα σε πέντε πρακτικά.
- Μηχανική δοκιμή. Οι ενιαίες ραφές μπορούν να εξεταστούν με την βοήθεια π.χ. του κατσαβιδιού.
 - i. εξεταζόμενη ραφή
 - ii. σφιγκτήρας
 - iii. αεραντλία
 - iv. μανόμετρα

Παρακάτω παρατίθεται ένα απόσπασμα λίστας από διάφορες χώρες και περιοχές στις οποίες έχουν κατασκευαστεί σήραγγες και τούνελ με τις μεμβράνες PVC.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ	ΕΡΓΟ	m²
SYDNEY	SYDNEY HARBOUR TUNNEL	14000
BRISBANE	RAILWAY TUNNELS	27000
ΑΥΣΤΡΙΑ		
LINZ	TUNNEL ENTRANCE	
SALZBURG	TUNNEL ENTRANCE	
INNSBRUCK	TUNNEL ENTRANCE	
DORNBIRN	TUNNEL ENTRANCE	
WALD	TUNNEL	130000
ΓΑΛΛΙΑ		
FREJUS	ROAD TUNNEL	6000
LYON	METRO	250000
VUACHE	TUNNEL	12000
SNCF	TUNNEL	35000
VIERZON	TUNNEL	22000
CHAMOISE	TUNNEL	40000
LILLE	METRO	21000
A86	TUNNEL	10000
PONSSERAND	TUNNEL	100000
LA DAILLE	TUNNEL	35000
DES LESS	TUNNEL	3000
TREMIES	TUNNEL	6000
LOUVRE	TUNNEL	180000
ROUEN	METRO	5000
EOLE	METRO	20000
TOULON	METRO	40000
LA HAGUE	CIVIL CONSTRUCTION	400000

Συστήματα Στεγάνωσης Σιδηροδρομικών Σηράγγων

ΟΝΔΟΥΡΑ		
HYDROPOWER PROJECT	TUNNEL	4000
IPAN		
ISFAHAN	WATER SUPPLY TUNNEL	100000
ΙΤΑΛΙΑ		
SAN REMO	FERROVIE DELLO STATO GALLERIE STAZIONE	30000
DRENA	GALLERIE STRADALE	2000
BOLZANO	GALLERIE STRADALE A BOLZANO	6000
	GALLERIE STRADALE A MERANO	4000
ROMA	METROPOLITANA BOLOGNA/TEODORICO	15000
MILANO	METRO LINEA 6 LOTTO 3	60000
S. ANGELO	GALLERIE M. MAGGIORE NUOVO ACQUEDOTTO CAMPANO	8000
UGOVIZZA	AUTOSTRADA CARNIA-UDINE- TARVISIO	15000
CASTELSARDO (SS)	ANAS DI CAGLIARI	3000
S. VITO BALLAO (CA)	ANAS DI CAGLIARI	3000
GIOIA DEL COLLE (BA)	LINEA-BARY-TARANTO	60000
TERMOLI (CB)	ANAS TANGENZIALE	40000
LAMA MOCOGNO (MO)	GALLERIA DI STRETTARO	20000
TRENTO	ANAS GALLERIA VELA	15000

Συστήματα Στεγάνωσης Σιδηροδρομικών Σηράγγων

AVELENCO (BZ)	STRANDA PROVINCIALE	4000
GENOVA	GALLERIA BRIN	2000
ΙΑΠΩΝΙΑ		
AKITA REGION	RAIWAY TUNNEL	6000
KOBE	ROAD TUNNEL	90000
OTHERS	VARIOUS	60000
ΜΑΛΑΙΣΙΑ	MILITARY PROJECT	2000
ΣΑΟΥΔΙΚΗ ΑΡΑΒΙΑ		
JEDDAH-MEKKA	MUNA TUNNEL	260000
JEDDAH-MEKKA	MEKKAH RING ROAD	130000
JEDDAH-MEKKA	MEKKAH RING ROAD	60000
ZIMΠΑΜΠΟΥΕ		
HARANE REGION	TUNNEL	8000
ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗ		
SINGAPORE	CENTRAL EXPRESSWAY PH II	350000
ΝΟΤΙΑ ΑΦΡΙΚΗ		
DURBAN	UGEMI WATER SUPPLY TUNNEL	8000
ΙΣΠΑΝΙΑ		
GUADARREME	ROAD TUNNEL	50000
CAPDELLA	HYDROELECTRIC CABLE TUNNEL	12000
SOMOSIERRA	ROAD TUNNEL	45000
BILBAO	METRO	47000
ΕΛΒΕΤΙΑ		
1965-1969	ROAD TUNNEL BELCHEN	140000
1967-1969	ROAD TUNNEL OBERBURG	12000
1967-1968	ROAD TUNNEL EBENRAIN	18000
1967-1968	CIVIL DEFENSE AERIAL WARTEGG	6000

Συστήματα Στεγάνωσης Σιδηροδρομικών Σηράγγων

1968-1969	ROAD TUNNEL ARISDORF	60000
1968-1969	ROAD TUNNEL BARENBURG	20000
1969	ROAD TUNNEL ROLFA	20000
1972	ROAD TUNNEL BELMONT	15000
1973-1978	ROAD TUNNEL SEELISBERG	120000
1974-1975	ROAD TUNNEL ALVASCHEIN	20000
1974	ROAD TUNNEL CERN	16000
1977	ROAD TUNNEL BOZBERG- GOTTHARD	9000
1977-1978	GOTTHARD, MOTO DI DENTRO	16000
1978-1979	ROAD TUNNEL 6, LA REUCHENETTE	14000
1978-1979	RAILWAY TUNNEL BORN	10000
1979	ROAD TUNNEL 8,LA REUCHENETTE	12000
1979-1980	ROAD TUNNEL STAUBENDEN	6000
1979-1980	ROAD TUNNEL SEELISBERG,HUTTEGG	7000
1980-1981	ROAD TUNNEL RAISCHIBE	30000
1980-1981	ROAD TUNNEL FLOOZ	7000
1980-1981	ROAD TUNNEL AEULI	8000
1980-1981	ROAD TUNNEL PIOTTINA	35000
1981-1982	ROAD TUNNEL HOF	25000
1981-1983	ROAD TUNNEL MURGWALD	57000
1981-	VERTIKAL SHAFT GUBRIST	8000
1981-1982	ROAD TUNNEL GUBRIST WESTROHRE	80000
1982	ROAD TUNNEL CLASAURER	12000
1982-1983	ROAD TUNNEL TIEFENWINKEL/	65000

Συστήματα Στεγάνωσης Σιδηροδρομικών Σηράγγων

	KERENZER	
1986	ROAD TUNNEL CALFREISEN	10000
1982-1983	ROAD TUNNEL ASPWALD	8000
1982-1983	ROAD TUNNEL JONERWALD	8000
1982-1983	ROAD TUNNEL MARZOLISFLUH	18000
1982-1983	ROAD TUNNEL CHUEBALM	29000
1982-1983	ROAD TUNNEL HOTENN-MITTAL	60000
1983-	RAILWAY TUNNEL HIRSCHWIESEN	8000
1983-	ROAD TUNNEL HANDEGG	3000
1985-	RAILWAY TUNNEL HORDICH ,NORD	4000
1985-	ROAD TUNNEL SUMMEREKG	3000
1985-	ROAD TUNNEL LARZIELLIER	16000
1987	SHAFT LIGERZ	7000
1987-1988	ROAD TUNNEL NEUCHATEL EST	135000
1987-1988	S-RAILWAY ZURICH	22000
1988-1989	MITTALGABENTUNNEL BLS	13000
1988-1989	ROAD TUNNEL OUEST NEUCHATEL	30000
1988-1989	ROAD TUNNELCHLUS	18000
1989-1990	ROAD TUNNELVERNIER	85000
1989-	RAILWAY TUNNEL AATHAN- WETZIKON	6000
1990-1994	ROAD TUNNEL BOZBERG	220000
1990-1994	ROAD TUNNEL CRAP SES	18000
1991-1993	ROAD TUNNEL ACCLA TOBEL	30000
1991-1993	ROAD TUNNEL VUE DES ALPES	80000
1991-1992	ROAD TUNNEL FLURLINGEN	32000
1991-1992	ROAD TUNNEL MONT TERRI-SUD	80000

Συστήματα Στεγάνωσης Σιδηροδρομικών Σηράγγων

1992-1994	ROAD TUNNEL MONT TERRI NORD	80000
1992-1993	ROAD TUNNEL MONT SAGNE	40000
1992-	ROAD TUNNEL PROMOTOGNO	16000
1992-1993	ROAD TUNNEL TRIN	30000
1993-1994	ROAD TUNNEL CRAP TEIG	
TAÏBAN		
PROVINCE	WATER SUPPLY TUNNEL	20000
TAIPEI AREA	FU-DER-KEN	80000
TAIPEI AREA	AN-KEN ROAD	22800
TAIPEI AREA	NEI-HU	8300
KEELUNG	WEST NR1 TUNNEL	9600
TOYPKIA		
ISTABUL	LIGHT METRO SYSTEM	140000
TRABSON	ROAD TUNNEL	8000
ΕΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ		
FOLKESTONE	CASTLE HILL	35000
EUROTUNNEL	SHAKESPEARE CLIFFS	5000
	PUMP SUMPS	1000
	UNDERSEA CROSSOVER	8000
FOLKESTONE	A 20 CORKWOOD TUNNEL	22000
BRIGHTON	BRIGHTON BYPASS	22000
STOCKSBRIDGE	2 STAFTS FOR BRITISH STEEL	400
ΒΕΝΕΖΟΥΕΛΑ		
CARACAS	TUNNEL DEL TURUNO	40000
	TUNNEL LA PLANICIE	37500

Παρακάτω περιγράφονται και πιστοποιούνται οι έλεγχοι που απαιτούνται να γίνονται στις μεμβράνες PVC που τοποθετούνται στα τούνελ:

EMPA:

**ΕΛΒΕΤΙΚΑ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑΚΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑΣ**

Τεστ N°	1	Ολοκληρωτική δοκιμή αντοχής
Τεστ N°	2	Αυξομείωση χαμηλής θερμοκρασίας
Τεστ N°	3	Παραμόρφωση λόγω θερμοκρασίας
Τεστ N°	4	Σχιστική πίεση
Τεστ N°	7	Χρόνος αντοχής στην θερμοκρασία
Τεστ N°	10	Αντίσταση βάθους
Τεστ N°	11	Αντίδραση στη φωτιά
Τεστ N°	12	Γήρανση ύδατος
Τεστ N°	13	Μακροχρόνια δύναμη συμπίεσης
Τεστ N°	14	Αντίσταση στο πάχος του υλικού
Τεστ N°	15	Δύναμη αρμού

i. Έκθεση έρευνας

Υλικό: πολυμερής μεμβράνη σε πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC-P)

Ονομαστικό πάχος: 2,0 mm

Ημερομηνία παραλαβής: 29 Μαρτίου 1989

Εκτέλεση έρευνας: από 3 Απριλίου 1989 έως 12 Δεκεμβρίου 1989

ii. Δοκιμές σύμφωνα με τα πρότυπα SIA 280 (1983)

Εφαρμογή: στεγανοποιητική μεμβράνη για μόνιμη υδροστατική πίεση.

iii. Υλικό που ερευνήθηκε: Στις 29 Μαρτίου, παραδόθηκε ένα τμήμα του υλικού που παρουσιάζει ενώσεις σε διαμήκεις και κάθετες κατευθύνσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Πολυμερές τύπος	Πολιβινυλοχλωρίδιο, πλαστικοποιημένο (PVC-P)
Ενίσχυση	Καμία
Ονομαστικό πάχος	2,0 mm
Αποτελεσματικό πάχος (μέσος όρος 10 δοκιμών)	1,86 mm
Πλάτος δείγματος	1410 mm
Μάζα ανά μονάδα επιφάνειας	2.47 kg/m ²
Επιφάνεια κατασκευής	Πάνω πλευρά= ομαλή κάτω πλευρά = ομαλή
Κατασκευή	Πολλαπλά επίπεδα 0,6 mm κίτρινο, 1,4 mm μαύρο
Χρώμα	Πάνω πλευρά= κίτρινο λεμονιού κάτω πλευρά = μαύρο
Τύπος ένωσης	Συγκόλληση καυτού αέρα Επικαλυπτόμενο μέρος Διαμήκης:46 mm Κάθετος:41 mm

iv. Εκτέλεση και αποτελέσματα των δοκιμών

Προεργασία: έως ότου ξεκινήσει η δοκιμή, τα ειδικά και τα έτοιμα δείγματα αποθηκεύτηκαν περισσότερο από είκοσι ώρες σε κανονικές συνθήκες, SN-ISO 291.

Θέση των δειγμάτων στην μεμβράνη: τα δείγματα αποσπάστηκαν ομοιόμορφα από τα δείγματα που διανεμήθηκαν στην διαμήκη και διαγώνια κατεύθυνση.

- **Διαμήκης κατεύθυνση:** προσανατολισμός στην κατεύθυνση καθώς το ρολό κατασκευάζονταν. **Προσδιορισμός «I».**

- **Διαγώνια κατεύθυνση:** προσανατολισμός κάθετα στην κατεύθυνση παραγωγής του ρολό. **Προσδιορισμός «q».**

Προσανατολισμός κατά την διάρκεια της δοκιμής: διάμηκες (I) είναι η κατεύθυνση του φορτίου κατά την διάρκεια της δοκιμής παραμόρφωσης στην διεύθυνση της γραμμής παραγωγής.

Εάν για την δοκιμή της επιφάνειας χρειαστούν ξεχωριστές ενδείξεις, η ξεπερασμένη πλευρά είναι η ανώτερη πλευρά. (εσωτερικά στο ρολό).

Αξιολόγηση: στην δοκιμή όπου τα αποτελέσματα κυμαίνονται στις κανονικές τιμές η τυπική απόκλιση s ως το μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

No	Δοκιμή	Αποτελέσματα	Αξιολόγηση για την εφαρμογή αδιαβροχοποίησης Μεμβράνη για σταθερή πίεση νερού
1	Ολοκληρωτική δοκιμή έντασης	$\epsilon_i = 339\%$ $s=8$ $\epsilon_q = 343\%$ $s=8$	ικανοποιεί
2	Αυξομείωση χαμηλής θερμοκρασίας στους -20°C	Κανένα ράγισμα στους -20°C	ικανοποιεί
3	Παραμόρφωση λόγω θερμοκρασίας	Longit: $-1,9\%$ $s=0.2$ Perp: $+0,5\%$ $s=0.2$	ικανοποιεί
4	Σχιστική πίεση	Σφιχτό κάτω από πίεση $0,5 \text{ N/mm}^2$	ικανοποιεί
7	Χρόνος αντοχής στην θερμοκρασία • αλλαγή της μάζας ZM • αλλαγή της επιμήκυνσης στο σπάσιμο ZR	-0.9% (μειώθηκε) Zr long.: $+5\%$ αυξήθηκε Zr quer.: $+2\%$ αυξήθηκε	ικανοποιεί
10	Αντίσταση βάθους	Καμία διάτρηση	ικανοποιεί
11	Αντίδραση στη φωτιά	Vf2	ικανοποιεί
12	Γήρανση ύδατος (8 μήνες βύθιση) • -20°C	Αλλαγή της μάζας μετά από : • 1 μήνα: $-0,4\%$ • 2 μήνες: $-0,7\%$ • 4 μήνες: $-1,6\%$ • 8 μήνες: $-2,8\%$ κανένα ράγισμα στους -20°C	ικανοποιεί
13	Μακροχρόνια δύναμη συμπίεσης	Σφιχτά στα 7 N/mm^2 κατά την διάρκεια 48 ωρών	ικανοποιεί
14	Αντίσταση στο πάχος του υλικού	Σφιχτό στο μειωμένο ύψος των 850 mm	ικανοποιεί
15	Δύναμη αρμού	Σε καμία περίπτωση δεν παρατηρήθηκε χωρισμός στον αρμό	ικανοποιεί

Αξιολόγηση με βάση όλα τα στοιχεία

Η μεμβράνη που δοκιμάστηκε και αποτελείται από πλαστικοποιημένο πολυβινυλοχλωρίδιο PVC-P, (πάχος 2,0 mm, άνω στρώμα κίτρινο / κάτω στρώμα μαύρο) περνά όλες τις απαιτήσεις των δοκιμών και είναι μεμβράνη για κατασκευές με μόνιμη υδροστατική πίεση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ

Προϋποθέσεις Υποστρώματος

Οι απαιτήσεις για τη στρώση εκτοξευμένου σκυροδέματος πάνω στην οποία στηρίζεται το γεωφάσμα και ακολούθως η μεμβράνη συνοψίζονται στις ακόλουθες:

- i. Σταθερότητα και συνέχεια της στρώσης εκτοξευμένου σκυροδέματος με ελάχιστο πάχος 5 cm.
- ii. Αναλογία βάθους για διάμετρο κοιλοτήτων: 1/5 εφόσον το πάχος της μεμβράνης είναι 2 cm.
- iii. Ακτίνα καμπυλότητας στρογγυλευμάτων.

Τοποθέτηση Γεωφάσματος

Η στρώση υδρομάστευσης (γεωφάσμα) τοποθετείται με μηχανική στερέωση δηλαδή με καρφί και μεταλλική ροδέλα πάνω στη στρώση του εκτοξευμένου σκυροδέματος και κάτω από τη στεγανωτική μεμβράνη. Τα φύλλα του γεωφάσματος επικαλύπτονται μεταξύ τους κατά το πλάτος του ρολού του γεωφάσματος που είναι δύο μέτρα περίπου. Ο ρόλος του γεωφάσματος είναι διττός:

- i. Προστατεύει τη μεμβράνη η οποία κινδυνεύει να πληγωθεί από πιθανές καταπονήσεις μηχανικής, χημικής, θερμικής και υδραυλικής πίεσης.
- ii. Προσφέρει τη δυνατότητα αποστράγγισης των νερών πίσω από την εσωτερική επένδυση οδηγώντας τα νερά κατά μήκος της σήραγγας, στους συλλεκτήριους και διάτρητους αγωγούς.



Τοποθέτηση Στεγανωτικής Μεμβράνης

Η μεμβράνη η οποία θα τοποθετηθεί στη σήραγγα είναι από γλωριούχο πολυβινύλιο καθορισμένης μάρκας, καθορισμένου πάχους και συμβατή με το γεώφασμα και τους δίσκους στερέωσης.

Η στήριξη της μεμβράνης γίνεται πάνω σε ροδέλες από PVC κυκλικής διατομής διαμέτρου καθορισμένων εκατοστών με εσοχή στο κέντρο βάθους. Κάτω από τις ροδέλες και από την κεφαλή του καρφιού, τοποθετούνται μεταλλικές ροδέλες ελάχιστης διαμέτρου και πάχους.

Τα σημεία τοποθέτησης των δίσκων από PVC βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με την ποιότητα του υποστρώματος με γενικό κανόνα την πύκνωση τους στα τύχη του θόλου. Ελάχιστος είναι ο αριθμός των σημείων στερέωσης, τα οποία καθορίζονται ως τεμάχια ανά την περιοχή των παρειών και τεμάχια ανά την περιοχή της οροφής.

Σε εξαιρετικές περιπτώσεις (απότομες εναλλαγές της διεύθυνσης του υποστρώματος), η στήριξη της μεμβράνης γίνεται επάνω σε λωρίδες που τοποθετούνται κατά τον διαμήκη άξονα της σήραγγας.

Τα φύλλα των μεμβρανών τοποθετούνται εγκάρσια και η στήριξή τους γίνεται με θερμοσυγκόλληση πάνω στις ήδη τοποθετημένες ροδέλες PVC. Η επικάλυψη των φύλλων είναι κατ' ελάχιστο 13 cm. Η μεταξύ τους συγκόλληση γίνεται με το ειδικό μηχάνημα διπλής ραφής και δημιουργίας πυρήνα για τον έλεγχο της συγκόλλησης.

Η κίνηση του μηχανήματος γίνεται ανεξάρτητα από την ύπαρξη υποστρώματος με ανεξάρτητο σύστημα αντιστήριξης. Η ταχύτητα συσκευής ρυθμίζεται με την απαιτούμενη θερμοκρασία, το εύρος της οποίας κυμαίνεται για μεμβράνες PVC 450 – 500 °C. Το θερμαντικό στοιχείο έχει εσοχή πλάτους τέτοιου ώστε να δημιουργείται πυρήνας για τον έλεγχο της θερμοσυγκόλλησης.

Το συνολικό πλάτος της διπλής ραφής καθορίζεται στα περίπου 30 mm. Σε περίπτωση όπου δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίηση του μηχανήματος

διπλής ραφής (καταφύγια, μπαλώματα κ.λ.π.), η θερμοσυγκόλληση γίνεται με χρήση μονάδας θερμού αέρα και εύρος συγκόλλησης κατά DIN. Οι ανωτέρω συγκολλήσεις δεν δύνανται να ελεγχθούν με ειδικό κατσαβίδι με στρογγυλεμένη ακίδα.

Σε περίπτωση αστοχίας της διπλής ραφής, είτε λόγω διακοπής της πτώσης της τάσης του ρεύματος, είτε λόγω βλάβης του μηχανήματος η αποκατάστασή της συνίστανται είτε στην επιδιόρθωση του συγκεκριμένου σημείου που έχει βλάβη και τον επανέλεγχο της ραφής, ή στη συνολική επανασυγκόλληση της ραφής με χρήση μονάδας θερμού αέρα.

Ο έλεγχος των διπλών ραφών γίνεται με εισαγωγή αέρα υπό πίεση 2,0 bar και η συγκόλληση θεωρείται επιτυχής αν μετά την πάροδο 10 min η πίεση δεν ελαττωθεί περισσότερο από 20 %.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι στις περιοχές που υπάρχουν οι κατασκευαστικοί αρμοί στην εσωτερική επένδυση από σκυρόδεμα, χρειάζεται πρόσθετη εξασφάλιση της στεγανωτικής μεμβράνης. Αυτό επιτυγχάνεται με επικόλληση πρόσθετης προστατευτικής λωρίδας μεμβράνης συγκεκριμένου πλάτους. Η λωρίδα θερμοσυγκολλείται επάνω στο κύριο φύλλο της μεμβράνης τοπικά στα άκρα της με πιστόλι θερμού αέρα.

Τα φύλλα της μεμβράνης έχουν καθορισμένο πλάτος και το μέσο του ρόλου σημειώνεται στο εργοστάσιο κατά την παραγωγή των μεμβρανών, ώστε ο τεχνίτης να διευκολύνεται κατά την εφαρμογή τους.

Το ανάπτυγμα της τελικής επιφάνειας της σήραγγας υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των επί τόπου ενδεικτικών μετρήσεων.



Τοποθέτηση Αναμονών Ελαφρού Τύπου Ανάρτησης Οπλισμού

Επάνω στη μεμβράνη θα γίνει εφαρμογή αγκυρίων των οποίων ο αριθμός, η θέση και ο τύπος θα επιλεγεί αφού καθοριστεί το σύστημα τελικής επένδυσης της σήραγγας και καθοριστούν τα φορτία που θα πρέπει να αναλάβουν τα αγκύρια. Η συγκεκριμένη μέθοδος καλύπτει την απαίτηση μη διάτρησης της μεμβράνης και τη δυνατότητα ανάρτησης βάρους 50 kgr περίπου. Η τοποθέτηση των αναμονών ελαφρού τύπου ανάρτησης του οπλισμού γίνεται χωρίς τρύπημα της μεμβράνης.

Τοποθέτηση Αναμονών Βαρέως Τύπου Ανάρτησης Οπλισμού

Η τοποθέτηση των αναμονών βαρέως τύπου ανάρτησης οπλισμού γίνεται μετά την τοποθέτηση της μεμβράνης PVC και η στερέωση τους επιτυγχάνεται με εποξειδική ρητίνη 2 συστατικών. Η δυνατότητα ανάρτησης των αναμονών είναι υπολογισμένη με συντελεστή ασφάλειας.

Κατά την τοποθέτηση γίνεται διάτρηση του γεωφάσματος της μεμβράνης για την επαρκή στεγανοποίηση της οποίας γίνεται χρήση ειδικού τεμαχίου (pipe fitting) το οποίο προσαρμόζεται στο αγκύριο και συγκολλείται επί της μεμβράνης.



Αποθήκευση Υλικών

Τα ρολά των μεμβρανών πρέπει να αποθηκεύονται σε οριζόντια θέση και να διατηρούνται στεγνά. Στο χώρο του εργοταξίου πρέπει να προστατεύονται από τη βροχή, την υγρασία και τον ήλιο.

Φορέας Στεγάνωσης (Υπόστρωμα)

Ο εργολάβος της κατασκευής είναι πάντα υπεύθυνος για τη σωστή προετοιμασία του υποστρώματος. Με βάση αυτό αναφερόμαστε στις ειδικές απαιτήσεις για το υπόστρωμα.

Η αποδοχή του φορέα στεγάνωσης γίνεται από τον εργολάβο με βάση τις απαιτήσεις της (ΤΣΥ) του έργου της στεγάνωσης παρουσία του εργοταξιάρχη, του εργολάβου της κατασκευής και του εκπροσώπου της Επιβλέπουσας Υπηρεσίας.

Στρώση Υδρομάστευσης (γεωφάσμα)

Για την προστασία της μεμβράνης και την απρόσκοπτη στράγγιση των νερών πίσω από την εσωτερική επένδυση, εφαρμόζεται στρώση γεωφάσματος στην εξομαλυσμένη επιφάνεια του gunite. Η επικάλυψη των φύλλων γεωφάσματος είναι 20- 30 cm. Υπό κανονικές συνθήκες το βάρος του αρκεί να είναι 500 gr/m².

Σε ειδικές περιπτώσεις [π.χ. υψηλής ερμάτισης ή εκτοξευμένου σκυροδέματος με μεγάλες επιφανειακές ανωμαλίες] μπορεί να χρησιμοποιηθεί γεωφάσμα βάρους μέχρι και 1000 gr/m².

Διαδικασία τοποθέτησης γεωφάσματος

Το γεωφάσμα στερεώνεται πάνω στην επιφάνεια του gunite με χρήση μεταλλικών καρφιών [μήκους 40 mm] και ροδελών από PVC, κυκλικής διατομής, διαμέτρου 80 mm, με εσοχή στο κέντρο βάθους 40 mm. Κάτω από τις ροδέλες PVC και από τη κεφαλή του καρφιού, τοποθετούνται μεταλλικές ροδέλες ελάχιστης διαμέτρου 20 mm και πάχους 1 mm. Τα καρφιά καρφώνονται πάνω στο εκτοξευμένο σκυρόδεμα, χρησιμοποιώντας μηχανήμα τύπου HILTI ή ηλεκτρικό τρυπάνι και βίδες με τα αντίστοιχα βύσματα.

Σημεία στήριξης

- Δάπεδο 1 στήριξη /m²
- Κατακόρυφη επιφάνεια, περίπου 2,0 στήριξεις /m²
- Θόλος, περίπου 3,0 στήριξεις ανά m²

Ακολουθεί η συγκόλληση της μεμβράνης από την προμηθεύτρια εταιρία.

Επικαλύψεις μεμβρανών

Η συναρμογή των μονών μεμβρανών από την προμηθεύτρια εταιρία γίνεται με θερμό αέρα. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η επικάλυψη μεταξύ των μεμβρανών. Το ελάχιστο πλάτος επικάλυψης είναι 130- 150 mm.

Συγκόλληση μεμβρανών

Γενικές παρατηρήσεις

Οι μέθοδοι συγκόλλησης των μεμβρανών πρέπει να είναι μόνον αυτές που προτείνονται από την προμηθεύτρια εταιρία. Οι επιφάνειες που θα συγκολληθούν πρέπει να είναι καθαρές και στεγνές. Πριν αρχίσει η διαδικασία συγκόλλησης πρέπει να γίνουν δοκιμαστικές συγκολλήσεις:

- Σε κάθε περιοχή σήραγγας.
- Όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικής ποιότητας ή ίδιας ποιότητας αλλά διαφορετικού πάχους μεμβράνες.
- Όταν έχουμε αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών στο εργοτάξιο.

Αυτό γίνεται για να καθοριστούν η θερμοκρασία, ταχύτητα και η πίεση συγκόλλησης που θα εφαρμοστούν. Επιφάνειες που πρόκειται να συγκολληθούν και δεν είναι καθαρές, καθαρίζονται με ένα στεγνό και καθαρό ύφασμα. Αν πρόκειται για επιφάνειες που είναι πολύ λερωμένες τότε εφαρμόζονται οι ειδικές απαιτήσεις που περιγράφονται στην προετοιμασία συγκόλλησης συναρμογών. Για μεμβράνες πάχους μεγαλύτερου των 2,0 mm όλες οι συναρμογές που διασταυρώνονται (π.χ. σε τριπλές επικαλύψεις) πρέπει να εξομαλύνονται πριν την συγκόλληση.

Συγκόλληση με θερμοπίστολο χειρός

Η συγκόλληση με θερμοπίστολο χειρός γίνεται σε τρία στάδια :

- i. Το θερμοπίστολο προθερμαίνεται περίπου για 4 λεπτά. Στη συνέχεια, η μεμβράνη συγκολλάται σημειακά στην επικάλυψη ανά τρέχον μέτρο.
- ii. Προ-συγκόλληση κατά μήκος της πίσω άκρης της επικάλυψης (rocket formation).
- iii. Τελική, στεγανή θερμοσυγκόλληση.

Σε γωνίες και κοίλους αρμούς η θερμοσυγκόλληση γίνεται με ακροφύσιο πλάτους 20 mm ενώ σε ευθύγραμμες συναρμογές χρησιμοποιείται ακροφύσιο 40 mm ανάλογα με το ακροφύσιο που χρησιμοποιείται. Οι ανωτέρω αρμοί δύναται να ελέγχουν με ειδικό κατσαβίδι με στρογγυλεμένη ακίδα 3 mm.

Συγκόλληση με αυτόματο μηχάνημα θερμού αέρα

Ο εργολάβος της στεγάνωσης πρέπει να διαβεβαιώσει ότι έχει δεχτεί λεπτομερή εκπαίδευση στο εργοτάξιο από τον κατασκευαστή ή τον προμηθευτή του μηχανήματος θερμοσυγκόλλησης. Το ίδιο πρέπει να επαναλαμβάνεται πριν ξεκινήσει η συγκόλληση μιας νέας επικάλυψης.

Αστάθεια στην τάση του ρεύματος στο εργοτάξιο είναι πιθανό να οδηγήσει σε χαμηλής ποιότητας συγκόλληση. Σε περίπτωση αστοχίας της διπλής ραφής είτε λόγω διακοπής είτε λόγω πτώση της τάσης του ρεύματος ή λόγω βλάβης του μηχανήματος, η αποκατάσταση της συνίσταται είτε την επιδιόρθωση του συγκεκριμένου σημείου που έχει βλάβη και τον επανέλεγχο της ραφής ή στην συνολική επανασυγκόλληση της ραφής με χρήση μονάδα θερμού αέρα.

Διατηρήσεις

Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παρατηρήσεις:

Ø Σε περιοχές νερού υπό πίεση

Πρέπει να αποφεύγονται οι διατρήσεις της μεμβράνης σε περιοχές που το νερό θα είναι υπό πίεση. Αν αυτό δεν μπορεί να συμβεί, τότε ασχέτως του τύπου της διάτρησης, επιτρέπονται μόνο χαλύβδινοι σωλήνες οι οποίοι θα είναι ασφαλώς αγκυρωμένοι μέσα στο υπόστρωμα της στεγάνωσης. Σε περιπτώσεις καλωδίων ή παρόμοιων διατρήσεων πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά προκατασκευασμένα τεμάχια μεμβράνης για να εξασφαλισθεί η στεγανότητα.

Σημειώνεται ότι όλες οι διατρήσεις πρέπει να έχουν την δική τους υγρομόνωση όπου αυτό απαιτείται. Στις ενώσεις των διατρήσεων πρέπει να χρησιμοποιούνται φλάντζες από ανοξείδωτο χάλυβα. Όλες οι ραφές τους πρέπει να συγκολλούνται υδατοστεγανά. Προσοχή πρέπει να δίνεται σε πιθανά προβλήματα συγκόλλησης των σωληνώσεων από το υπόστρωμα.

Ø Σε περιοχές νερού που δεν βρίσκεται υπό πίεση

Στις διατρήσεις αυτών των περιοχών μπορούν να χρησιμοποιηθούν κολάρα και σφικτήρες. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να αποφεύγονται αποθέσεις των πληρωτικών υλικών πάνω στη σκυροδετημένη επιφάνεια.

Ø Απαιτήσεις του υποστρώματος που εδράζεται στην εκσκαφή

Το υπόστρωμα πάνω στο οποίο εφαρμόζεται η μεμβράνη εξαρτάται από τη μέθοδο εκσκαφής. Γενικά, αποτελείται από εκτοξευμένο σκυρόδεμα και παρουσιάζει επιφανειακές ανωμαλίες ανάλογα με τη μέθοδο εκσκαφής. Το υπόστρωμα που θα δεχτεί τη μεμβράνη προετοιμάζεται προκειμένου να εφαρμοστεί η μεμβράνη, από τον εργολάβο κατασκευής του έργου.

Η προετοιμασία γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το σύστημα στεγάνωσης που θα χρησιμοποιηθεί, χωρίς να υπερφορτώνεται, να εφαρμόζει όσο το δυνατό περισσότερο στην επιφάνεια του υποστρώματος.

Το υπόστρωμα πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

n Κανένα χαλαρό σημείο.

- n Επαρκή αντοχή και διαστασιολογική σταθερότητα ώστε να στηριχθεί η μεμβράνη.
- n Οι εσοχές και οι εξοχές πρέπει να καμπυλωθούν με ελάχιστη ακτίνα 20 cm.
- n Για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα τελικής στρώσης η μέγιστη κοκκομετρία είναι 6 mm και το ελάχιστο πάχος 50 mm.
- n Η άμμος πρέπει να είναι κατάλληλης κοκκομετρίας.
- n Τα μεταλλικά στοιχεία που προεξέχουν πρέπει να αφαιρούνται ή να καλύπτονται.
- n Να μην υπάρχει στάσιμο νερό στην επιφάνεια εφαρμογής.

Ø Απαιτήσεις του υποστρώματος που εδράζεται σε σκυρόδεμα

Τα τούνελ που κατασκευάζονται με τη μέθοδο του ανοιχτού ορύγματος έχουν συνήθως ως υπόστρωμα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος και προκειμένου να εφαρμόσει η μεμβράνη, το υπόστρωμα προετοιμάζεται κατάλληλα από τον εργολάβο κατασκευής του έργου.

Το υπόστρωμα πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- n Καθαρή επιφάνεια (με σκούπισμα ή φύσημα).
- n Κανένα χαλαρό σημείο.
- n Η επιφάνεια πρέπει να είναι ελεύθερη από υπολείμματα κονιαμάτων και πατημασιές.
- n Οι εξοχές πρέπει να εξομαλύνονται.
- n Επαρκής αντοχή και διαστασιολογική σταθερότητα ώστε να στηριχθεί η μεμβράνη.
- n Η τραχύτητα του υποστρώματος δεν πρέπει να υπερβαίνει αυτή του εξομαλυμένου σκυροδέματος. Η επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να εξομαλύνεται σχολαστικά (χωρίς προσθήκη άμμου ή τσιμέντου).

n Το υπόστρωμα πρέπει να είναι νοτισμένο έως υγρό για όλα τα συστήματα στεγάνωσης ελεύθερης τοποθέτησης. Τα στάσιμα νερά πρέπει να απομακρύνονται. Στις περιπτώσεις μεγάλων ποσοτήτων νερού (όχι στάσιμου) πρέπει να λαμβάνονται ειδικά μέτρα στις περιοχές των ενώσεων των μεμβρανών. Το πρόσθετο κόστος αυτών των ειδικών μέτρων τιμολογείται χωριστά.

Η αποδοχή του υποστρώματος γίνεται από τον εργολάβο παρουσία του υπεύθυνου του έργου, πριν την έναρξη των ακόλουθων εργασιών στεγάνωσης.

- Κατασκευαστικοί αρμοί
- Στεγάνωση μετώπων εισόδων
- Ποιοτικός έλεγχος

Κατασκευαστικοί αρμοί

Οι αρμοί στην εσωτερική επένδυση αποτελούν επικίνδυνη περιοχή στην όλη στεγάνωση. Στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται μεγαλύτερες τιμές διατμητικών τάσεων πάνω στις μεμβράνες.

Οι κίνδυνοι ανακύπτουν κυρίως στη φάση της τοποθέτησης και της εφαρμογής του σιδ. καλουπιού της σκυροδέτησης. Έτσι προβλέπεται πρόσθετη εξασφάλιση της στεγανωτικής μεμβράνης, όπου υπάρχουν κατασκευαστικοί αρμοί, η οποία επιτυγχάνεται με επικόλληση πρόσθετης προστατευτικής λωρίδας ίδιου υλικού 50 cm. Η πρόσθετη αυτή λωρίδα τοποθετείται επάνω στην κυρίως ραφή, ενώ περιφερειακά συγκολλάται με χειροκίνητη μηχανή.

Στεγάνωση μετώπων εισόδων

Λαμβάνεται μέριμνα στη σύνδεση της στεγανωτικής κατασκευής που είναι μέσα στη σήραγγα με αυτές των εισόδων γιατί η περιοχή υποδεικνύεται ως ευαίσθητη στις καθιζήσεις.

Συνιστάται οι κατασκευές εισόδου να διαμορφώνονται μετά την ολοκλήρωση της εσωτερικής επένδυσης με σκυρόδεμα και στον ενδιάμεσο χρόνο η στεγάνωση θα προστατεύεται με βοηθητικά μέσα.

Η βοηθητική στεγάνωση θα απομακρύνεται αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή της εισόδου και ο αρμός θα σφραγίζεται. Αν η είσοδος κατασκευάζεται με ανοιχτή μέθοδο θα στεγανώνεται αφού περιληφθεί η μεμβράνη μεταξύ δύο γεωφασμάτων προστασίας. Σε περίπτωση που αργότερα επικαλυφθεί με κονίαμα τότε καλό είναι να γίνεται προστατευτική επικάλυψη με σκυρόδεμα πάχους ≥ 5 cm. Η τελική στρώση της στεγανωτικής μεμβράνης περιμετρικά της εισόδου πραγματοποιείται μηχανικά με κατάλληλη λάμα ή συγκόλληση με χρήση ειδικών προφίλ τα οποία ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα.

Η μεμβράνη και τα υλικά στεγάνωσης που θα χρησιμοποιηθούν είναι σταθερό διαρκώς έναντι του νερού της βραχώμαζας και δεν εμφανίζουν απώλεια της προστατευτικής τους ικανότητας λόγω των αναμενόμενων μετακινήσεων ή τμημάτων της κατασκευής από αλλαγές θερμοκρασίας, καθιζήσεις ή συστολές.

Τα στεγανωτικά υλικά είναι συμβατά μεταξύ τους έναντι όλων των άλλων γειτονικών υλικών κατασκευής (κύριων και βοηθητικών). Συμπεριφέρονται δε ομοιόμορφα απέναντι στις εξωτερικές επιδράσεις και στο χρόνο ζωής του έργου. Όλες οι ραφές της χαλαρά τοποθετημένης μονωτικής μεμβράνης θα υποβληθούν σε δοκιμή στεγανότητας. Η πίεση της δοκιμής πεπιεσμένου αέρα δεν πρέπει να ξεπερνά 2,5 bar. Η δοκιμή θα διαρκεί τουλάχιστον 10 min και δεν υπερβαίνει τα 30 min. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει δυνατότητα να μειωθούν τα μήκη των ενώσεων που δοκιμάζονται.

Οι δοκιμές εκτελούνται με την παρουσία του εκπροσώπου της επιβλέπουσας Υπηρεσίας και τηρείται πρωτόκολλο με τα στοιχεία που. Όλες οι εργασίες θα εκτελούνται από έμπειρο και ειδικευμένο προσωπικό.



Παραλαβή εργοταξιακών ραφών μονωτικής μεμβράνης

Όλες οι ραφές της χαλαρά τοποθετημένης μεμβράνης πρέπει να υποβληθούν σε μια συνεχή δοκιμή στεγανότητας και μηχανικής αντοχής με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα που πρεσάρεται μέσα στο αυλάκι της ραφής υπό πίεση διακοσίων (200) Kpa επί δέκα (10) λεπτά. Πριν από τον έλεγχο οι ραφές πρέπει να έχουν κρυώσει επαρκώς. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να μειώνονται τα μήκη των ενώσεων που δοκιμάζονται. Οι δοκιμές πρέπει να εκτελούνται παρουσία εκπροσώπου του αναδόχου και της επίβλεψης.

Παρουσίαση των Ελέγχων Στεγάνωσης

i. Σκοπός

Σκοπός της Οδηγίας είναι η περιγραφή των ελέγχων που πρέπει να διενεργούνται πριν από την έναρξη των εργασιών τοποθέτησης στεγανωτικής μεμβράνης σε επιφάνειες δομικών έργων (γέφυρες, οχετοί, κτίρια, κ.λ.π.), κατά τη διάρκεια και στο τέλος των εργασιών, έτσι ώστε το σύστημα στεγάνωσης να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των προδιαγραφών που αναφέρονται στην Σύμβαση.

ii. Πεδίο Εφαρμογής

Η Οδηγία εφαρμόζεται σε εργασίες στεγάνωσης και αποστράγγισης κατασκευών, όπως αυτές περιγράφονται.

iii. **Υπευθυνότητες**

Υπεύθυνος/οι για την εφαρμογή της Οδηγίας και την συμπλήρωση των εντύπων, είναι ο/οι Μηχανικός/οι κατασκευής του Αναδόχου.

iv. **Περιγραφή Ελέγχων**

∅ Προκαταρκτικοί έλεγχοι

- Έλεγχος ότι έχει προηγηθεί (όπου απαιτείται) εξομάλυνση της επιφάνειας εφαρμογής της στεγάνωσης, με αφαίρεση τεμαχίων του σκυροδέματος, που προεξέχουν με άμβλυση απότομων ακμών και με κοπή κάθε προεξέχοντος μεταλλικού αντικειμένου.
- Έλεγχος συστήματος απαγωγής-αποχέτευσης των ομβρίων υδάτων (στόμια, σωληνώσεις, ειδικά τεμάχια, κ.λ.π.).
- Έλεγχος ότι οι εργασίες εκτελούνται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος μεγαλύτερες των 5° C.
- Έλεγχος καταλληλότητας υλικών και χρησιμοποιούμενου Μηχανικού Εξοπλισμού.

∅ Έλεγχοι κατά τη διάρκεια των εργασιών τοποθέτησης

- Η στεγάνωση του έργου θα γίνεται σύμφωνα με το στεγανοποιητικό σύστημα και τη μεθοδολογία που έχει εγκριθεί και που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις.
- Καταρχήν, η επιφάνεια του σκυροδέματος που θα στεγανοποιηθεί πρέπει να είναι επίπεδη, στεγνή και τελείως καθαρή.
- Πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος ή τσιμεντοκονιάματος θα γίνει διπλή επάλειψη με εγκεκριμένο ειδικό ασφαλτικό μονωτικό υλικό.
- Αμέσως μετά θα γίνεται διάστρωση και επικόλληση του ανάλογου τύπου εγκεκριμένης στεγανωτικής μεμβράνης (μονής ή διπλής) σύμφωνα με τις γραπτές οδηγίες του κατασκευαστή και την εγκεκριμένη μεθοδολογία.

- Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στον τρόπο τοποθέτησης των φύλλων και στις επικαλύψεις αυτών (ραφές) σε όλη την προς στεγανοποίηση επιφάνεια και σε τυχόν κατακόρυφα στοιχεία αυτής (πεζοδρόμια, νησίδες, στηθαία, κ.λ.π).
- Αφού γίνει ο απαραίτητος μακροσκοπικός έλεγχος και η διόρθωση τυχόν αστοχιών, ακολουθεί η εργασία τοποθέτησης της απαιτούμενης προστατευτικής στρώσης της στεγάνωσης.
- Κατά τη διάρκεια των εργασιών της τοποθέτησης του συστήματος αποστράγγισης και στεγανοποίησης πραγματοποιούνται οι ακόλουθοι έλεγχοι:
 - ü Έλεγχος ότι η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία και ο Υπεργολάβος εργασιών (αν απαιτείται) είναι εγκεκριμένοι.
 - ü Έλεγχος καταλληλότητας εξοπλισμού για την τοποθέτηση και συγκόλληση των φύλλων μεμβράνης, σύμφωνα με τις γραπτές οδηγίες του κατασκευαστή και την εγκεκριμένη μεθοδολογία.
 - ü Έλεγχος ότι τα χρησιμοποιούμενα για τη στεγάνωση του έργου υλικά, είναι τα εγκεκριμένα.
 - ü Έλεγχος της προεπάλειψης (αστάρωμα) με ειδικό ασφαλικό υλικό της καθαρής επιφάνειας σκυροδέματος.
 - ü Έλεγχος του είδους και του τρόπου συγκόλλησης της μεμβράνης, σύμφωνα με τις γραπτές οδηγίες του κατασκευαστή και την εγκεκριμένη μεθοδολογία.
 - ü Έλεγχος των απαιτούμενων επικαλύψεων και του τρόπου συγκόλλησης των ραφών, σύμφωνα με τις γραπτές οδηγίες του κατασκευαστή και την εγκεκριμένη μεθοδολογία.
 - ü Έλεγχος τοποθέτησης μεμονωμένων τμημάτων μεμβράνης σύμφωνα με τις προτεινόμενες οδηγίες του κατασκευαστή.

- ü Έλεγχος ότι η στεγανωτική στρώση τερματίζεται σε κατάλληλη εσοχή στο σκυρόδεμα στα κατακόρυφα στοιχεία (π.χ. στηθαία), εφόσον απαιτείται από τη μελέτη.
- ü Έλεγχος τοποθέτησης οριζόντιων και κατακόρυφων αρμών.
- ü Αρχικός μακροσκοπικός έλεγχος της τοποθετημένης μεμβράνης για τις αναγκαίες επιδιορθώσεις αστοχιών, διατρήσεων κλπ. Σε περίπτωση ανάγκης επιδιορθώσεων αστοχιών, απαιτείται επανέλεγχος για την αποδοχή ή μη της εργασίας αυτής.

ø Έλεγχοι μετά την ολοκλήρωση των εργασιών

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών τοποθέτησης της στεγανωτικής μεμβράνης πραγματοποιούνται οι ακόλουθοι έλεγχοι :

- Μακροσκοπικός επανέλεγχος του συστήματος της στεγάνωσης πριν την έναρξη οποιασδήποτε άλλης εργασίας (π.χ. προστασίας μόνωσης), για τις αναγκαίες επιδιορθώσεις αστοχιών, διατρήσεων κλπ. Σε περίπτωση ανάγκης επιδιορθώσεων αστοχιών απαιτείται επανέλεγχος για την αποδοχή ή μη της εργασίας αυτής.
- Έλεγχος για την απαιτούμενη τοποθέτηση προστασίας της μόνωσης και περιγραφή του τρόπου αυτής (π.χ. άσφαλτος, ασφαλτοσκυρόδεμα, τσιμεντοκονία, σκυρόδεμα C20/25 με σιδηρό πλέγμα, κ.λ.π.).

ø Έντυπα

- Φύλλο ελέγχου εργασιών προκ/κών ελέγχων.
- Φύλλο ελέγχου εργασιών τοποθέτησης στεγανωτικής μεμβράνης.
- Πρωτόκολλο δοκιμών ραφής στεγανωτικής μεμβράνης.

ΕΡΓΟ:

ΑΝΑΛΟΧΟΣ:

Κωδικός: ΦΕΕ-500.01
ΕΚΔΟΣΗ Α
Ημερομηνία:
Α/Α

ΚΩΔ. ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΡΓΟΥ

ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ
ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΤΕΓΑΝΩΤΙΚΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ
ΕΡΓΩΝ

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΡΓΟΥ: _____

ΘΕΣΗ(Χ.Θ.): _____ ΜΕΧΡΙ Χ.Θ): _____

Α. Προκαταρκτικοί Έλεγχοι

- Παραλαβή επιφάνειας προς στεγανοποίηση: ΑΠΟΔΕΚΤΗ
 ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ
Αποκατάσταση και εξομάλυνση επιφάνειας
 ΑΠΟΔΕΚΤΗ
- Σύστημα σωλήνων απαγωγής ομβρίων: ΑΠΟΔΕΚΤΟ ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟ
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος (> 5° C): ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ

Ανάδοχος	Μηχανικός Κατασκευής	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣ ΕΙΣ	
Κύριος του Έργου	Εκπρόσωπος του Κ.τ.Ε.		

Συστήματα Στεγάνωσης Σιδηροδρομικών Σηράγγων

ΕΡΓΟ:

ΑΝΑΔΟΧΟΣ:

Κωδικός: ΦΕΕ-500.02
ΕΚΔΟΣΗ Α
Ημερομηνία:
Α/Α

ΚΩΔ. ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΡΓΟΥ

--	--	--	--

ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΤΕΓΑΝΩΤΙΚΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΥΤΗΣ

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΡΓΟΥ: _____ ΑΠΟ (Χ.Θ.): _____ ΕΩΣ (Χ.Θ.): _____

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: _____

Σημείο Ελέγχου: Κρίσιμο

Α. Κατά τη διάρκεια των εργασιών τοποθέτησης της στεγανωτικής μεμβράνης

- Ονομασία υλικού στεγάνωσης:..... ΝΑΙ ΟΧΙ
- Υλικό εγκεκριμένο ΝΑΙ ΟΧΙ
- Στεγάνωση με δύο στρώσεις μεμβράνης :..... ΝΑΙ ΟΧΙ
- Στεγάνωση με μία στρώση ειδικής μεμβράνης : ΝΑΙ ΟΧΙ
- Στεγάνωση με άλλη μέθοδο: ΝΑΙ ΟΧΙ
- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:.....
- Μεθοδολογία εργασιών τοποθέτησης: ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΜΗ ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ
- Υπεργολάβος εκτέλεσης εργασιών:..... ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΣ ΜΗ ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΣ
- Εξοπλισμός εφαρμογής – συγκόλλησης: ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΣ ΜΗ ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΣ
- Υλικά / Μικροϋλικά εργασιών: ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΜΗ ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ
- Διπλή προεπάλειψη (αστάρωμα) επιφάνειας σκυροδέματος..... ΝΑΙ ΟΧΙ
- Συγκόλληση μεμβράνης: ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ
- Επικαλύψεις μεμβρανών:..... ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ
- Έλεγχος επικαλύψεων-ραφών:..... ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ
- Τοποθέτηση μεμονωμένων τμημάτων μεμβράνης σύμφωνα με τη μεθοδολογία των εργασιών και τις οδηγίες του κατασκευαστή:..... ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ
- Στηρίζεις συστήματος στην περιοχή κατακόρυφων απολήξεων – στηθαίων..... ΝΑΙ ΟΧΙ
- Αρχικός μακροσκοπικός επανέλεγχος συστήματος: ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ
- Εργασίες αποκατάστασης αστοχιών ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ

Β. Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών τοποθέτησης της στεγανωτικής μεμβράνης

- Τοποθέτηση προστασίας μεμβράνης:..... ΝΑΙ ΟΧΙ
- Τύπος προστασίας:..... ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ
- Μακροσκοπικός επανέλεγχος συστήματος: ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ

Εργασίες αποκατάστασης αστοχιών ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ

Ανάδοχος	Μηχανικός Κατασκευής	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	
Κύριος του Έργου	Εκπρόσωπος του Κ.τ.Ε		

Συστήματα Στεγάνωσης Σιδηροδρομικών Σηράγγων

ΑΝΑΔΟΧΟΣ:

Κωδικός: ΠΡΩΤ-011-01
ΕΚΔΟΣΗ Α
Ημερομηνία:
Α/Α

ΕΡΓΟ:

ΚΩΔ. ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΕΡΓΟΥ

--	--	--	--	--	--

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΟΚΙΜΩΝ ΡΑΦΩΝ ΣΤΕΓΑΝΩΤΙΚΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

ΕΡΓΟ: _____

ΘΕΣΗ (Χ.Θ.): ΑΠΟ: _____ ΕΩΣ: _____

ΥΠΕΡΓΟΛΑΒΟΣ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ: _____

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΔΟΚΙΜΩΝ							
Α/Α ΡΑΦΗΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΙΕΣΗ (Bars)	ΤΕΛΙΚΗ ΠΙΕΣΗ (Bars)	ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΣΠΙΕΣΗΣ (ΜΙΝ)	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
					ΑΠΟΔΕΚΤΑ	ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΑ	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ (Σχόλια, Κρίσεις):							

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΤΑ DS 835 ΑΛΛΗ

ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΛΑΒΗ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
ΥΠΕΡΓΟΛΑΒΟΣ			
ΑΝΑΔΟΧΟΣ			
ΥΠΗΡΕΣΙΑ			

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ

Τοποθέτηση του Προβλήματος

Σύμφωνα με την εφαρμογή το υποβληθέν δείγμα ενός πλαστικού φύλλου για την στεγανοποίηση των σηράγγων με μεμβράνη ονομαστικού πάχους 2 mm θα έπρεπε να εξεταστεί στις ποικίλες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες.

Το προαναφερθέν πλαστικό φύλλο εξετάστηκε σε EMPA όσον αφορά τις απαιτήσεις από SIA 280, μερικά από αυτά τα αποτελέσματα περιλαμβάνονται στην έκθεση αναφοράς.

Απόδοση των Τεστ και των Αποτελεσμάτων

- **Γενικές προδιαγραφές**

Το υποβληθέν φύλλο της σήραγγας είναι χωρίς φυσαλίδες, ρωγμές και κοιλότητες.

- **Πάχος**

Ο προσδιορισμός του πάχους σύμφωνα με το DIN 53 370 παρήγαγε μια μέση τιμή

$$D=1,90\pm 0,02 \text{ mm}$$

- **Βάρος ανά μονάδα σε περιοχή**

$$G=2529 \pm 7 \text{ g/m}^2$$

Δοκιμή Κάμψης

Ο προσδιορισμός της δύναμης κάμψης και επιμήκυνσης στο σπάσιμο μέσα σε δοκιμή κάμψης έγινε σε 23° C χρησιμοποιώντας μια μηχανή ηλεκτρονικής δοκιμής (τύπος Zwick) με ταχύτητα δοκιμής 200 mm/min, δείγματα τα οποία λήφθηκαν σε διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση του φύλλου:

Δύναμη κάμψης:

- **17,9 ± 0,1 N/mm² (διαμήκη διεύθυνση)**
- **15 ± 0,1 N/mm² (εγκάρσια διεύθυνση)**

Επιμήκυνση στο σπάσιμο:

- **328 ± 7 % (διαμήκη διεύθυνση)**
- **330 ± 7 % (εγκάρσια διεύθυνση)**

Συντελεστής ελαστικότητας

Ο συντελεστής ελαστικότητας εξετάστηκε μεταξύ 1 % και 2 % σε 23°C με ταχύτητα του τεστ 1 mm/min (διαμήκης και εγκάρσια διεύθυνση).

- **E=10 ± 1 N/mm² (διαμήκης)**
- **E=10 ± 1 N/mm² (εγκάρσια)**

Δύναμη ραφών

Ο προσδιορισμός της δύναμης ραφής έγινε σε EMPA. Σε όλες τις περιπτώσεις το σπάσιμο των δειγμάτων εκτός από την στενά ενωμένη ραφή, κατά τη διάρκεια των δοκιμών κάμψης το δείγμα δεν παρουσίασε καμία ολίσθηση ούτε ξεγλίστρησε.

Αντίσταση σχισίματος

Η δοκιμή της αντίστασης του σχισίματος έγινε σε 23° C με ταχύτητα δοκιμής 500 mm/min με τυποποιημένα δείγματα, τα οποία λήφθηκαν σε διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση από το υποβληθέν φύλλο.

Οι ακόλουθες μέσες τιμές που λήφθηκαν:

48,1 ± 3,5 N/mm (διαμήκης)

40,7 ± 3,5 N/mm (εγκάρσια)

Αντίσταση στην πίεση ύδατος (αντίσταση πίεσης ύδατος)

Η δοκιμή της αντίστασης στην πίεση ύδατος με τις συσκευές πίεσης αυλακώσεων έγινε σε EMPA αλλά με αυξανόμενη πίεση ύδατος (μέχρι 5 bar=0,5 N/mm²) και τον αυξανόμενο χρόνο της διάρκειας μέχρι 1 ώρα.

Αποτελέσματα:

Υπό τους προαναφερθέντες όρους της δοκιμής δεν θα παρατηρηθεί καμία διείσδυση στο νερό μέσω του πλαστικού φύλλου.

Αντίσταση διατρήσεων

Η δοκιμή της αντίστασης διατρήσεων έγινε σε EMPA. Στο υποβληθέν φύλλο αποδείχθηκε η διαρροή σε ένα μέγιστο σημείο πτώσης 810 mm.

Χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια και μετά από θραύση θερμικής επεξεργασίας σε 80° C.

Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των δειγμάτων σε 80° C για χρονική περίοδο 6 ωρών το φύλλο δεν παρουσίασε δημιουργία φουσκαλών, οι αλλαγές ήταν μικρότερες από 1,4% (διαμήκης) και 0,25% (εγκάρσια).

Κρύα δοκιμή κάμψεων

Το φύλλο δεν παρουσίασε ρωγμές μετά από κρύα δοκιμή κάμψης σε θερμοκρασία -20° C (EMPA-έκθεση αναφοράς).

Αντίσταση στις ρίζες

Ο προσδιορισμός της αντίστασης στις ρίζες έγινε σε EMPA αντίστοιχα SIA 280 (δοκιμή No 10).

ΠΙΝΑΚΑΣ 7
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΔΟΚΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
		Διαμήκεις	Εγκάρσια
1.Γενικές προδιαγραφές	-	Χωρίς φυσαλίδες, ρωγμές και κοιλότητες	
2.Πάχος	mm	1,9 ± 0,02	
3.Βάρη ανά μονάδα	g/m ²	2529 ± 7	
4.Δοκιμή κάμψης			
α. Δύναμη κάμψης	N/mm ²	17,8 ± 1	15 ± 0,1
β. Επιμήκυνση στο σπάσιμο	%	328 ± 7	330 ± 5
5.Συντελεστής ελαστικότητας	N/mm ²	10 ± 1	10 ± 1
6.Δύναμη ραφών		Σπάσιμο εκτός από την στενά ενωμένη ραφή	
7.Αντίσταση σχισίματος	N/mm ²	48,1 ± 3,5	40,7 ± 3
8.Αντίσταση στο νερό		πέρασε	
9.Αντίσταση διατρήσεων		Διαρροή σε ένα μέγιστο σημείο πτώσης 850 mm	
10.Αλλαγή διαστάσεων διατομή μετά από θερμότητα	%	1,4	0,25
11.Κρύα δοκιμή κάμψεων		Καμία ρωγή	
12.Αντίσταση στις ρίζες		Πέρασε	

Εφαρμογή

Το υποβληθέν δείγμα φύλλου πλαστικού PVC θα έπρεπε να εξεταστεί.

Πειραματική επιβολή

- Θερμική γήρανση: Οι δοκιμές έχουν πραγματοποιηθεί με θερμική γήρανση 7 ημέρες /80° C).
- Αντίσταση στα διαλύματα άλατος: Οι δοκιμές έχουν πραγματοποιηθεί με αντοχή σε υδάτινες λύσεις 28 ημέρες /23° C).

Αποτελέσματα

∅ Θερμική γήρανση

ΠΙΝΑΚΑΣ 8

Δείγμα	Δύναμη κάμψης N/mm ²	Επιμήκυνση στο σπάσιμο %	Εν ψυχρώ δοκιμή κάμψεων
Διάμηκες	16,2 ± 0,1	310 ± 3	Καμία ρωγμή
Εγκάρσιο	14 ± 0,2	305 ± 2	Καμία ρωγμή
7ημέρες/80° C (διάμηκες)	16 ± 0,2 (-1,2%)	306 ± 1 (-1.3%)	Καμία ρωγμή
7ημέρες/80° C (εγκάρσιο)	14,1 ± 0,1 (+0,7%)	298 ± 2 (-2.3%)	Καμία ρωγμή

Μετά από την αποθήκευση το φύλλο δεν παρουσίασε καμία φυσαλίδα ή κοιλότητα. Σύμφωνα με προδιαγραφές κατά DIN 16 938 : Αλλαγή στη πίεση της κάμψης και αλλαγή της επιμήκυνσης για σπάσιμο: ± 20%, κρύα δοκιμή κάμψης: καμία ρωγμή στους -20° C.

Ø Αντίσταση στα διαλύματα άλατος

ΠΙΝΑΚΑΣ 9

Εξεταζόμενη λύση	Δύναμη κάμψης N/mm ²	Επιμήκυνση στο σπάσιμο %	Εν ψυχρό δοκιμή κάμψεων
Διάμηκες	16,2 ± 0,1	310 ± 3	Καμία ρωγμή
Εγκάρσιο	14 ± 0,2	305 ± 2	Καμία ρωγμή
10% NaCL/28ημέρες			
Διάμηκες	16,4 ± 0,1 (+1,2%)	333 ± 2 (+7,4%)	Καμία ρωγμή
Εγκάρσιο	13,8 ± 0,3 (-1,4%)	318 ± 12(+4,3%)	Καμία ρωγμή
Ασβέστης με νερό/28ημέρες			
Διάμηκες	16,2 ± 0,2 (+0%)	332 ± 2 (+7,1%)	Καμία ρωγμή
Εγκάρσιο	13,8 ± 0,2(-1,4%)	314 ± 4 (+3%)	Καμία ρωγμή
Θειώδης οξύ (5-6%)/28ημέρες			
Διάμηκες	14,5 ± 0,2(+10,5%)	314 ± 9(+1,3%)	Καμία ρωγμή
Εγκάρσιο	13,2 ± 0,4(-5,7%)	334 ± 12(+9,5%)	Καμία ρωγμή

Μετά από την αποθήκευση το φύλλο δεν παρουσίασε καμία φυσαλίδα ή κοιλότητα. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN 16 938 : Αλλαγή στη πίεση της κάμψης και αλλαγή της επιμήκυνσης για σπάσιμο: ±20%, κρύα δοκιμή κάμψης:καμία ρωγμή στους -20° C.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Η ποιότητα του πλαστικού φύλλου PVC εξετάστηκε σύμφωνα με DIN 16 938 στις ακόλουθες δοκιμές:

- Ø Θερμική γήρανση.
- Ø Αντίσταση στα διαλύματα άλατος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

(Case studies)



**ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΣΥΝΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΡΓΩΝ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ (CASE STUDIES) ΟΠΟΥ
ΕΧΟΥΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΠΑΡΟΜΟΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ**

ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕΤΡΟ

(Σύστημα Δύο Διελεύσεων)

ΜΕΡΟΣ 1 - ΓΕΝΙΚΟ

Σε αυτήν την ενότητα περιγράφεται, μελετάται και αναλύεται το σύστημα στεγανοποίησης μιας υπόγειας σήραγγας από όπου πρόκειται να γίνει διέλευση μετρό. Αποδεδειγμένα χαρακτηρίζετε ως το σπουδαιότερο, το δυσκολότερο και το πιο απαιτητικό κατασκευαστικό τμήμα των υπόγειων έργων, διότι οι συνθήκες κατασκευής είναι πάρα πολύ δύσκολες και πολλές φορές αντίξοες. Το μεγαλύτερο τμήμα του μετρό συνήθως βρίσκεται κάτω από πυκνοκατοικημένες περιοχές και κυρίως μεγαλουπόλεις που αυτό γιγαντώνει τις απαιτήσεις τόσο της διάνοιξης όσο και της στεγάνωσης.

Περιγραφή

i. Αυτό το τμήμα διευκρινίζει μεταξύ των αρχικών και τελικών επενδύσεων, την παροχή ενός μόνιμου στεγανοποιητικού συστήματος και μιας σχετικής κατασκευής στεγάνωσης.

ii. Η αναφερόμενη εργασία διευκρινίζει:

- Στεγάνωση έργων
- Χωμάτινη σήραγγα.
- Επένδυση σηράγγων προκατασκευασμένου σκυροδέματος
- Επί τόπου σκυρόδεμα.
- Διάφορα μεταλλικά υλικά.

iii. Ορισμοί

- Στεγανοποίηση: η γεωμεμβράνη και το γεωύφασμα εγκαθίστανται γύρω από την περιφέρεια της σήραγγας μεταξύ των αρχικών και των τελικών επενδύσεων.
- Γεωύφασμα: γεωυλικό που παρέχει κανάλι υπόγειας στεγανοποίησης και προστασία της γεωμεμβράνης από τις αιχμηρές προβολές αντικειμένων της αρχικής επένδυσης.
- Γεωμεμβράνη: Συνθετική μεμβράνη σχηματισμένη συγκεκριμένα για τη κατασκευή της σήραγγας ενάντια στην πίεση υπόγειων νερών.
- Πυθμένας σήραγγας ανεστραμμένης διατομής: προσωρινός σωλήνας στράγγισης του αγωγού.
- Υδροφραγή: υδροφραγές που τοποθετούνται γύρω από ολόκληρη την περιφέρεια της σήραγγας όπου συνιστώνται.
- Υφασμάτινο φίλτρο στεγάνωσης: τοποθετείται στις τρύπες διαρροής όπου υποδεικνύεται.

Διασφάλιση Ποιότητας

i. **Κώδικες, κανονισμοί, πρότυπα αναφοράς και προδιαγραφές:**

- Σύμφωνα με τους κώδικες και τους κανονισμούς των υπηρεσιών ιδιωτικών έργων.
- ASTM: A276, D257, D374, D638, D746, D751, D1777, D2136, D3776, D3787, D4491, D4533, D4632, D4716.
- NFPA: 701.

ii. **Προσόντα του κατασκευαστή:**

- Επιλέξτε έναν κατασκευαστή που συμμετέχει τακτικά στην παραγωγή τέτοιου είδους γεωμεμβρανών και γεωυφασμάτων και των υδροφραγών.

iii. **Επίβλεψη και εκπαίδευση:**

- Να υπάρχει παρών αντιπρόσωπος του κατασκευαστή κατά τη διάρκεια των πρώτων δέκα εργάσιμων ημερών της εγκατάστασης .
- Η εκτέλεση των δοκιμών εγκατάστασης να γίνεται υπό την άμεση επίβλεψη ενός ατόμου με πρόσφατη, συνεχή και επιτυχή εμπειρία και κατάρτιση στην εγκατάσταση των επενδύσεων σηράγγων με μεμβράνες.
- Να παρέχετε προσωπικό που να συμμετέχει στην εγκατάσταση και τη δοκιμή.

iv. **Προστασία μεμβρανών:**

- Να παρέχεται η μέθοδος και τα υλικά ώστε να αποφευχθούν ζημιές στην γεωμεμβράνη πριν πραγματοποιηθεί η τελική τοποθέτηση.

ΥΠΟΒΟΛΕΣ

Υποβάλατε τα παρακάτω για έγκριση σύμφωνα με τις Γενικές Απαιτήσεις της Σύμβασης και με τις πρόσθετες απαιτήσεις όπως καθορίζονται για κάθε μια:

i. **Δείγματα υλικών:**

- Γεωμεμβράνη: $1 \text{ ft}^2 = 0.1089\text{m}^2$
- Διπλή στενά ενωμένη ραφή: $1 \text{ ft}=0.33\text{m}$
- Γεώφασμα: $1 \text{ ft}^2 = 0.1089\text{m}^2$.
- Σύστημα σύνδεσης μεμβρανών: 2.
- Υδροφραγή: $1 \text{ ft}=0.33\text{m}$ μήκους, ενωμένο στενά στη γεωμεμβράνη .
- Υφασμάτινο φίλτρο στεγάνωσης: $1 \text{ ft}^2 = 0.1089\text{m}^2$.

ii. **Συστάσεις εγκατάστασης από τον κατασκευαστή:**

- Αποθήκευση.
- Χειρισμός.
- Εγκατάσταση.
- Συρραφή.

- Σύνδεση.
 - Δοκιμή.
 - Οδηγίες επισκευής.
 - Ειδικές οδηγίες για τις γωνίες και διατομές.
 - Εξοπλισμός εγκατάστασης.
 - Μέθοδος ανίχνευσης ζημίας.
- iii. **Προσόντα κατασκευαστών και εφαρμοστών:**
- Στοιχεία προσόντων των κατασκευαστών και των εφαρμοστών.
 - Περίληψη των επιβλεπόντων των εγκαταστάσεων επένδυσης.
- iv. **Πιστοποιητικό συμμόρφωσης των απαιτήσεων αυτής της προδιαγραφής.**
- v. **Κατασκευαστικά σχέδια, που περιλαμβάνουν ως ελάχιστα τα εξής:**
- Σχεδιάγραμμα φύλλων της γεωμεμβράνης που απαριθμεί τις ραφές.
 - Λεπτομέρειες των ραφών, προστασία διαφραγμάτων, εξάρτημα σύνδεσης για τα ενσωματωμένα ευθυγραμμισμένα στοιχεία και άλλες λεπτομέρειες της κατασκευής.
 - Σύνδεση θέσεων και λεπτομερειών των γεωφασμάτων φίλτρων των υδροφραγών και των γεωαγωγών.
- vi. **Τα σχέδια εργασίας που συμπεριλαμβάνουν την συχνότητα τοποθέτησης και την υποστήριξη του πυθμένα της σήραγγας.**

ΟΡΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- i. Να εγκαταστήσετε τη στεγανοποίηση μόνο μετά από την έγκριση της αρχικής επένδυσης.
- ii. Να αντικαταστήσετε ή επισκευάσετε τμήματα της στεγανοποιητικής μεμβράνης που αποδείχτηκε να είναι ελαττωματική σύμφωνα με τη δοκιμή

ραφών της γεωμεμβράνης ή με την οπτική επιθεώρηση.

ΜΕΡΟΣ 2 - ΥΛΙΚΑ

ΥΛΙΚΑ

i. Γεώφασμα

Γεώφασμα πολυπροπυλενίου 100%, μη υφαντό που τρυπιέται με διατρητική μηχανή επί του ομοιόμορφου πάχους και της σύστασης της επιφάνειας. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ελάχιστες φυσικές ιδιότητες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9

ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ
Πάχος (mils)	ASTM D1777	285
Βάρος μονάδων (oz./ yd ²)	ASTM D3776	22
Δύναμη κάμψης (lbs)	ASTM D4632	285/340
Επιμήκυνση (%)	ASTM D4632	85
Τραπεζοειδής τομή (lbs)	ASTM D4533	135/155
Δύναμη έκρηξης (psi)	ASTM D3787	400
Διακύμανση επίπεδης ροής (gpm/ft.width)	ASTM D4716	0.04
Σειρά pH	-	2 έως 13

ii. Γεωμεμβράνη

- Γενικά: πλαστικοποιημένη στεγνωτική μεμβράνη PVC με ομοιόμορφη σύσταση στην επιφάνεια ενισχυμένη με υφαντό ιστό ή από γυάλινη τσόχα.
- Φυσικές ιδιότητες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 10
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
Πάχος (inch) Αναστροφή Αψίδα	ASTM D751	0.118 0.079
Τελευταία δύναμη κάμψης(lbs./ in ²)	ASTM D638	2000
Τελευταία επιμήκυνση (%) Glass Woven	ASTM D638	200 25
Εύφλεκτο	NFPA 701	Μονή εξάλειψη
Διηλεκτρική δύναμη	ASTM D257	440 έως 462
Αριθμός pH	-	2 έως 13
Χαμηλή θερμοκρασία	ASTM D2136	Πέρασμα στους 40 f
Ενισχυμένο υφασμένο ιστό	-	13

iii. **Πυθμένας σήραγγας ανεστραμμένης διατομής:**

- PVC
- Υποστήριξη: κατασκευασμένος με συμβατά υλικά PVC.

iv. **Εξαρτήματα:** κατασκευασμένα με συμβατά υλικά PVC, με εσοχές για μεταλλικά καρφιά.

v. **Υδροφραγές**

- Υδροφραγή με στεγανή βάση, με διάταξη τουλάχιστον έξι πλευρών,

1 ½ ίντσα ελάχιστο ύψος και ελάχιστο πλάτος 16 ίντσες, κατασκευασμένη από πλαστικό συμπαγές πολυβινυλοχλωρίδιο, συμβατό με την γεωμεμβράνη.

- Φυσικές ιδιότητες

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΦΡΑΓΩΝ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΕΣΤ	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
Πάχος (inch)	ASTM D374	0.125
Τελευταία δύναμη κάμψης (lbs./ in ²)	ASTM D638	2000
Τελευταία επιμήκυνση (%)	ASTM D638	300
Χαμηλή θερμοκρασία	ASTM D746	Πέρασμα στους 20 f

iv. Υφασμάτινο φίλτρο στεγάνωσης.

- BML αγωγός B-DRAIN 60 ή βιομηχανικά συστήματα AKZO ή εγκεκριμένα συστήματα Enkadrain 9120 ή ίδιας κατηγορίας.
- Φυσικές ιδιότητες

ΠΙΝΑΚΑΣ 12

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΦΙΛΤΡΟΥ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΕΣΤ	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
Δύναμη κάμψης	ASTM 04632	100
Βάρος	ASTM 03776	4,0
Ποσοστό ροής του νερού	ASTM 04491	160

- v. **Ελαστικό σφουγγάρι:** κλειστό κελύφους νεοπρενίου, ελάχιστο πάχος $\frac{1}{4}$ in $\approx 0,64$ cm, όπως κρίθηκε από τον κατασκευαστή των στεγανοποιητικών μεμβρανών PVC.
- vi. **Κόλλα νεοπρενίου:** όπως κρίνεται από τον κατασκευαστή των στεγανοποιητικών μεμβρανών PVC.
- vii. **Μεταλλικές βέργες:** ανοξείδωτος χάλυβας , ASTM A276.
- viii. **Μπουλόνια αγκυρίων επέκτασης**
- ix. **Ρευστοκονίαμα που δεν συρρικνώνεται**

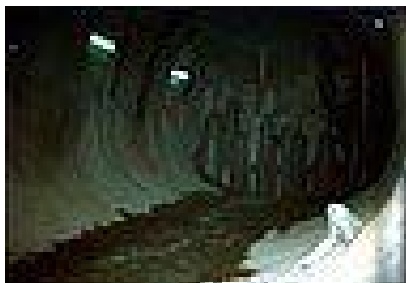
ΜΕΡΟΣ 3 - ΕΚΤΕΛΕΣΗ

ΑΡΧΙΚΗ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ:

- i. Να επισκευαστούν ή να διαχωριστούν οι περιοχές που έχουν βάθος μεγαλύτερο από μια ίντσα $\approx 2,54$ cm.
- ii. Να αφήνονται κοιλότητες μπαλωμάτων ή βουλωμάτων από τις προσωρινές υποστηρίξεις μεγαλύτερες από 1-1/2 ίντσες ≈ 3.81 cm διάμετρο ή ελάχιστη διάσταση, να εγκαθίστανται στην αρχική επένδυση για κατασκευαστικούς λόγους.
- iii. Όπου η επιφάνεια ισοσταθμίζει μεταξύ των αρχικών επιπέδων των σκαμμάτων και υπερβαίνει τις 2 ½ ίντσες ≈ 6.35 cm, να τοποθετήσετε το τσιμεντοκονίαμα ή το σφυρί για να επιτρέψετε μια ομαλή μετάβαση από την μια επένδυση στην επόμενη.
- iv. Να αφαιρέστε τα αιχμηρά σημεία και τις προεξοχές.

ΠΥΘΜΕΝΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:

Να εγκατασταθεί όπως υποδεικνύεται.



ΥΦΑΣΜΑ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ:

- i. Διαδικασία τοποθέτησης
 - Να εγκατασταθεί το γεώφασμα με εξάρτημα συναρμολόγησης.
 - Συγκόλληση των γεωμεμβρανών με τις συνδέσεις.
 - Συγκόλληση των ραφών.
 - Δοκιμή.
 - Εγκατάσταση του αναστολέα υγρασίας και του υφασμάτινου φίλτρου.
 - Δοκιμή.
- ii. Εξαρτήματα της γεωσυνθετικής μεμβράνης
 - a. Να τοποθετηθούν τα εξαρτήματα συναρμολόγησης έτσι ώστε να είναι απόλυτα εφαρμοστά με την μεμβράνη γεωφάσματος.
 - b. Να γίνονται τουλάχιστον δύο συνδέσεις ανά 10 τετραγωνικά πόδια $\approx 1,089 \text{ m}^2$ στεγανοποίησης στο τοξωτό και μια σύνδεση ανά 10 τετραγωνικά πόδια $\approx 1,089 \text{ m}^2$ στον πυθμένα.
 - c. Να παρέχονται επιπλέον εξαρτήματα αν είναι απαραίτητο, για λόγους υποστήριξης και καλής εφαρμογής στην αρχική επένδυση.
- iii. Να παρέχονται επαρκείς σκαλωσιές προκειμένου να επιτρέπεται η επιθεώρηση της τοποθέτησης.
- iv. Η επικάλυψη των υλικών να είναι τουλάχιστον 3 ίντσες $\approx 7.62 \text{ cm}$ στις σχηματιζόμενες ραφές.
- v. Να χρησιμοποιείται ακτινωτές ραφές σε χαρακτηριστικά μεμονωμένα τμήματα, εκτός αν έχει εγκριθεί οτιδήποτε άλλο.
- vi. Να παρέχονται διπλές ραφές εκτός εάν απαιτούνται μονές.
- vii. Να παρέχετε δεύτερο στρώμα γεωμεμβράνης που να συγκολλάται πάνω από τις μονές ραφές. Το δεύτερο στρώμα θα καλύψει πλήρως τις μονές ραφές.

- viii. Όπου υποδεικνύεται ενίσχυση, να χρησιμοποιείται εγκεκριμένη μέθοδος, η οποία να ανιχνεύει την οποιαδήποτε ζημία στη γεωμεμβράνη.
- ix. Να παρέχετε εξάρτημα για την ενίσχυση χωρίς να δημιουργεί διείσδυση στην γεωμεμβράνη.
- x. Να εξασφαλίσετε επίπεδη επαφή μεταξύ των διαστημάτων ενίσχυσης και της γεωμεμβράνης.
- xi. Να παρέχετε ελεύθερο διάκενο τουλάχιστον $1 \frac{1}{2}$ ίντσα $\approx 3,81$ cm, μεταξύ των στοιχείων που ενσωματώνονται στην τελική επένδυση και της γεωμεμβράνης, εκτός από τους σωλήνες ρευστοκονιάματος.
- xii. Μετά από την αρχική επί τόπου σκυροδέτηση, οποιαδήποτε ρωγμή θα πρέπει να έχει θεραπευτεί και έχει ταπωθεί ο αποστραγγιστικός σωλήνας.
- xiii. Να παρέχονται τα εξαρτήματα που απαιτούνται για τα τελικά κατασκευαστικά τμήματα των αγωγών νερού στις θέσεις όπου απαιτούνται.
- xiv. Να παρέχονται τα εξαρτήματα του γεωφάσματος στις θέσεις όπου αυτά στάζουν.

ΔΟΚΙΜΗ ΡΑΦΩΝ ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΗΣ:

i. Γενικό:

- Να εκτελεστούν οι δοκιμές με την παρουσία μηχανικού.
- Να εκτελεστούν οι δοκιμές καθώς η εγκατάσταση προχωρεί. Προτού συνεχιστεί η εγκατάσταση, να επισκευάσετε και να επανελέγξετε τις ραφές που έχουν αποτύχει στις δοκιμές.
 - Να διατηρηθεί γραπτό αρχείο για τα αποτελέσματα της δοκιμής, τις επισκευές, και τον επανέλεγχο.

ii. Διπλές ραφές:

- Να γίνει δοκιμή με εφαρμογή της εσωτερικής πίεσης αέρα μεταξύ των ραφών.
 - Δοκιμή σε 30 Psi για 10 λεπτά.
 - Να απορρίπτεται η ραφή εάν η πίεση πέφτει κάτω από 27 Psi.

iii. **Μονές ραφές** (επισκευάζονται και συμπίπτουν μόνο σε κυκλικές κατασκευές σηράγγων).

Ø Να εκτελέσετε την οπτική επιθεώρηση κατά μήκος της ένωσης, τρέχοντας ένα στρογγυλεμένο κατσαβίδι ή ένα παρόμοιο εργαλείο, αφότου έχει δροσίσει η συγκόλληση.

iv. **Συγκολλήσεις υδροφραγών:** Δοκιμή συγκόλλησης σπινθήρων προκειμένου να είναι εφικτή η ικανότητα διατήρησης της διηλεκτρικής ακεραιότητας σε 2.500 Volt το ελάχιστο.

- Ακριβώς πίσω από κάθε μονή συγκόλληση μεταξύ της μπάρας νερού και της μεμβράνης, να παρεμβάλετε ένα γυμνό χάλκινο καλώδιο 18 μετρητών για τη δοκιμή.

- Να εξετάσετε όλο το μήκος της συγκόλλησης υδροφραγών εκτός αν υποδειχτεί κάτι άλλο από το εργοδότη.

- Να τεκμηριώσετε γραπτώς τις δοκιμασμένες συγκολλήσεις και τον αριθμό ατελειών που επισκευάζονται. Να παρέχετε την τεκμηρίωση στο μηχανικό.

v. **Να αντικαταστήσετε ή να επισκευάσετε** τμήματα της μεμβράνης που καθορίζονται να είναι ελαττωματικά, χωρίς κανένα συμπληρωματικό κόστος από την Αρχή.



ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

(NATM SYSTEM)

ΜΕΡΟΣ 1 – ΓΕΝΙΚΟ

Περιγραφή:

- i. Αυτό το τμήμα διευκρινίζει τον εφοδιασμό και την εγκατάσταση του μόνιμου στεγανοποιητικού συστήματος για τις σήραγγες NATM που εγκαθίστανται μεταξύ εκτοξευμένου σκυροδέματος και της επί τόπου σκυροδέτησης .
- ii. Συναφής εργασία που προδιαγράφεται οπουδήποτε αλλού:
 - Σύστημα στεγάνωσης υπόγειου σιδηρόδρομου (METRO): Χωμάτινες σήραγγες:.
 - NATM ανασκαφή.
 - NATM επένδυση με εκτοξευμένο σκυρόδεμα.
 - Επί τόπου σκυρόδεμα:.
 - NATM επένδυση σκυροδέματος.

ΟΡΙΣΜΟΙ

- i. *Στεγανοποίηση σήραγγας* : διάστρωση του συστήματος της γεωμεμβράνης και του γεωφάσματος με εγκατάσταση γύρω από ολόκληρη την περιφέρεια της σήραγγας μεταξύ εκτοξευμένου σκυροδέματος και των επί τόπου σκυροδετήσεων, για να αποτρέψει την παρείσφρηση των υπόγειων νερών στο εσωτερικό της τελειωμένης κατασκευής.
- ii. *Γεωφάσμα*: Ύφασμα που παρέχει την προστασία της συνθετικής μεμβράνης από τις αιχμηρές προβολές της επιφάνειας του εκτοξευμένου σκυροδέματος στην οποία η μεμβράνη εφαρμόζεται.
- iii. *Γεωμεμβράνη*: Συνθετική στεγανοποιητική μεμβράνη που κατασκευάζεται ειδικά για τη σφράγιση των υπόγειων κατασκευών ενάντια στην εισχώρηση των υπόγειων νερών και τη διαμόρφωση μιας ηλεκτρικής μονωτικής μπάρας .

- iv. *Υδροφραγή (αρμοκλείδα):* Στεγανωτικός δακτύλιος (τσιμούχα) του αναστολέα υγρασίας που συγκολλάται στη μεμβράνη.
- v. *Διαχωρισμός ή Τεμαχισμός:* Οι αναστολείς υγρασίας θα πρέπει να ρυθμιστούν έτσι ώστε να σφραγίζουν τα μεμονωμένα τμήματα της μεμβράνης.
- vi. *Υδρορροές:* Οι σωλήνες που εγκαθίστανται χαρακτηριστικά κοντά στις διατομές των αναστολέων υγρασίας και του πυθμένα για να στραγγίζουν το νερό σε τυχόν διαρροή. Αυτοί οι σωλήνες χρησιμοποιούνται επίσης για επισκευή σε περίπτωση διαρροής του σκυροδέματος αποκατάστασης.

ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ:

- i. **Κώδικες, κανονισμοί, πρότυπα αναφοράς και προδιαγραφές:**
- Να συμμορφώνεστε με τους κώδικες και τους κανονισμούς των δικαιοδοτικών αρχών.
 - ASTM: D257, D374, D638, D1593, D1777, D1785, D3776, D3787, D4533, D4632.
 - NFPA: 701.
- ii. **Προσόντα κατασκευαστή:**
- Να επιλέξετε κατασκευαστές που συμμετέχουν τακτικά στην παραγωγή των παρόμοιων υλικών για υπόγειες κατασκευές.
 - Να παρέχονται και να εγκαθίστανται μόνο τα προϊόντα που σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ειδικά γι' αυτόν τον τύπο εργασίας.
- iii. **Επίβλεψη και εκπαίδευση:**
- Να εκτελέσετε την εγκατάσταση και τη δοκιμή υπό την άμεση επίβλεψη ενός ειδικού με την πρόσφατη, επιστημονική και επιτυχή εμπειρία στην εγκατάσταση στεγανοποίησης των συστημάτων για τις υπόγειες κατασκευές χρησιμοποιώντας τα υλικά μεμβρανών όπως διευκρινίζεται.
 - Θα πρέπει να υπάρχει ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό για την τοποθέτηση και τους τεχνικούς ελέγχους. Θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι ο

υπεύθυνος της τοποθέτησης να έχει τουλάχιστον 5 χρόνια προϋπηρεσία στην τοποθέτηση εύκαμπτων μεμβρανών σε υπόγειες στεγανοποιητικές τοποθετήσεις. Ο υπεύθυνος τοποθέτησης θα πρέπει να προσκομίζει αποδεικτικό γνώσεων για τον εκάστοτε τομέα, το οποίο θα έχει εγκριθεί από τον αρμόδιο μηχανικό κατασκευής.

iv. Ενδεικτικό τμήμα:

Προτού επενδυθεί η κατασκευή με το σύστημα στεγανοποίησης, θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα ενδεικτικό τμήμα τουλάχιστον 10 μέτρα μήκους, χρησιμοποιώντας τα ίδια υλικά και τις ίδιες μεθόδους με αυτά που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή σύμφωνα με τις ακριβής απαιτήσεις.

ΥΠΟΒΟΛΕΣ

Υποβάλλετε για έγκριση τα παρακάτω σύμφωνα με τις γενικές προϋποθέσεις και με τις πρόσθετες απαιτήσεις όπως εξιδανικεύονται για το καθένα:

i. Σχέδια: Να περιληφθεί ως ελάχιστο:

- Συχνότητα της εγκατάστασης στεγανοποίησης σχετικά με την συχνότητα κατασκευής.
- Λεπτομέρειες στα εξαρτήματα συναρμολόγησης, συνδέσεις στη στεγανοποίηση παραπλεύρως στην κατασκευή.
- Το σχεδιάγραμμα του τεμαχισμού από τις υδροφραγές συμπεριλαμβανομένης της λεπτομερούς θέσης των τρυπών διαρροής .
- Τύπος και μέθοδος προστασίας μεμβρανών στο τέλος της εργασίας.
- Σχεδιάγραμμα φύλλων της μεμβράνης που απαριθμεί τις θέσεις και τους τύπους ραφών.
- Διαδικασίες εγκατάστασης κατασκευαστή για:
 - Ø Αποθήκευση.
 - Ø Χειρισμός.
 - Ø Συρραφή.

- Ø Σύνδεση.
- Ø Ομαλές επιφάνειες.
- Ø Δοκιμή.
- Ø Εξοπλισμός εγκατάστασης.
- Ø Ανίχνευση της φυσικής ζημίας.
- Ø Μέθοδοι τοπικής επισκευής.
- Ø Ειδικές οδηγίες για τις γωνίες και διατομές / διεπαφές
- Ø Αλληλουχία της στεγανοποίησης της εγκατάστασης σχετικά με τον εγκιβωτισμό και τη συγκεκριμένη τοποθέτηση.
- Ø Μέθοδοι και υλικά που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη και την ανίχνευση της ζημίας στη μεμβράνη από τα παραπάνω και οποιοδήποτε άλλο κατασκευαστικό εξοπλισμό και υλικά.

ii. **Δείγματα:**

Γεώφασμα: $1\text{ft}^2 = 0.1089\text{ m}^2$.

Γεωμεμβράνη : $1\text{ft}^2 = 0.1089\text{ m}^2$ συμπεριλαμβανομένης της ενωμένης διπλής ραφής, μήκους $1\text{ft} = 0.33\text{m}$.

Συνέλευση σύνδεσης: Τρία κομμάτια.

Προστατευτικό ύφασμα: $1\text{ft}^2 = 0.1089\text{ m}^2$.

Υδροφραγή: Μήκος $1\text{ft} = 0.33\text{m}$ που ενώνεται εφαρμοστά στη μεμβράνη.

iii. **Πιστοποιήσεις :**

- Πιστοποιητικό συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης προδιαγραφής.
- Έγγραφο αναφορά από τον υπεύθυνο για την τοποθέτηση του στεγανοποιητικού συστήματος.

ΠΑΡΑΔΟΣΗ, ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ

Ø Να παραδώσετε τα υλικά και τα προϊόντα στις εμπομαζόμενες συσκευασίες. Να αποθηκεύσετε και να χειριστείτε τις συστάσεις και τα δελτία ασφάλειας των υλικών, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Να τοποθετήσετε το υλικό σε μια ομαλή επιφάνεια χωρίς βράχους ή άλλες προεξοχές που μπορούν να βλάψουν το υλικό. Να τα προστατεύσετε από οποιαδήποτε ζημία όπως από το φως του ήλιου, τον καιρό, τις υπερβολικές θερμοκρασίες και τις διαδικασίες κατασκευής. Να αφαιρέσετε τα χαλασμένα υλικά από την περιοχή και να τα απομακρύνεται σύμφωνα με τους εφαρμόσιμους κανονισμούς.

Ø Να αποθηκεύεται τα εύφλεκτα υλικά σε μια δροσερή, ξηρά περιοχή απόμακρη από τους σπινθήρες και τις ανοικτές φλόγες.

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ø Να εγκαταστήσετε το στεγανοποιητικό σύστημα μόνο αφού έχουν γίνει αποδεκτές οι επιφάνειες στις οποίες θα εφαρμοστεί το γεωύφασμα και η γεωμεμβράνη από τον υπεύθυνο τοποθέτησης του συστήματος και τον επιβλέποντα μηχανικό.

Ø Να παρέχετε ικανοποιητική πρόσβαση για να επιτρέψετε τη λεπτομερή επιθεώρηση.

Ø Τα τμήματα της στεγανοποίησης που αποφασίστηκαν να επισκευαστούν είτε γιατί είναι ελαττωματικά βάση της δοκιμής ,είτε επειδή έχουν βλαφτεί κατά τη διάρκεια ή μετά της εγκατάστασης, θα πρέπει να επισκευαστούν χωρίς κανένα συμπληρωματικό κόστος από την αρμόδια αρχή.

Ø Πριν την τοποθέτηση της στεγανοποίησης, να αποδείξετε την απουσία συνέχισης και σημαντικής εκτροπής ή αύξηση της πίεσης.

Ø Να διοχετεύσετε το νερό που μπορεί να παγιδευτεί μεταξύ της στεγανοποίησης και του εκτοξευμένου σκυροδέματος με τη βοήθεια των διάτρητων σωλήνων ή των ψαθωτών αγωγών.

ΕΓΓΥΗΣΗ

Ø Να παρέχετε εγγύηση για τη στεγανότητα της δομής για δύο έτη πέρα από την τελική ημερομηνία ολοκλήρωσης της εργασίας.

ΜΕΡΟΣ 2 – ΠΡΟΪΟΝΤΑ

ΥΛΙΚΑ

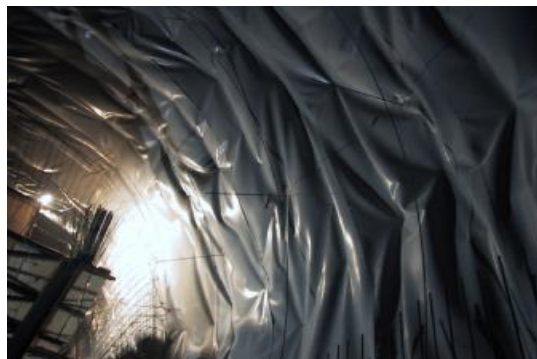
i. **Γεώφασμα:** Μη υφαντό γεώφασμα πολυπροπυλενίου ομοιόμορφου πάχους και σύστασης επιφάνειας σύμφωνα με τις ελάχιστες φυσικές ιδιότητες και εξεταστικές μεθόδους που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 13

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
Πάχος (mils)	ASTM D1777	285
Βάρος μονάδων (oz./ yd ²)	ASTM D3776	22
Δύναμη αρπαγής (lbs.)	ASTM D4632	285
Επιμήκυνση (percent)	ASTM D4632	85
Τραπεζοειδές δάκρυ (lbs.)	ASTM D4533	35
Δύναμη έκρηξης (psi)	ASTM D3787	400
Χημική αντίσταση	–	PH από 2 έως 13

ii. **Γεωμεμβράνη:** Πολυβινυλοχλωριδιακή στεγανοποιητική μεμβράνη (PVC) ενιάιου πάχους και σύστασης επιφάνειας. Μεμβράνη PVC μη-οπλισμένη, με τις ελάχιστες φυσικές ιδιότητες που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, ελεγμένες από τις αντίστοιχες εξεταστικές μεθόδους.



ΠΙΝΑΚΑΣ 14

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
Πάχος (inch)	ASTM D374	0.079
Τελευταία εκτεταμένη δύναμη (Ibs./ in ²)	ASTM D638	2.200
Τελευταία επιμήκυνση (ποσοστό)	ASTM D638	230
Αντίκτυπος χαμηλής θερμοκρασίας	ASTM D1593	Δεκτό στους 20° C
Χημική αντίσταση	-	PH από 2 έως 13
Ευφλεκτικότητα	NFPA 701	Αυτοπυρόσβεση
Διηλεκτρική δύναμη (volts/mil.)	ASTM D257	440 έως 465
Διηλεκτρική σταθερά		
60 Hertz	-	3,4 έως 3,5
10 ⁶ Hertz	-	3,3 έως 3,4
Κατασκευαστική δύναμη		
60 Hertz	-	0,006 έως 0,040
10 ⁶ Hertz	-	0,030 έως 0,040

iii. **Συνδέσεις:** Δίσκος σύνδεσης μεμβράνης που κατασκευάζεται από μεμβράνη συμβατών υλικών με ελάχιστη διάμετρο 3 in \approx 7,62cm, με μια τσιμούχα χαλύβδινη που ενσωματώνεται στο δίσκο. Σύνδεση των δίσκων με καρφιά τουλάχιστον 1-1/4 in \approx 3,175 cm.

iv. **Υδροφραγή:** Συνεχής λουρίδα οξυγονοκολλημένη στη μεμβράνη με

έξι ενσωματωμένες πλευρές των ακόλουθων ελάχιστων διαστάσεων: 15 in \approx 38.1cm ελάχιστο πλάτος, ελάχιστο ύψος 1-1/2 in \approx 3,81cm. Διατομές των ράβδων νερού προκατασκευασμένες στο εργαστήριο της περιοχής ή από τον κατασκευαστή.

v. **Προστατευτικό σκυρόδεμα:** Παράγραφος 03300, ελάχιστη κατηγορία 2.500 PSI, πάχος όπως ενδείκνυται.

vi. **Οπές διαρροής:** Σωλήνας πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) 3 ίντσες \approx 7,62cm, ASTM D1785, μήκος όπως ενδείκνυται.

vii. **Στράγγιση πυθμένα :**

Ø Σωλήνας PVC.

Ø Υποστήριξη: Κατασκευασμένος από PVC συνθετικών υλικών.

ΜΕΡΟΣ 3 - ΕΚΤΕΛΕΣΗ

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

i. Το κόψιμο και το μπάλωμα του τμήματος των προεξοχών θα πρέπει να είναι ίσα με την πρόσοψη της επιφάνειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και έπειτα θα αφαιρούνται οι προσωρινές υποστηρίξεις και αντιστηρίξεις που έχουν τοποθετηθεί για κατασκευαστικούς σκοπούς στην επένδυση της κατασκευής.

ii. Να εξασφαλίζετε ότι τα ενσωματωμένα στοιχεία της επένδυσης εκτοξευμένου σκυροδέματος καλύπτονται από τουλάχιστον 1 in \approx 2,54 cm σκυρόδεμα πριν από την εγκατάσταση του γεωφάσματος και της επενδυτικής μεμβράνης.

iii. Γενικά κριτήρια ομαλότητας: χωμάτινη σήραγγα.

iv. Να εφαρμόσετε ισοπεδωτικό σκυρόδεμα στις περιοχές που δεν προσαρμόζονται με στις ανωτέρω απαιτήσεις.

v. Να αφαιρέσετε τα χαλαρά χώματα και τα συντρίμια.

vi. Να επισκευάσετε με εκτοξευμένο σκυρόδεμα, ρευστοκονίαμα γρήγορης πήξης, κονίαμα ή κάτι παρόμοιο, οτιδήποτε έβλαψε ή διαχώρισε τις

επιφάνειες, τα κενά και τις ρωγμές που έχουν βάθη μεγαλύτερα από μια ίντσα.

vii. Να εφαρμόσετε 4 in \approx 10,16 cm στρώμα από εκτοξευμένο σκυρόδεμα στην υποστήριξη των τοίχων που έχουν σκαφτεί, στους οποίους θα εφαρμοστεί γεωφάσμα και γεωμεμβράνη με μετάβαση στις κατασκευές cut and cover όπως παρουσιάζεται.

viii. Να εξασφαλίσετε ότι οι επιφάνειες είναι χωρίς πετρέλαια, λίπος και γκαζολίνες.

ΓΕΩΥΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΗ:

i. Γενική συχνότητα εγκατάστασης:

- Να εγκαταστήσετε το γεωφάσμα με τη συνέλευση συνδέσεων.
- Να γίνει συγκόλληση της γεωμεμβράνης στις συνελεύσεις σύνδεσης.
- Ραφές συγκόλλησης.
- Ραφές δοκιμής.

ii. Περιοχή εγκατάστασης:

- Τοποθέτηση γεωφάσματος και γεωμεμβράνης έτσι ώστε να καλυφθεί ολόκληρη η περιοχή στεγανοποίησης όπως παρουσιάζεται.
- Χρήση ακτινωτών ραφών στα χαρακτηριστικά διαγώνια τμήματα σηράγγων εκτός αν είναι αλλιώς κατευθυνόμενα.
- Να χρησιμοποιήσετε διαμήκεις ραφές σε σκασίματα στον πυθμένα και στα κυκλικά τμήματα.

iii. Συναρμολόγηση:

- Να τοποθετήσετε τα εξαρτήματα συναρμολόγησης σε βαθουλώματα της επιφάνειας προκειμένου να επιτευχθεί σφιχτό ένωμα με το γεωφάσμα.
- Να παρέχετε στην περιοχής στεγανοποίησης το ελάχιστο τέσσερις συνδέσεις ανά $10 \text{ ft}^2 \approx 1.089 \text{ m}^2$.
- Να παρέχετε την πρόσθετη σύνδεση για να επιτύχετε όπου είναι

απαραίτητο την ασφαλή υποστήριξη και την άνετη τακτοποίηση εκτοξευμένου σκυροδέματος στην επένδυση.

iv. Γεωμεμβράνη:

- Να παρέχετε διπλή οξυγονοκολλημένη σφήνα εκτός αν κάτι άλλο ενδείκνυται.

- Μονές ραφές: Όπου απαιτούνται και εγκρίνονται μονές ραφές, να τοποθετήσετε ένα δεύτερο στρώμα γεωμεμβράνης προκειμένου να καλύψει πλήρως τις ραφές εκτός αν κάτι άλλο ενδείκνυται.

- Πριν πραγματοποιηθεί η τοποθέτηση του σκυροδέματος να επιθεωρήσετε ξανά τη μεμβράνη για πιθανές ζημιές ή άλλες καταστρεπτικές συνέπειες, όπως την εμφάνιση νερού πίσω από τη μεμβράνη, και να εκτελέσετε επανορθωτική εργασία όπως απαιτείται.

iv. Υδροφραγές και οπές διαρροής:

- Να εγκαταστήσετε οπές διαρροής όπως παρουσιάζεται πριν από τη συγκεκριμένη τοποθέτηση επένδυσης με σκυρόδεμα.

- Όπως εγκρίνεται, να τακτοποιήσετε την ακριβή θέση των οπών διαρροής. Έπειτα σκυροδετήστε, με εμποτισμό επαφής και εμποτισμό επισκευής, καθαρίστε τις οπές διαρροής και τους σωλήνες στην κορυφή, με μεθόδους που ενδείκνυνται και βεβαιωθείτε ότι οι σωλήνες είναι σε κατάσταση λειτουργίας.

- Να τεκμηριώστε εγγράφως τα παραπάνω και υποβάλλετε τα στον αρμόδιο μηχανικό σε μορφή πίνακα.

- Ακριβή θέση των οπών

- Θέση των μάρων ύδατος και μέγεθος των επιλογών.

- Ημερομηνία εγκατάστασης των σωλήνων.

- Ονόματα και υπογραφές του εφαρμοστή και του επόπτη του τεμαχισμού και των οπών.

- Ημερομηνία σκυροδέτησης και εμποτισμού επαφών.

- Ονόματα των εργαζομένων και των εποπτών για την αντίστοιχη

εργασία.

ΠΥΘΜΕΝΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Να εγκαταστήστε όπως παρουσιάζεται.

ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- i. Όπου έχει τοποθετηθεί οπλισμός να χρησιμοποιήσετε εγκεκριμένες μεθόδους προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε βλάβη στην μεμβράνη εξαιτίας της τοποθέτησης του οπλισμού.
- ii. Να υπάρχει τουλάχιστον 2 in \approx 5,08 cm κενό μεταξύ των ενσωματωμένων στοιχείων και της γεωμεμβράνης.
- iii. Να εξασφαλίσετε επίπεδη επαφή μεταξύ των διαστημάτων ενίσχυσης και της γεωμεμβράνης.

ΔΟΚΙΜΗ ΤΩΝ ΡΑΦΩΝ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

- i. **Γενικά:**
 - Ø Να εκτελέσετε τις δοκιμές παρουσία του μηχανικού.
 - Ø Να εκτελέσετε τις δοκιμές καθώς η εγκατάσταση προχωρεί. Να επισκευάσετε και να επανελέγξετε τις ραφές που απέτυχαν πριν συνεχιστεί η εγκατάσταση.
 - Ø Να διατηρήσετε γραπτά αρχεία των αποτελεσμάτων της δοκιμής των επισκευών και του επανελέγχου.
- ii. **Διπλές ραφές:** Να εκτελέσετε τη δοκιμή εφαρμόζοντας εσωτερική πίεση αέρα μεταξύ των ραφών ως εξής:
 - Ø Πίεση δοκιμής: 30 Psi.
 - Ø Απαιτήσεις απόδοσης: Απώλεια πίεσης αέρα λιγότερο από 10 % μετά από 10 λεπτά.

iii. **Μονές ραφές:**

- Ø Να συμπεριλάβετε ένωση θερμότητας στις μπάρες νερού ή στις ειδικές συναρμολογήσεις.
- Ø Να ελέγξετε τις συγκολλήσεις προκειμένου η συνοχή τους να είναι κάποια των ακόλουθων οπτικών επιθεωρήσεων:
 - Να τρέξετε ένα στρογγυλεμένο κατσαβίδι κατά μήκος της ένωσης αφότου έχει δροσίσει η συγκόλληση.
 - Να δημιουργήσετε ρεύμα αέρα κάτω από υψηλή πίεση ενάντια στη συγκόλληση και να παρατηρήσετε το άνοιγμα της συγκόλλησης. Να επανακολλήσετε και να δοκιμάστε οποιαδήποτε ασυνέχεια.
 - Να αντικαταστήσετε ή να επισκευάσετε τα τμήματα της μεμβράνης που καθορίζονται να είναι ελαττωματικά, χωρίς κανένα συμπληρωματικό κόστος στην αρμόδια αρχή.

ΕΠΑΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ:

- i. Έλεγχος και επιθεώρηση από τον υπεύθυνο της κατασκευής με όργανα ελέγχου, για συνήθης υποψίες διαρροής νερού μέχρι και την τελική ημερομηνία ολοκλήρωσης της κατασκευής.
- ii. Εάν η διαρροή ύδατος υπερβαίνει τα ελάχιστα επιτρεπόμενα όρια όπως διευκρινίζονται στα κριτήρια στεγανότητας στην παράγραφο 03300, λάβετε τα επανορθωτικά μέτρα που αποτελούνται από:
 - Εμποτισμό μέσω των οπών, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ρευστοκονιάματα.
 - Πριν αρχίστε την εργασία εμποτισμού, επιβάλλεται να γίνει επιβεβαίωση από τα σχέδια εμποτισμού και να παρθούν δείγματα που να αποδειχθούν εγκεκριμένα.
 - Να καθιερώσετε την πίεση εγχύσεων με τη βοήθεια της επιτόπιας επίδειξης. Μην υπερβείτε την δομική ικανότητας της δομής.
 - Μην διαπεράσετε ή μην τρυπήσετε τη μεμβράνη, εκτός αν πρόκειται για

μόνιμες, σκόπιμες και αποδεδειγμένες τεχνικές στεγανότητας όπως εγκρίνεται.

ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΚΑΚΙΑΣ ΣΚΑΛΑΣ

Οι σιδηροδρομικές σήραγγες ΣΣ(1-2)N2 και ΣΣ3 κατασκευάζονται βάσει της Προμελέτης της Υπηρεσίας. Η εταιρεία εκπόνησε την οριστική μελέτη διάνοιξης και προσωρινής αντιστήριξης για την ΣΣ3 καθώς και για το ανατολικό τμήμα της ΣΣ(1-2)N2. Επίσης παρέχουμε τεχνική υποστήριξη κατά την διάνοιξη και συμμετέχουμε στην εκπόνηση της μόνιμης επένδυσης. Οι σήραγγες ΣΣ(1-2)N2 και ΣΣ3 διασχίζουν ασβεστόλιθους και έχουν μήκος περίπου 2300 μ. και 1500 μ., αντιστοίχως. Η διάνοιξη πραγματοποιείται σε δύο φάσεις.

Στην περιοχή του δυτικού στομίου η σήραγγα ΣΣ3 διασχίζει πλευρικά κορήματα, διέρχεται κάτω από το μεταβατικό επίχωμα της Εθνικής Οδού και κατά θέσεις τέμνει το πέδιλο του υφισταμένου τοίχου αντιστήριξης. Η αντιστήριξη στην περιοχή αυτή αποτελείται από βαρεία χαλύβδινα πλαίσια (HEA 240), 35-40 cm οπλισμένο εκτοξευόμενου σκυρόδεμα και δοκούς προπορείας. Το κλείσιμο του πυθμένα της Α' φάσης διάνοιξης πραγματοποιείται με κατάλληλα οπλισμένο ανάστροφο τόξο πάχους 35 cm



ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ & ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΚΙΑΣ ΣΚΑΛΑΣ

Το σύστημα αποστράγγισης και στεγάνωσης της σήραγγας αποτελείται από το σύνολο των ακόλουθων εργασιών.

i. Εργασίες Υδρομάστευσης

Συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται εργασίες κατασκευής αποστραγγιστικών οπών καθώς και δικτύου αγωγών απαγωγής τους προς τον κεντρικό αποδέκτη. Οι εργασίες της υδρομάστευσης αρχίζουν αφού έχουν προηγηθεί ορισμένες εργασίες άμεσης υποστήριξης όπως ηλώσεις, αγκυρώσεις, πλαίσια, αρχική στρώση εκτοξευμένου σκυροδέματος και πριν όμως ολοκληρωθεί η διάστρωση του εκτοξευμένου σκυροδέματος.

Αρχικά κατασκευάζονται στραγγιστικές οπές, διαμέτρου 3" \approx 7,62 cm και μήκους 3,0 – 6,0 m η κάθε οπή. Τα άκρα των οπών αυτών συνδέονται με εύκαμπτους σωλήνες απαγωγής που οδηγούν τα ύδατα στους αποστραγγιστικούς αγωγούς που υπάρχουν στη βάση της διατομής. Οι σωλήνες αυτοί στερεώνονται με καρφιά και ενσωματώνονται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε ανάλογες θέσεις.

Οι οπές αποστράγγισης δύναται να γεμίσουν με διάτρητους σιδηροσωλήνες τυλιγμένους με κομμάτια γεωφάσματος, κυρίως σε περιοχές ύποπτες μετακινήσεως. Οι σωλήνες αυτοί τοποθετούνται στις περιοχές μεγάλης υδροφορίας και έχουν ως σκοπό να εξασφαλίσουν την βέλτιστη απορροή των υδάτων καθώς και την προστασία των οπών από μικροκαταπτώσεις, που δύναται να προκαλέσουν έμφραξη τους.

ii. Εγκατάσταση Υδρομαστευτικής Στρώσης (γεωφάσμα)

iii. Εγκατάσταση Στεγανωτικής Στρώσης (στεγανωτική μεμβράνη)

Όλα τα απαραίτητα στοιχεία περί των ανωτέρω στρώσεων έχουν αναφερθεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.



**Κατασκευή Δικτύου διάτρητων αποστραγγιστικών αγωγών,
συνδετήριων αγωγών, φρεατίων, φωλεών καθαρισμού**

Στον αποστραγγιστικό αγωγό καταλήγουν τόσο η υδρομαστευτική στρώση όσο και οι αγωγοί απαγωγής από τις αποστραγγιστικές οπές υδρομάστευσης. Δύναται να περιβάλλεται κατάλληλα από το πέρας του γεωφάσματος, ώστε να συλλέγουν τα ύδατα που συγκεντρώνονται πίσω από το γεώφασμα, η παρουσία του οποίου εμποδίζει την κίνηση τους προς την τελική επένδυση της διατομής.

Ο αποστραγγιστικός αυτός αγωγός έχει διάμετρο $D \geq 160$ mm ανάλογα με το σύστημα στράγγισης που διαμορφώνεται, είναι κατασκευασμένος από χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), φέρει σχισμές στο άνω τμήμα του και τοποθετείται κολυμβητός μέσα σε πορώδες σκυρόδεμα. Υπολογίζεται να λειτουργεί θεωρητικά με τα 2/3 του ονομαστικού του φορτίου και για αυτό το λόγο καταλήγει κάθε 54 m σε «φωλεές καθαρισμού» και σε φρεάτια εκτροπής του προς τον κύριο συλλεκτήριο αγωγό . Οι φωλεές καθαρισμού είναι δίδυμες, μία σε κάθε πλευρά της σήραγγας. Επίσης, ο κύριος συλλεκτήριος αγωγός είναι είτε ένας, είτε δύο, τοποθετούμενοι στα άκρα της διατομής, κάτω από τις ακραίες λωρίδες του καταστρώματος.

Από τα φρεάτια εκτροπής, μέσα στις «φωλεές καθαρισμού», τα ύδατα οδηγούνται μέσω συνδετήριων αγωγών διαμέτρου $D \geq 160$ mm ή συνδέονται

άμεσα με τα φρεάτια εκτροπής με τον κεντρικό συλλεκτήριο αγωγό αποστράγγισης.

Ο κεντρικός συλλεκτήριος αγωγός αποτελείται από ένα τσιμεντοσωλήνα, εσωτερικής διαμέτρου 300 mm. Για ένα μόνο συλλεκτήριο αγωγό, η διάταξη του προβλέπεται στη χαμηλότερη πλευρά της σήραγγας. Εναλλακτικά, είναι δυνατόν να κατασκευασθούν δύο κύριοι συλλεκτήριοι αγωγοί, ένας σε κάθε πλευρά της σήραγγας.

Με τα φρεάτια που διαμορφώνονται στις «φωλεές καθαρισμού» συνδέεται, μέσω συνδετήριων αγωγών, ο συλλεκτήριος αγωγός. Στα φρεάτια εκτροπής καταλήγουν οι αποστραγγιστικοί αγωγοί.

Σε κατάλληλη θέση κατά μήκος του άξονα του έργου, συνήθως τοποθετημένος στα άκρα της διατομής και κάτω από τις ακραίες λωρίδες του καταστρώματος της σήραγγας και στο προβλεπόμενο ύψος εκάστης διατομής, τοποθετούνται και συνδέονται μεταξύ τους τα τεμάχια του συλλεκτήριου αγωγού και τα οποία εγκιβωτίζονται σε πορώδες σκυρόδεμα.

Σε αποστάσεις ανά 54.00 m περίπου κατά μήκος κάθε κλάδου στις παρειές της σήραγγας εναλλάξ, προβλέπεται η διαμόρφωση κατάλληλων διευρύνσεων του φορέα της μόνιμης επένδυσης, στις οποίες διαμορφώνονται φρεάτια καθαρισμού των συλλεκτήριων αγωγών. Δια των εν λόγω φρεατίων ελέγχεται η λειτουργία των αγωγών και προλαμβάνεται τυχόν απόφραξη τους.

Το σύστημα αποχέτευσης - αποστράγγισης καθορίστηκε από την σπουδαιότητα του έργου, τη φύση των εδαφών και τη γεωμορφολογία. Στα έργα αποχέτευσης περιλαμβάνονται τα απαραίτητα έργα για την κανονική αποχέτευση των ομβρίων των κάθε είδους έργων σε συνδυασμό, τόσο με την υπάρχουσα όσο και τη μελλοντική προβλεπόμενη χρήση και μορφολογία της ευρύτερης περιοχής (έργα συλλογής καθοδήγησης και απαγωγής των ομβρίων, που εκτείνονται μέχρι κατάλληλου σημείου υπαρχόντων φυσικών αποδεκτών). Το σύνολο των έργων αποχέτευσης και αποστράγγισης

καταλήγει στους φυσικούς αποδέκτες ομβρίων .

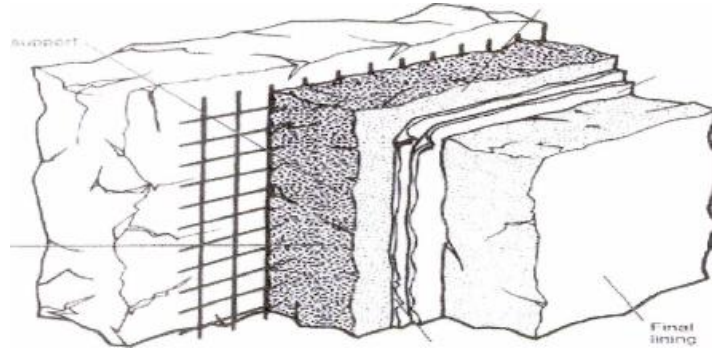
ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

(Υδρομαστευτική στρώση + Στεγανοποιητική μεμβράνη)

Κατά την κατασκευή του παρόντος έργου προκύπτουν απαιτήσεις πλήρους στεγάνωση της διατομής χρήσης της σήραγγας, από τα ύδατα της βραχώμαζας, διότι τούτο εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες της σήραγγας και συγχρόνως παρέχει ασφάλεια των κατασκευών της από την παρουσία υδάτων. Διαφορετικά, ενδέχεται πιθανότητα εμφάνισης κινδύνων βραχυκυκλωμάτων στις Η/Μ εγκαταστάσεις και διάβρωση των κατασκευών από σκυρόδεμα.

Η ικανοποίηση της βασικής απαίτησης στεγανότητας επιτρέπει τον υπολογισμό της τελικής επένδυσης της σήραγγας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το φορτίο από υδροστατική πίεση, λόγω συγκέντρωσης υδάτων, γεγονός που τελικά σημαίνει εξοικονόμηση δαπάνης κατά την κατασκευή της τελικής επένδυσης. Ο βαθμός της στεγανότητας και η έκταση των εργασιών στεγάνωσης καθορίζονται σύμφωνα με την ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα υδάτων.

Πλήρης στεγάνωση των κατασκευών επιτυγχάνεται με τη χρήση γεωυφασμάτων για την υδρομαστευτική στρώση και στεγανωτικών μεμβρανών από υψηλά πολυμερή, συνήθως από χλωριούχο πολυβινύλιο και τα οποία τοποθετούνται περιμετρικά της διατομής της σήραγγας.



ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΦΟΡΕΑ

Η στεγανοποίηση των σηράγγων αποβλέπει στα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Απαλλαγή της τελικής επένδυσης της σήραγγας από υδροστατικό φορτίο .
- Περιορισμό της υγρασία μέσα στη σήραग्γα, γεγονός που θα παρεμπόδιζε την ορθή λειτουργία της.
- Αποφυγή ροών υδάτων που θα επέτρεπαν αποπλύσεις και θα ευνοούσαν διαβρώσεις.
- Εξασφάλιση καθοδηγημένης απαγωγής όλων των εμφανίσεων υδάτων μέσω του συστήματος αποστράγγισης.
- Τον καθορισμό των απαιτήσεων στεγάνωσης επηρεάζουν, όχι όμως περιοριστικά, οι ακόλουθοι παράγοντες του έργου:
 - Γεωλογικές συνθήκες.
 - Αναμενόμενες φορτίσεις από τη βραχώμαζα.
 - Χημικές ιδιότητες του ύδατος και του πετρώματος.
 - Τρόπος κατασκευής του έργου.
- Απαιτήσεις στεγανότητας σε σχέση με τη χρήση της σήραγγας, όπως οδική σήραग्γα, σιδηροδρομική σήραग्γα, σήραग्γα METRO.
- Αναμενόμενες παραμορφώσεις, καθιζήσεις και σχετικές μετακινήσεις των στεγανοποιημένων τμημάτων της σήραγγας.

- Αντιμετώπιση της υδροστατικής πίεσης από τις εργασίες στεγάνωσης.

Η άποψη της στεγανοποίησης των διατομών της σήραγγας συνίσταται για τους παρακάτω λόγους.

Ø Πολύ συχνά οι αποστραγγίσεις φράσσονται από ασβεστικά καθιζήματα τα οποία δημιουργούνται όταν το υπόγειο νερό έρθει σε επαφή με τον αέρα που κυκλοφορεί στους αποστραγγιστικούς αγωγούς.

Ø Μια στεγανοποίηση για πιέσεις έως 3 atm, που ισοδυναμεί με 30 m υδάτινης στήλης, δεν επιφέρει σχεδόν καμιά οικονομική επιβάρυνση.

Ø Απαλλαγή της τελικής επένδυσης της σήραγγας από υδροστατικό φορτίο.

Ø Περιορισμό της εργασίας μέσα στη σήραγγα, γεγονός που θα ενοχλούσε την ορθή λειτουργία της.

Ø Αποφυγή ροών ύδατος τα οποία θα επέτρεπαν αποπλύσεις και θα ευνοούσαν διαβρώσεις.

Ø Εξασφάλιση καθοδηγούμενης απαγωγής όλων των εμφανίσεων των υδάτων μέσω του συστήματος στράγγισης.

Η διαστρωμάτωση των εργασιών κατασκευής του τελικού φορέα της σήραγγας, εντελώς αναφορικά, κατά σειρά πραγματοποίησης συνίσταται στα ακόλουθα:

- Υπάρχει, καταρχήν, η επιφάνεια της βραχώμαζας.
- Διάστρωση του εκτοξευομένου σκυροδέματος της άμεσης υποστήριξης, πάνω στην επιφάνεια της βραχώμαζας.
- Εντός του εκτοξευομένου σκυροδέματος αναπτύσσεται το δίκτυο των πλαστικών αγωγών των υδρομαστεύσεων, οι οποίες πραγματοποιούνται στις περιοχές μεγάλης υδροφορίας.
- Πάνω στην επιφάνεια του εκτοξευομένου σκυροδέματος (υποστρώματος) τοποθετείται η εξομαλυντική, στεγανοποιητική στρώση.
- Τοποθέτηση των μέσων στερέωσης της μονωτικής μεμβράνης πάνω στο γεώφασμα.
- Τοποθέτηση, με θερμοσυγκόλληση, της στεγανωτικής μεμβράνης πάχους

2,0 mm.

- Τοποθέτηση προστατευτικής στρώσης.
- Ανάρτηση του προβλεπόμενου οπλισμού.
- Κατασκευή της τελικής επένδυσης της σήραγγας.

Υδρομαστική Στρώση

Η διάταξη της υδρομαστικής στρώσης εκτείνεται ακτινικά πάνω στην επιφάνεια του θόλου και των παρειών της σήραγγας και απολήγει στη σύνδεση με τον αποστραγγιστικό σωλήνα, στη βάση της διατομής δηλαδή στο σημείο επαφής των παρειών με τον πυθμένα της σήραγγας. Τα δε φύλλα του γεωφάσματος επικαλύπτονται μεταξύ τους κατά 20 - 30 cm .

Σε περιοχές μεγάλης υδροφορίας συνίσταται η τοποθέτηση διπλής στρώσης γεωφάσματος ώστε να εξασφαλισθούν όσο το δυνατόν καλύτερα οι συνθήκες αποστράγγισης της βραχόμαζας και να οδηγηθούν ασφαλώς τα ύδατα της βραχόμαζας προς το κάτω μέρος της παρειάς της σήραγγας, όπου είναι τοποθετημένος ο διάτρητος αποστραγγιστικός αγωγός.

Προκειμένου να διασφαλισθεί η λειτουργία του γεωφάσματος είναι απαραίτητο ο τύπος του να χαρακτηρίζεται από υψηλές μηχανικές ιδιότητες ώστε να αντιμετωπισθούν οι αναμενόμενες εφελκυστικές και διατμητικές δυνάμεις που θα αναπτυχθούν περιμετρικά της διατομής, εξαιτίας των πιέσεων των υπερκειμένων πετρωμάτων καθώς και οι υδροστατικές πιέσεις λόγω της ύπαρξης του υδροφόρου ορίζοντα.

Επιπροσθέτως πρέπει η υδατοπερατότητα της, για δεδομένες συνθήκες πίεσης, να είναι επαρκής. Συνεπώς τα υλικά κατασκευής του γεωφάσματος πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διαβρωτική - αποσαθρωτική δράση βιολογικών και χημικών παραγόντων. Η εφαρμογή του γεωφάσματος, όπως και της στεγανωτικής μεμβράνης πραγματοποιείται με χρήση ειδικού ηλεκτροκίνητου, τηλεχειριζόμενου ικριώματος και το οποίο καλύπτει ολόκληρο το ανάπτυγμα της σήραγγας.

Τοποθέτηση υδρομαστευτικής στρώσης

Η υδρομαστευτική στρώση τοποθετείται περιμετρικά της εξομαλυμένης επιφάνειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, έξω και πριν από τη στεγανωτική μεμβράνη, προς την πλευρά του πετρώματος.

Είναι αυτονόητο ότι το γεωύφασμα πρέπει να στηρίζεται σταθερά πάνω στα τοιχώματα της σήραγγας. Ο αριθμός των σημείων στήριξης πρέπει να περιορίζεται ώστε το «σεντόνι» στεγάνωσης να «απλώνεται» πάνω στα τοιχώματα της σήραγγας, ελεύθερο τάσεων, όσο είναι δυνατόν, κατά την εφαρμογή της καταπόνησης από την εσωτερική σκυροδέτηση. Εξάλλου, η ανώμαλη επιφάνεια που προκύπτει από τις ανατινάξεις, συνεπάγεται την ανάγκη στήριξης στα βαθύτερα σημεία ώστε να εξασφαλίζεται ύπαρξη επαρκούς υλικού και να αποκλείεται έτσι η δημιουργία κοιλωμάτων.

Το γεωύφασμα στερεώνεται πάνω στην επιφάνεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με τη χρήση δίσκων (ροδελών) από συνθετική ύλη, κυκλικής διατομής, διαμέτρου 80 mm και με εσοχή στο κέντρο βάθους 40 mm. Ο πλαστικός δίσκος βρίσκεται εξωτερικά του γεωυφάσματος, στην επιφάνεια όπου θα τοποθετηθεί η στεγανοποιητική μεμβράνη, ώστε να το συγκρατεί χωρίς να του προκαλεί φθορά. Οι ροδέλες αυτές καρφώνονται πάνω στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με χαλύβδινο καρφί μήκους 4,00 cm. Πάνω σε αυτές τις ροδέλες στερεώνεται, με θερμοσυγκόλληση η μονωτική μεμβράνη. Κάτω από τις ροδέλες και από την κεφαλή του καρφιού, προβλέπεται η τοποθέτηση μεταλλικής ροδέλας, με ελάχιστη διάμετρο 20 mm και ελάχιστο πάχος 1.0 mm.

Επιπροσθέτως, τα στοιχεία σταθεροποίησης και ειδικότερα ο πλαστικός δίσκος πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να επιτρέψουν τη σχετική μικρομετακίνηση της υδατοστεγανούς μεμβράνης σε περίπτωση που αναπτυχθούν αυξημένα εφελκυστικά φορτία, ώστε να αποφευχθεί η φθορά της.

Γενικά, σε περιπτώσεις ομοιόμορφων εκσκαφών βράχου, τρία σημεία στερέωσης ανά τετραγωνικό μέτρο επαρκούν. Ειδικά, ο αριθμός των σημείων στερέωσης πρέπει να ανέρχεται κατά ελάχιστο στα ακόλουθα.

- Ø Ένα τεμάχιο ανά m^2 στην περιοχή του δαπέδου.
- Ø Δύο τεμάχια ανά m^2 στην περιοχή των παρειών.
- Ø Τρία τεμάχια ανά m^2 στην περιοχή της οροφής.



ΠΙΝΑΚΑΣ 15

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ

Ιδιότητες	Μέθοδος ελέγχου	Μονάδα	Χαρακτηριστικά
Αναλλοίωτο			απεριόριστα
Μη διαλυτότητα σε οποιοδήποτε είδος υπογείων νερών			Απόλυτα
Μη βλαπτικότητα σε πόσιμο νερό			ουδέτερο
Ευφλεκτικότητα			δύσκολη
Διαπερατότητα κάθετα προς την επιφάνεια της στρώσης	ASTM D.4491	It/sec/m ²	≥60

Συν. διαπερατότητας κάθετα και παράλληλα προς τη επιφάνεια στρώσης υπό κάθετη πίεση 2Kpa	ASTM D.4716	cm/sec	≥10 ⁻¹
Βάρος /μονάδα επιφάνειας	DIN 53854	gr/m ²	≥500
Ανεκτή διαφορά από το ονομαστικό βάρος ανά μονάδα επιφάνειας		%	≤10
Ελάχιστο πάχος	DIN 53855	mm	≥2
Ανεκτή διαφορά από το ονομαστικό πάχος		%	≤10
Αντοχή σε εφελκυσμό κατά την διαμήκη, εγκάρσια και διαγώνια έννοια	DIN 53857	KN/m	≥16
Επιμήκυνση ρηγμάτωσης κατά τη διαμήκη, εγκάρσια και διαγώνια έννοια	DIN 53857	%	≥60
Αντοχή σε διάτρηση	ASTM D.4883	N	≥550

Στεγανοποιητική μεμβράνη

Η υδατοστεγής μεμβράνη αποκλείει εντελώς τη διείσδυση ύδατος μέσα στην μόνιμη επένδυση, εκτρέποντας τα ύδατα της βραχώμαζας προς τον αποστραγγιστικό αγωγό και εξασφαλίζοντας έτσι την πλήρη στεγάνωση της διατομής χρήσης της σήραγγας. Έτσι δημιουργείται στο εξωρράχιο της τελικής επένδυσης ένας «στεγανός αγωγός», που επιτρέπει την ασφαλή συνέχιση των εργασιών της τελικής επένδυσης, απαλλαγμένης από τα ύδατα της βραχώμαζας και γενικότερα τη λειτουργία της σήραγγας υπό συνθήκες στεγανότητας. Ουσιαστικά αποτελεί το κύριο συστατικό της υδατοστεγανής

επένδυσης, γεγονός από το οποίο καθορίζεται ο βαθμός υδατοστεγάνωσης.

Η στεγανωτική στρώση θα πρέπει να είναι κατασκευασμένη από γλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), να έχει πάχος περίπου 2.00 mm και να διατίθεται στο εμπόριο σε φύλλα τυποποιημένων διαστάσεων.

Η μεμβράνη στεγάνωσης πρέπει να τοποθετείται σωστά, ιδιαίτερα στην περιοχή του εσωραχίου και στις ανωμαλίες που δημιουργούνται κατά την εκσκαφή των σηράγγων καθώς παραμένει και μετά τη διάστρωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Είναι προτιμότερο οι εργασίες στεγάνωσης να αρχίζουν μόνο αφού η σήραγγα έχει πλήρως ανοιχθεί.

Η υδατοστεγής μεμβράνη πρέπει να πληρεί τα ακόλουθα στοιχεία.

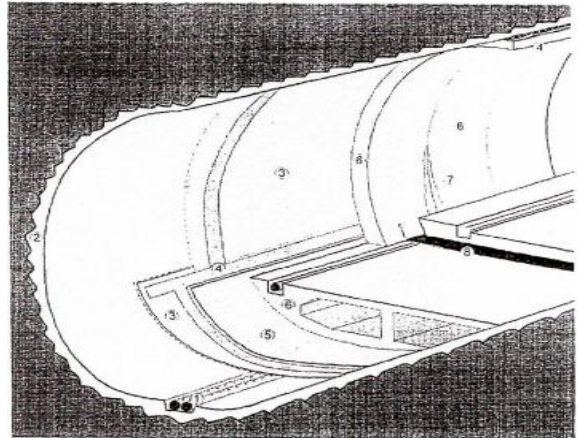
- Να διασφαλίζεται η συνέχεια της με τρόπο ώστε να δημιουργείται υδατοστεγανή στρώση και κυρίως κατά μήκος των κρίσιμων σημείων σύνδεσης.
- Να διασφαλίζεται η λειτουργία της, για την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του έργου.
- Να χαρακτηρίζεται από ιδιότητες οι οποίες θα την καθιστούν ευπροσάρμοστη στις ασυνέχειες της επιφάνειας τοποθέτησης.
- Να χαρακτηρίζεται από ιδιότητες οι οποίες θα την καθιστούν ικανή να αναλάβει εφελκυστικά και διατμητικά φορτία τόσο κατά την τοποθέτηση της όσο και κατά τη λειτουργία της.
- Να είναι ανθεκτική στη διαβρωτική δράση βιολογικών και χημικών παραγόντων.
- Να παρέχει την δυνατότητα εύκολης και γρήγορης τοποθέτησης.
- Να είναι συμβατή τόσο με το γεώφασμα όσο και με τα υλικά σταθεροποίησης.
- Να έχει χαμηλό συντελεστή τριβής με την επιφάνεια της τελικής διατομής από οπλισμένο σκυρόδεμα ώστε να περιορίζονται κατά το δυνατόν οι διατμητικές δυνάμεις οι οποίες είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε φθορά της

μεμβράνης.

- Να ανθίστανται στην καταστροφή από πυρκαγιά και ειδικότερα συνίσταται να μην είναι εύφλεκτες.
- Στην περίπτωση πυρκαγιάς, να μην δημιουργηθεί καπνός καθώς και οι απελευθερωμένες ουσίες και τα τυχόν τοξικά αέρια πρέπει να είναι αποδεκτά από τις συνθήκες κατασκευής του έργου.
- Να μην ρευστοποιούνται στις υψηλές θερμοκρασίες.

Σύστημα μονής μεμβράνης

1. Αποστράγγιση
2. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
3. FPO/ PVC πολυμερείς μεμβράνες στεγάνωσης
4. Water stop εάν απαιτείται
5. Προστατευτική στρώση
6. Οπλισμένο σκυρόδεμα της εσωτερικής διαμόρφωσης
7. Ενέσιμο έγχυμα πλήρωσης ρωγμών από συνθετικές ρητίνες
8. Στεγάνωση καταστρώματος



Τοποθέτηση στεγανωτικής μεμβράνης

Αφού ολοκληρωθεί η τοποθέτηση του γεωφάσματος, ακολουθεί η εφαρμογή των φύλλων της στεγανοποιητικής μεμβράνης. Τα φύλλα της μεμβράνης τοποθετούνται εγκάρσια, η συνήθης επικάλυψη τους ανέρχεται σε 13 - 15 cm και η ένωση τους, μεταξύ τους, γίνεται με θερμοσυγκόλληση. Οι λωρίδες της μεμβράνης αλληλεπικαλύπτονται για τη συγκόλληση μεταξύ τους κατά απόλυτα στεγανό τρόπο.

Η στεγανωτική μεμβράνη στερεώνονται στις ειδικές πλαστικές ροδέλες που έχουν τοποθετηθεί πάνω στο γεώφασμα με ειδικές συσκευές αυτογενούς συγκόλλησης διπλής ραφής, με ενδιάμεσο κανάλι ελέγχου, που αποτελεί την πιο αποτελεσματική μέθοδο ελέγχου αποτελεσματικής ραφής.

Τα σημεία τοποθέτησης των πλαστικών δίσκων βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με την ποιότητα του υποστρώματος και με γενικό κανόνα την πύκνωσή τους στην περιοχή του θόλου.

Ακολουθεί η τοποθέτηση μεταλλικών ροδελών κάτω από τις ροδέλες PVC και από την κεφαλή του καρφιού, ελάχιστης διαμέτρου $\Phi 20$ και πάχους 1,00 mm.

Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όπως απότομες εναλλαγές της διεύθυνσης του υποστρώματος, η στήριξη της μεμβράνης γίνεται πάνω σε λωρίδες (strips) από PVC.

Κατά την κατασκευή της τελικής επένδυσης, αλλά και έπειτα από αυτή, πρέπει να καταβληθεί προσπάθεια ώστε να μην τραυματιστεί η στεγανωτική μεμβράνη που έχει ήδη τοποθετηθεί. Για την επίτευξη αυτής της προσπάθειας λαμβάνονται τα εξής μέτρα.

Ø Τοποθέτηση ειδικών σωληνίσκων από PVC, για την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων επαφής μεταξύ του σκυροδέματος της τελικής επένδυσης και της μονωτικής μεμβράνης.

Ø Τοποθέτηση ειδικών καβίλιων στην περίπτωση τοποθέτησης σιδηρού οπλισμού.



Συγκόλληση στεγανωτικής μεμβράνης

Οι μέθοδοι συγκόλλησης των στεγανωτικών μεμβρανών που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες.

- Ø Συγκόλληση με θερμοπίστολο χειρός.
- Ø Συγκόλληση με αυτόματο μηχάνημα θερμού αέρα.

Πιο συγκεκριμένα, η συγκόλληση της στεγανωτικής μεμβράνης πραγματοποιείται με τη μέθοδο του θερμού πυρήνα (Hot Air Double Welding), μέσω ειδικού μηχανήματος διπλής ραφής και δημιουργίας πυρήνα για τον έλεγχο της συγκόλλησης.

Η θερμοκόλληση της μεμβράνης γίνεται πάνω στις επιφάνειες των ήδη τοποθετημένων ροδελών PVC και έτσι σε μια αύξηση των φορτίων της βραχόμαζας όπως λόγω δυναμικής καταπόνησης, η μεμβράνη απλά θα αποκολληθεί από κάποιους δίσκους χωρίς να σχισθεί.

Πριν αρχίσει η διαδικασία συγκόλλησης, πραγματοποιούνται δοκιμαστικές συγκολλήσεις σε κάθε περιοχή της σήραγγας, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικής ποιότητας ή πάχους μεμβράνες ή στην περίπτωση που υπάρχει μεταβολή των κλιματολογικών συνθηκών στο χώρο του εργοταξίου. Αυτό πραγματοποιείται για να καθοριστούν η θερμοκρασία, η ταχύτητα και η πίεση συγκόλλησης που θα εφαρμοσθούν.

Το θερμαντικό στοιχείο έχει εσοχή πλάτους 10 mm περίπου στο κέντρο ώστε να δημιουργείται μια γεωμετρική διακοπή της συνεχούς ραφής στο σημείο αυτό. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται, σε όλο το μήκος της ραφής, ένα αυλάκι ενώ η ραφή καθίσταται διπλή. Η ραφή είναι υποχρεωτικά διπλή για λόγους ασφαλείας της στεγάνωσης και για να είναι δυνατός ο έλεγχος της στεγανότητας της. Το αυλάκι, μεταξύ των δύο ραφών, χρησιμεύει στη συνέχεια στον έλεγχο της στεγανότητας και της μηχανικής αντοχής της ραφής. Η κίνηση του μηχανήματος γίνεται ανεξάρτητα από την ύπαρξη υποστρώματος, με ανεξάρτητο σύστημα αντιστήριξης. Σε περιπτώσεις, όπου

δεν είναι δυνατή η χρήση του μηχανήματος διπλής ραφής, η θερμοσυγκόλληση της μεμβράνης πραγματοποιείται με τη χρήση μονάδας θερμού αέρα.

Η ποιότητα της συγκόλλησης των ραφών προκύπτει σαν συνισταμένη της σωστής θερμοκρασίας της συγκόλλησης και της κατάλληλης μηχανικής πίεσης που ασκείται πάνω στη θέση της τοπικής τήξης του υλικού των μεμβρανών στο σημείο συγκόλλησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 16

Ιδιότητες	Μέθοδος Ελέγχου	Μονάδα	Χαρακτηριστικά
Πάχος	DIN 53370"	mm	≥2
Αντοχή σε θραύση	DIN 53455"	MPa	≥18
Επιμήκυνση σε θραύση	DIN 53455"	%	≥700
Απομένουσα αντοχή θραύσης	DIN 53455"	N/mm	≥50
Θλιπτική τάση για 20% παραμόρφωση	DIN 53454"	MPa	≥20
Αντοχή θλίψης σε χάραξη (σχισμή)	DIN 53454"	MPa	≥10
Μεταβολή διαστάσεων (διαμηκών και εγκαρσίων)	ASTMD.1204	%	≤±2
Μέτρο ελαστικότητας	ASTMD.882	MN/m ²	≥120
Αντίσταση σε διάτρηση για ύψος πτώσης	BS 6906 ASTM		Ουδεμία διάτρηση
Υδροαπορροφητικότητα	DIN 53472"	%	≤2
Αντοχή σε σχίσιμο	ASTM D.1922	kN/m	≥30
Αντοχή σε διάδοση σχισίματος	DIN 53363"	N	≥250
Αντοχή σε κρούση	ASTM D.1709	kN/m	≥150
Συρρίκνωση	DIN 16729"	%	≤1
Αντοχή σε θραύση από υδροστατική πίεση	ASTM D.751	bars	≥10
Σταθερότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες	DIN 16729"		ανεπηρέαστη
Αντίσταση σε όξινα και αλκαλικά εδάφη	DIN 16729"		ανεπηρέαστη
Συμπεριφορά των αρμών συγκόλλησης	ASTM D.4885		ουδεμία
Αποβολή πτητικών	ASTM D.4885	%	≤1

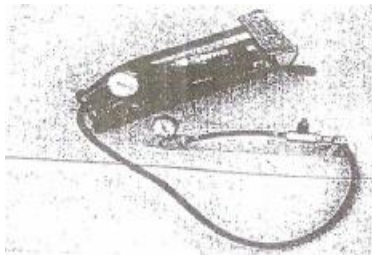
Έλεγχος παραλαβής εργοταξιακών ενώσεων (ραφών) μονωτικής μεμβράνης

Όλες οι ραφές της χαλαρά τοποθετημένης μονωτικής μεμβράνης υποβάλλονται σε μια συνεχή δοκιμή στεγανότητας και μηχανικής αντοχής, με την εισαγωγή πεπιεσμένου αέρα ο οποίος πρεσάρεται μέσα στο αυλάκι της ραφής υπό πίεση 200 Kpa επί 10 min της ώρας. Η πίεση της δοκιμής του πεπιεσμένου αέρα της δοκιμής δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2,5 bar, ενώ η διάρκεια της πρέπει κατά ελάχιστο να ανέρχεται στα 10 min και κατά μέγιστο στα 30 min. Η συγκόλληση θεωρείται επιτυχής εάν μετά την πάροδο 10 min, η πίεση δεν ελαττωθεί περισσότερο από 20%.

Στην περίπτωση αστοχίας της διπλής ραφής, είτε λόγω διακοπής / πτώσης της τάσης του ρεύματος, είτε λόγω βλάβης του μηχανήματος, η αποκατάσταση της συνίσταται στην επιδιόρθωση του συγκεκριμένου σημείου που έχει βλάβη και στον επανέλεγχο της ραφής ή στην συνολική επανασυγκόλληση της ραφής με χρήση μονάδας θερμού αέρα.

Δοκιμή αντοχής για αρμούς διπλής ραφής

Η ανωτέρω δοκιμή πραγματοποιείται με εφαρμοζόμενη πίεση αέρα 2,5 bar και για χρονικό διάστημα που δεν υπερβαίνει τα 14 min τη ώρα καθώς επίσης η διακύμανση της πίεσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 10% .



Ειδικές Κατασκευαστικές εφαρμογές

Προκειμένου να περιορισθεί το ενδεχόμενο αστοχίας της στεγανοποιητικής μεμβράνης στις περιοχές στις οποίες υπάρχουν οι κατασκευαστικοί αρμοί, προβλέπεται πρόσθετη εξασφάλιση της στεγανωτικής μεμβράνης στη θέση των κατασκευαστικών αρμών. Αυτό

επιτυγχάνεται με επικόλληση πρόσθετης - δευτέρας προστατευτικής λωρίδας μεμβράνης, κατά μήκος του αρμού και σε πλάτος κατά ελάχιστο 0.50 m, πάνω στην κυρίως ραφή και περιφερειακά. Η λωρίδα θερμοσυγκολλείται επάνω στο κύριο φύλλο της μεμβράνης, τοπικά στα άκρα της, με πιστόλι θερμού αέρα.

Εάν οι κατασκευαστικοί αρμοί παρουσιάζουν άνοιγμα μεγαλύτερο από 1.00 cm στην περίπτωση αυτή πληρούνται με αφρώδεις πλαστικές πλάκες ενώ το προς το εσωτερικό της σήραγγας άκρο τους σφραγίζεται με εύκαμπτο κορδόνι και ασφαλομαστίχη.

Ø Για την πιθανή εκτέλεση τσιμεντενέσεων πλήρωσης μεταξύ του σκυροδέματος της τελικής επένδυσης και της μονωτικής μεμβράνης, τοποθετούνται ειδικοί σωληνίσκοι από PVC κατά τη διάρκεια των εργασιών σκυροδέτησης.

Ø Στις θέσεις που τοποθετούνται Γεωτεχνικά όργανα για τον έλεγχο της συμπεριφοράς της σήραγγας μετά τη σκυροδέτηση, λαμβάνεται ειδική μέριμνα για την διέλευση των αγωγών, καλωδίων μέσα από τη μεμβράνη.

Διατρήσεις επί της στεγανωτικής μεμβράνης

i. Σε περιοχές ύδατος υπό πίεση

Σε περιοχές όπου το νερό βρίσκεται υπό πίεση πρέπει να αποφεύγονται οι διατρήσεις της μεμβράνης. Αν αυτό δεν καθίσταται εφικτό, στην περίπτωση αυτή επιτρέπονται μόνο χαλύβδινοι αγωγοί οι οποίοι θα πρέπει να είναι ασφαλώς αγκυρωμένοι μέσα στο υπόστρωμα της στεγάνωσης.

Όλες οι διατρήσεις πρέπει να έχουν την δική τους υδρομόνωση όπου αυτό απαιτείται καθώς και όλες οι ραφές τους να είναι υδατοστεγανά συγκολλημένες.

ii. Σε περιοχές ύδατος που δεν βρίσκονται υπό πίεση

Στις διατρήσεις αυτών των περιοχών χρησιμοποιούνται κολάρα και σφιχτήρες καθώς ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται ώστε να αποφεύγονται

αποθέσεις των πληρωτικών υλικών πάνω στη σκυροδετημένη επιφάνεια.

iii. **Τοποθέτηση αναμονών βαρέως τύπου ανάρτησης οπλισμού**

Η τοποθέτηση αναμονών για την ανάρτηση του οπλισμού πραγματοποιείται με τη χρήση καρφιού (Φ16) το οποίο πακτώνεται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, με τη χρήση αγκυροκεφαλής πολυαμιδίου φέρουσας ικανότητας άνω των 3 KN.

Κατά την τοποθέτηση γίνεται διάτρηση του γεωυφάσματος και της στεγανωτικής μεμβράνης, για την επαρκή στεγανοποίηση της οποίας γίνεται χρήση ειδικού τεμαχίου PVC το οποίο προσαρμόζεται γύρω από το αγκύριο και συγκολλείται επί της μεμβράνης.

Απαιτήσεις υποστρώματος που εδράζεται στην εκσκαφή

Το υπόστρωμα πάνω στο οποίο εφαρμόζεται η στεγανωτική μεμβράνη εξαρτάται από τη μέθοδο εκσκαφής. Γενικά, αποτελείται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και παρουσιάζει επιφανειακές ανωμαλίες ανάλογα με τη μέθοδο εκσκαφής.

Όπως προαναφέρθηκε, πάνω στην στρώση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στηρίζεται το γεωύφασμα και ακολούθως η στεγανοποιητική μεμβράνη όποτε ως άμεσο αποτέλεσμα είναι η ποιότητα της επιφάνειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος να συμβάλλει σημαντικά στην καλή λειτουργία του όλου συστήματος της στεγάνωσης, διότι πάνω σε αυτή γίνεται η στερέωση του όλου συστήματος στεγανοποίησης.

Είναι επιβεβλημένο το στρώμα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος όχι μόνο να εξασφαλίζει την ευστάθεια της βραχώμαζας αλλά συγχρόνως να καλύπτει όλες τις αιχμές, προεξοχές και κοιλώματα της καθώς επίσης και τις στερεώσεις ή τα αγκύρια, που χρησιμοποιούνται.

Απώτερος σκοπός είναι η επίτευξη μιας επιφάνειας εκτοξευόμενου σκυροδέματος η οποία δεν θα τραυματίσει τα υλικά στεγάνωσης είτε κατά την τοποθέτηση είτε λόγω ενδεχόμενων μεταγενέστερων παραμορφώσεων,

εξαιτίας ανακατανομής των φορτίων περιμετρικά της διατομής. Συνεπώς, πριν από την έναρξη της σκυροδέτησης, η επιφάνεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, πάνω στην οποία θα τοποθετηθεί αρχικά η στρώση γεωφάσματος, ελέγχεται ώστε να εντοπίζονται και να διορθώνονται πιθανές προεξοχές που θα ήταν δυνατόν να προκαλέσουν φθορά στα υλικά στεγανοποίησης.

Οι ακόλουθες προϋποθέσεις πρέπει να πληρούνται από το υπόστρωμα.

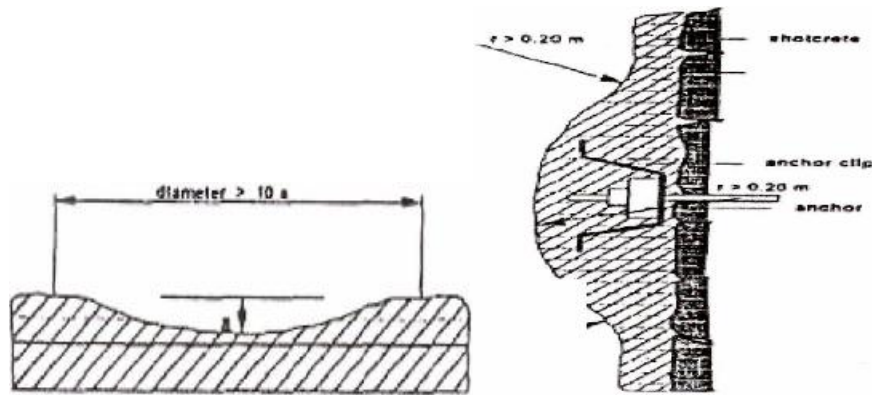
- Για εκτοξευόμενο σκυροδέμα τελικής στρώσης, απαραίτητα από λεπτόκοκκο αδρανές υλικό, η μέγιστη κοκκομετρία είναι $d=6,0$ mm και ελάχιστο πάχος 50 mm αναλογία βάθους - διαμέτρου κοιλοτήτων 1 : 5.
- Οι εσοχές και οι εξοχές πρέπει να διαθέτουν ακτίνα καμπυλότητας στρογγυλεμάτων τα > 20 cm.
- Επαρκή αντοχή και διαστασιολογική σταθερότητα και συνέχεια της στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
- Σχέση μήκους προς ύψους, στις τοπικές προεξοχές, τουλάχιστον 5:1 για την περίπτωση ελαστικών μεμβρανών πάχους έως 2,0 mm .
- Δεν επιτρέπεται στάσιμο νερό στην επιφάνεια εφαρμογής της μεμβράνης.

Επίσης η κατασκευή της στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος οργανώνεται βάσει των ακόλουθων.

- ◆ Σε πρώτη φάση, η κατασκευή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο απαιτούμενο πάχος για τη στατική λειτουργία της άμεσης υποστήριξης.
- ◆ Σε δεύτερη φάση, αφού σταθεροποιηθεί η βραχώμαζα και εκτονωθούν οι τυχόν παραμορφώσεις μετά τη διάνοιξη, κατασκευάζεται η δεύτερη στρώση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η άριστη συνεργασία του γεωφάσματος με την υποκείμενη στρώση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η επιτρεπτή γεωμετρία της ανομοιομορφίας του υποστρώματος ως αποτέλεσμα της μεθόδου εκσκαφής πραγματοποιείται

βάσει του παρακάτω σχήματος.



Αποστράγγιση υπόγειου τμήματος κατά τη φάση κατασκευής

Για τον καθορισμό των απαιτούμενων μέτρων αποστράγγισης του υπόγειου τμήματος της σήραγγας συναξιολογούνται τα ακόλουθα στοιχεία.

Ø Οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής του έργου.

Ø Η φύση των γεωλογικών σχηματισμών που εντοπίζονται στην περιοχή του έργου.

Ø Η αναμενόμενη βελτίωση της συμπεριφοράς της υπόγειας εκσκαφής με τη διενέργεια της αποστράγγισης.

Βάσει των ανωτέρω συνάγεται ότι κατά μήκος του υπόγειου τμήματος της σήραγγας δεν αναπτύσσεται υδροφόρος ορίζοντας. Ενδέχεται όμως να αναπτυχθούν εγκλωβισμένοι υδροφόροι ορίζοντες, μικρής δυναμικότητας, σε απομονωμένα καρστικά έγκοιλα στα οποία δίνεται η δυνατότητα εκτόνωσης, με τη δημιουργία της επιφάνειας εκσκαφής της σήραγγας.

Καθώς δεν αναμένονται εισροές υδάτων στις σήραγγες, θεωρείται μη απαραίτητη η εφαρμογή ειδικών μέτρων απομάκρυνσης των υδάτων κατά τη κατασκευή. Προκειμένου όμως να προβλεφθούν μέτρα ελεγχόμενης εκτόνωσης, ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας προσδιορίστηκε για κατάλληλη διάταξη οπών αποστράγγισης από το εσωτερικό της σήραγγας και ανακουφιστικών οπών του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Με την αποστράγγιση νοείται η παροχή όλων των μηχανικών μέσων που απαιτούνται για την απομάκρυνση των υδάτων της βραχώμαζας από την

περιοχή του μετώπου και από τη ζώνη προσβολής καθώς επίσης και για την προσωρινή απαγωγή του εκτός σήραγγας, κατά τρόπο που να μην εμποδίζει τη διεξαγωγή των εργασιών διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας. Η απαγωγή αυτή, συνήθως, πραγματοποιείται με τη δημιουργία κατάλληλου θύλακος, διαστάσεων ανάλογων με τις εμφανιζόμενες ποσότητες ύδατος της βραχόμαζας.

Σε περίπτωση που οι σήραγγες διανοίγονται από μέτωπα στα οποία, λόγω της κατά μήκος κλίσης του έργου θα συσσωρεύονται ύδατα, επιβάλλεται η πρόβλεψη για την άντληση των υδάτων προς την έξοδο και τον αποδέκτη των υδάτων. Για τα λοιπά μέτωπα, συνίσταται η κατάλληλη διαμόρφωση της κατά μήκος κλίσης της θύλακος απαγωγής έτσι ώστε να μη παρεμποδίζεται η ροή των υδάτων προς τον αποδέκτη τους. Τα ύδατα της βραχόμαζας τα οποία οδηγούνται στην έξοδο της σήραγγας, είναι συνήθως ανακατεμένα με λάδια μηχανημάτων και λοιπές ακαθαρσίες που προέρχονται από τις εργασίες διάνοιξης της σήραγγας. Για το λόγο αυτό, οδηγούνται σε ειδική δεξαμενή συγκέντρωσης, όπου σε πρώτη φάση αφήνονται να καθιζήσουν τα στερεά υπολείμματα σε ειδικό χώρο και έπειτα το καθαρισμένο νερό αφήνεται ελεύθερο να ρέει στο φυσικό αποδέκτη. Η άνωθεν ροή προς τον φυσικό αποδέκτη μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω αγωγών, είτε απευθείας από τη δεξαμενή καθίζησης με μικρή κατάντη διαρρύθμιση. Η δεξαμενή καθίζησης καθαρίζεται από τα στερεά κατάλοιπα σε τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να διευκολύνεται η λειτουργία της. Παρόμοια δεξαμενή καθίζησης κατασκευάζεται σαν μόνιμη κατασκευή στα στόμια των σηράγγων για τη συγκέντρωση σε μόνιμη βάση των υδάτων του καταστρώματος της σήραγγας.

Άντληση υπόγειου ύδατος

Με βάση τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες δεν προβλέπεται η παρουσία υπόγειου ύδατος κάποιας σημαντικής παροχής, με συνεχή

παρουσία. Σύμφωνα και με τις υπάρχουσες εκτιμήσεις, οι σήραγγες θα είναι στεγνές, ενδέχεται όμως η παρουσία εποχικών επιφανειακών εισροών ή και η ξαφνική εμφάνιση από διατάραξη παγιδευμένου ύδατος εντός θυλάκων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το παραπάνω φαινόμενο αντιμετωπίζεται ως προσωρινό καθώς και με τη χρήση αντλιών FLYGHT βυθιζόμενων. Έτσι, έχουμε τοπική άντληση και μεταφόρτωση του ύδατος κυρίως για λόγους καθαριότητας του μετώπου της σήραγγας. Αντιθέτως, στην περίπτωση συνεχούς ροής υπόγειου ύδατος σημαντικής παροχής, εγκαθίσταται σύστημα άντλησης με σωληνογραμμή ακαθάρτων και δεξαμενή καθίζησης στην έξοδο, για την αποβολή όσο γίνεται πιο καθαρού ύδατος στις εξόδους.

Υδρομάστευση σε περιοχές μεγάλης υδροφορίας

Στις περιοχές μεγάλης υδροφορίας διατάσσεται σύστημα αποστραγγιστικών οπών. Οι ποσότητες των υδάτων που συλλέγονται από τις αποστραγγιστικές οπές, συγκεντρώνονται σε ειδικό δίκτυο πλαστικών αγωγών, κατάλληλων διαμέτρων και οδηγούνται στο διάτρητο αποστραγγιστικό αγωγό, χωρίς να παραβλέπετε η στεγανότητα της διατομής χρήσης της σήραγγας. Η τοποθέτηση των πλαστικών αγωγών πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τις εργασίες για την κατασκευή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ώστε οι αγωγοί να ενσωματωθούν στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Στεγάνωση των μετώπων εισόδου της σήραγγας

Στην περιοχή των στομιών (μετώπων) της σήραγγας δύναται η κατασκευή συστήματος συγκέντρωσης και απαγωγής των ποσοτήτων νερού που συγκεντρώνονται στις περιοχές αυτές από το εξωτερικό της σήραγγας. Τα ύδατα αυτά συνήθως προέρχονται από την στράγγιση της βραχώμαζας στα μέτωπα της σήραγγας και οδηγούνται εκεί από τους αγωγούς συγκέντρωσης τους, εφόσον απορρέουν προς την κατεύθυνση της σήραγγας. Τα παραπάνω

ύδατα και υγρά δύναται να συγκεντρωθούν σε δεξαμενές συγκέντρωσης και διαχωρισμού, με εφαρμογή του μετέπειτα καθαρισμού τους και διέξοδο τους προς τους φυσικούς αποδέκτες, κοντά στα στόμια.

Γενικά στοιχεία τελικής επένδυσης

Πρωταρχικός και κύριος σκοπός της μόνιμης επένδυσης αποτελεί η αναχαίτιση διαφόρων δράσεων / φορτίων, οι οποίες οφείλονται στα ακόλουθα στοιχεία

Ø Στο ίδιο βάρος του φορέα και τα εξωτερικά επιβαλλόμενα φορτία, μόνιμα ή κινητά. Η τελική επένδυση είναι αρχικός αφόρτιστη. Με την πάροδο του χρόνου, η φέρουσα ικανότητα των μέτρων προσωρινής υποστήριξης αφορμειώνεται, κυρίως λόγω χαλάρωσης ή ερπυσμού της βραχώμαζας που περιβάλλει τη σήραγγα. Τα αντίστοιχα γεωστατικά φορτία μεταφέρονται βαθμιαία στο φορέα της μόνιμης επένδυσης.

Ø Στην υδροστατική πίεση, έχουν υπολογιστεί τυχόν εποχιακά κατεισδύοντα ύδατα, σε συνδυασμό με την υποθετική περίπτωση μη ικανοποιητικής λειτουργίας του συστήματος υδατοστεγάνωσης – αποστράγγισης.

Ø **Στη σεισμική φόρτιση.** Περιλαμβάνεται η δράση της σεισμικής φόρτισης κυρίως όταν οι σήραγγες τέμνονται από ενεργά ρήγματα υπό αρκετά οξεία γωνία οπότε το μήκος της σήραγγας το οποίο υφίστανται αλληλεπιδρά με το ρήγμα και επιπλέον δεν είναι αποδοτική η κατασκευή εγκάρσιων αρμών στην επένδυση.

Στην περίπτωση αυτή αποφεύγεται η διασταύρωση της σήραγγας με το ρήγμα μέσω αλλαγής της χάραξης. Άλλος τρόπος αντιμετώπισης αποτελεί η διεύρυνση της διατομής, ώστε εάν συμβούν μόνιμες παραμορφώσεις, λόγω ενεργοποίησης των ρηγμάτων και βλάβη της επένδυσης, λειτουργία της σήραγγας να μπορεί να αποκατασταθεί μετά την επισκευή της επένδυσης.

Αυτή ακριβώς η πρακτική έχει εφαρμοστεί στις εξόδους των σηράγγων καθώς και στην είσοδο, εφόσον δεν ήταν δυνατόν να αποφευχθούν

όλα τα ενεργά ρήγματα και κυρίως στη στενή ζώνη των στομίων των εν λόγω σηράγγων στη θερμοκρασιακή μεταβολή η ανωτέρω δράση μπορεί κάλλιστα να παραληφθεί από το φορέα της μόνιμης επένδυσης.

Στις αδρανειακές δυνάμεις οι δράσεις οφείλονται σε ταλάντωση του φορέα από κρουστικές δυνάμεις λόγω πρόσκρουσης οχήματος ή λόγω έκρηξης. Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας περιλαμβάνει, ενδεικτικά και όχι αποκλειστικά, ενσωματωμένες μέσα στο σκυρόδεμα τις ακόλουθες εγκαταστάσεις ή τμήματα αυτών:

Φωλεές οργάνων

- Φωτισμό του εσωτερικού της σήραγγας όπως σωλήνες καλωδίων
- Πλευρικές φωλεές φρεατίων εκτροπής, καθαρισμού στραγγιστηρίων αγωγών
- Φωτεινή σήμανση όπως σωλήνες καλωδίων
- Πλευρικές φωλεές πινάκων ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, πυρόσβεσης, τηλεφώνων.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Η κατασκευή της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας προβλέπεται σε κανονική ή διευρυμένη διατομή στα τεχνικά έργα εισόδου στα στόμια της σήραγγας, καθώς και σε ευθύγραμμο ή σε καμπύλα τμήματα. Επίσης, δύναται να είναι τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη διατομή χρήσης και το επιφανειακό τελείωμα της είναι τύπου Γ, με ομοιόμορφη τραχύτητα σε όλο το μήκος της σήραγγας.

Η εφαρμογή της πραγματοποιήθηκε σε όλο το μήκος της σήραγγας και αποτελεί εκτός από στατικό στοιχείο και στοιχείο τελειώματος του εσωτερικού χώρου της σήραγγας. Η τοποθέτηση της επένδυσης γίνεται κυρίως για λειτουργικούς λόγους καθώς οι πιέσεις που θα της ασκηθούν θα είναι ασήμαντες. Σημειωτέον υπενθυμίζεται ότι τα φορτία των υπερκείμενων

αναλαμβάνονται πλήρως από την προσωπική υποστήριξη. Η διαδικασία κατασκευής της μόνιμης επένδυσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Την προμήθεια, μεταφορά και αποθήκευση – επί τόπου των έργων – των απαραίτητων υλικών και προσμικτών που απαιτούνται για την παρασκευή, ανάμειξη, μεταφορά, διάστρωση και συντήρηση του σκυροδέματος μέσα στη σήραγγα.
- Την παροχή όλου του μηχανικού εξοπλισμού που είναι απαραίτητο για την κατασκευή της τελικής επένδυσης.
- Τον ειδικό τύπο – ολισθαίνοντα σιδηρότυπο – που απαιτείται για την κατασκευή του θόλου και των υπόλοιπων τμημάτων της σήραγγας.
- Τις τσιμεντενέσεις χαμηλής πίεσης για την πλήρωση κενών μεταξύ της τελικής επένδυσης και της στεγανωτικής μεμβράνης (τσιμεντενέσεις επαφής).
- Την προμήθεια και την τοποθέτηση σωλήνων PVC για την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων χαμηλής πίεσης.
- Την επεξεργασία των αρμών.
- Την κατασκευή 'σκοτίας' στις θέσεις των αρμών.
- Την εργασία για την πλήρωση των αρμών με το αντίστοιχο υλικό πληρώσεως.
- Την επεξεργασία της επιφάνειας του σκυροδέματος η οποία πρέπει να είναι λεία.
- Δειγματοληψία και εργαστηριακές δοκιμές των αδρανών υλικών και του σκυροδέματος.

Υλικά κατασκευής μόνιμης επένδυσης

Το υλικό που συνθέτει τον φορέα της τελικής επένδυσης (θόλο, θεμέλια) κατασκευάζεται από επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα. Η τελική επένδυση της σήραγγας προβλέφθηκε για οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας B35.

Οι δευτερογενείς κατασκευές πραγματοποιούνται με σκυρόδεμα ποιότητας B15 (C16/20) ενώ το άοπλο σκυρόδεμα εξομαλυντικών στρώσεων είναι ποιότητας B5. Ο δε οπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της μόνιμης επένδυσης είναι από χάλυβα ποιότητας S500 ή μεταλλικού πλέγματος ST IV. Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου Portland τύπου I-42,5N υψηλής πρώιμης αντοχής, για να διευκολύνεται η αφαίρεση των ξυλότυπων ή του μεταλλότυπου και ανθεκτικό στην επιφανειακή φθορά.

Μεθοδολογία κατασκευής μόνιμης επένδυσης

Οι εργασίες ξεκινούν με την κατασκευή των θεμελίων της σήραγγας και την τοποθέτηση του απαιτούμενου οπλισμού για την δημιουργία της άρθρωσης ή της πάκτωσης μεταξύ των πέδινων και του θόλου (αναμονές). Έπεται η σκυροδέτηση των παρειών της διατομής και την υιοθέτηση στατικά ισοδύναμων ειδικών ήλων ανάρτησης του οπλισμού.

Διάστρωση και συμπύκνωση σκυροδέματος τελικής επένδυσης

Η προετοιμασία για την διάστρωση του σκυροδέματος περιλαμβάνει τον καθαρισμό γεωλογικών ρηγμάτων, ρωγμών ή σχισμών της βραχομάζας και γενικά όλων των επιφανειών με εκτόξευση ύδατος – αέρα υψηλής ταχύτητας ή με υγρή αμμοβολή. Επίσης την μετέπειτα διαβροχή όλων των επιφανειών με κονίαμα πάχους 2,00 cm, όπου η εν λόγω στρώση αυτή προωθείται ώστε να εισχωρεί σε όλες τις ρωγμές της βραχομάζας, για την εξασφάλιση πλήρους επαφής βραχομάζας και σκυροδέματος.

Ο φορέας της σήραγγας σκυροδετείτε αφού έχει διαπιστωθεί βάσει μετρήσεων η ισορροπία της περιβάλλουσας βραχομάζας δηλαδή μηδενικές μετακινήσεις. Το σκυρόδεμα διαστρώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη φόρτιση των υποστηριγμάτων των τύπων του θόλου της σήραγγας συμμετρικά περί το κέντρο του.

Ενδείκνυται η χρήση αντλιών σκυροδέματος, όπου σε αυτή την περίπτωση το σκυρόδεμα επιβάλλεται να έχει κάθιση 100 mm. Δεν συνίσταται η χρήση αντλιών που χρησιμοποιούν πεπιεσμένο αέρα διότι είναι πολύ πιθανό η μη επίτευξη εισαγωγής του σκυροδέματος στην προβλεπόμενη θέση χωρίς διαχωρισμό ή απόμιξη του χονδρόκοκκου αδρανούς. Επίσης καμία χρήση της νωπής σκυροδετημένης επιφάνειας δεν επιτρέπεται να γίνει πριν παρέλθουν τουλάχιστον 12 ώρες από το πέρας της σκυροδέτησης.

Οι μεταλλότυποι αφαιρούνται προσεκτικά ώστε να προκαλούνται ζημιές στο σκυρόδεμα. Τη χρονική στιγμή της απομάκρυνσης του καλουπιού δεν αναμένονται φορτία επί της τελικής επένδυσης, κάτι το οποίο προέρχεται από την χαλάρωση των μέτρων υποστήριξης. Ο θεωρητικός χρόνος εφαρμογής τους λαμβάνει χώρα αφού η τελική επένδυση έχει αναπτυχθεί την τελική αντοχή της.

Κατά την φάση της έγχυσης του σκυροδέματος ή κατά τη συμπύκνωση με δονητές πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε να αποφευχθούν τραυματισμοί της στεγάνωσης – στην εσωτερική επιφάνεια της εξωτερικής επένδυσης. Γι' αυτό το λόγο είναι προτιμότερη η χρήση δονητών επιφάνειας ή βυθιζόμενου τύπου (μάζης) οι οποίοι συνδέονται σταθερά με το μεταλλότυπο και λειτουργούν σε διαδοχικές θέσεις, με τη μεταξύ τους απόσταση να είναι 1,20m.

Το σκυρόδεμα πρέπει να συμπυκνώνεται με κατάλληλα μέσα ώστε να αποκτά τη μέγιστη δυνατή πυκνότητα, να είναι απαλλαγμένο θυλάκων χονδρόκοκκων αδρανών και αέρα και να είναι σε πλήρη επαφή με το υπόβαθρο, το μεταλλότυπο και τις περιβάλλουσες σε αυτό επιφάνειες.

Τσιμεντενέσεις πληρώσεως

Για την ολοκλήρωση του μόνιμου φορέα προβλέπεται, όπου απαιτείται, η εκτέλεση τσιμεντενέσεων πληρώσεως, υπό κατάλληλη (χαμηλή έως μέση) πίεση με παχύρευστο ένεμα, για την πλήρωση των κενών που

παρέμειναν κατά την σκυροδέτηση της επενδύσεως μεταξύ αυτής και του πετρώματος κυρίως στην περιοχή της οροφής της σήραγγας.

Κενά ενδεχομένως θα προκύψουν και πίσω από την τελική επένδυση τα οποία, επίσης, πληρώνονται με ένεμα ώστε να υπάρξει απόλυτη επαφή μεταξύ της οριστικής επένδυσης και της μονωτικής μεμβράνης.

Η εκτέλεση τους προβλέπεται τουλάχιστον 15 ημέρες μετά την σκυροδέτηση από οπές στην οροφή της σήραγγας, ανά αποστάσεις 5,00 – 8,00 m ή όσες απαιτούνται για να εξασφαλίζεται η πλήρης και ικανοποιητική πλήρωση των κενών. Το ένεμα που χρησιμοποιείται είναι τσιμεντοκονίαμα με αναλογίες ύδατος προς τσιμέντο προς άμμο 1:1:α κατά βάρος και εφαρμοζόμενη πίεση εισπίεσεως δεν δύναται να υπερβεί τις 2,00 – 5,00 atm.

Μεταλλότυπος τελικής επένδυσης

Η κατασκευή της επένδυσης από σκυρόδεμα των παρειών και του θόλου των σηράγγων πραγματοποιείται με τη χρήση μεταλλότυπου, αρθρωτού τύπου (αρθρώσεις στην κλείδα, στο μέσο των πλευρών και σε ύψος 0,50 m πάνω από τον πυθμένα εκατέρωθεν) και οποίος φέρει χαλύβδινη επένδυση.

Ένας μεταλλότυπος τέτοιου τύπου συνήθως έχει μήκος 9,00 m, υποβαστάζεται σε φορείο κυλιόμενο επί σιδηροτροχιών (οι οποίες έχουν τοποθετηθεί κατάλληλα στο δάπεδο των σηράγγων), αναδιπλώνεται με υδραυλική υποβοήθηση, είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο αριθμό δονητών επιφάνειας και στόμια σύνδεσης του σωλήνα της αντλίας σκυροδέματος σε διάφορες θέσεις. Τα στόμια αυτά κλείνουν με συρταρωτές διατάξεις αντεπιστροφής. Ακόμα, απαιτείται ειδική πλατφόρμα για την εγκατάσταση του σιδηροπλισμού και μπροστά από αυτή προηγείται η πλατφόρμα εγκατάστασης του συστήματος αποστράγγισης και της στεγανωτικής μεμβράνης.

Επιπρόσθετα δύναται να είναι ισχυρός και ανάλογης μορφής ώστε να αντέχει στις πιέσεις που ασκούνται κατά την έκχυση και δόνηση του σκυροδέματος καθώς επίσης και να συγκρατείται, χωρίς μετακινήσεις, στη σωστή θέση του και να αποδίδει επακριβώς το περιτύπωμα των σηράγγων. Ο μεταλλότυπος είναι έτσι κατασκευασμένος ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική συμπίκνωση στο σκυρόδεμα του πυθμένα της σήραγγας στη θέση του διαμήκη αρμού και σε όλο το μήκος αυτού.

Μεταξύ των μεταλλότυπων υπάρχει αρμός 2,00cm και ο οποίος στεγανώνεται κατάλληλα. Ειδικότερα, η στεγάνωση των αρμών διακοπής επιτυγχάνεται με τη χρήση αναστολέων υγρασίας, πλακών FLEX CELL και PLASTIC JOINT. Λόγω της καμπυλότητας της κατασκευής, οι αρμοί μεταξύ των διαφόρων τμημάτων έχουν μεταβλητό πλάτος και για τον λόγο αυτό τοποθετείται ειδικό τεμάχιο ώστε να καλύψει τη διαφορά και να παραμείνει ο αρμός 2,00 cm.

Ο μεταλλότυπος αφαιρείται όταν το σκυρόδεμα της τελικής επένδυσης έχει αποκτήσει αντοχή θλίψης 5 Mpa και εφελκυστική αντοχή 1,4 Mpa. Έπειτα από την αφαίρεσή του γίνονται οι επισκευές και επεξεργασίες της επιφάνειας του σκυροδέματος, όπου παρατηρείται εσοχή, ανωμαλία, κενό ή διόγκωση. Οι εν λόγω επεξεργασίες δύναται να πραγματοποιηθούν με νέο σκυρόδεμα ή με εποξειδική ρητίνη.

Εκτιμάται ότι ο ημερήσιος ρυθμός προχώρησης του κάθε μετώπου σκυροδέτησης είναι ανάλογος του διατιθέμενου μήκους σιδηρότυπων. Συνεπώς, για τις ανάγκες του έργου το υλικό εν χρήσει μήκους 9,00 m σιδηρότυπου είναι επαρκές για την ολοκλήρωση της σκυροδέτησης με ρυθμό περίπου 60,00m ανά εβδομάδα.



ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΑΡΜΟΙ ΕΠΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Αρμοί συστολής / διαστολής

Οι αρμοί συστολής / διαστολής δύνανται να έχουν ομαλή και επίπεδη ή με εγκοπές επιφάνεια για να εξασφαλίζουν την επαφή των κατασκευών. Οι προκύπτουσες, από τη χρησιμοποίηση τύπων, επιφάνειες αρμών συστολής / διαστολής καθαρίζονται επιμελώς από προσφύσεις σκυροδέματος ή από άλλα ξένα υλικά με απόσταξη.

Αρμοί εργασίας

Η τελική επένδυση από σκυρόδεμα διαθέτει αρμούς εργασίας οι οποίοι συμπίπτουν με τα άκρα του μεταλλότυπου και έχουν πάχος $1,00 \div 2,00\text{cm}$. Η στεγάνωση στις θέσεις των αρμών φέρει μια επιπλέον στεγανωτική στρώση πλάτους 50 cm. Η πλήρωση των αρμών πραγματοποιείται με αφρώδη πλαστικά φύλλα (φύλλα διογκούμενης πολυστερίνης) πάχους $10,00 \div 20,00\text{mm}$. Το προς το εσωτερικό, δηλαδή προς το χρήσιμο χώρο της σήραγγας, άκρο του αρμού σφραγίζεται με εύκαμπτο κορδόνι και με ασφαλτομαστίχα.

Αρμοί κατασκευαστικοί

Οι κατασκευαστικοί αρμοί, που καταλήγουν σε ορατές επιφάνειες σκυροδέματος, είναι περίπου οριζόντιοι και η διαμόρφωση τους

επιτυγχάνεται με την χρήση τύπων που εξασφαλίζουν κατάλληλη σύνδεση με τη μεταγενέστερη διάστρωση.

Μεταχείριση κατασκευαστικών αρμών υφίστανται όλοι, οι προκύπτοντες από τη χρήση ή μη ξυλοτύπων, αρμοί στην επιφάνεια της από σκυρόδεμα επένδυσης της σήραγγας καθώς και οι επιμήκεις αρμοί στο άνω μέρος του δια σκυροδέματος επενδυμένου δαπέδου της σήραγγας. Η επεξεργασία των αρμών αυτών περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

Ø Καθαρισμός αρμών που συνίσταται στην απομάκρυνση εκρεύσαντος σκυροδέματος, χαλαρού ή ελαττωματικού σκυροδέματος, επικαλύψεων, αρμών, άμμου, σφραγιστικού υλικού στεγάνωσης και άλλων ξένων υλικών.

Ø Διατήρησή τους σε υγρή κατάσταση, όταν καλύπτονται με νωπό σκυρόδεμα.

Ø Η κοπή του αρμού με αέρα – νερό διενεργείται μετά την αρχική πήξη του σκυροδέματος. Η επιφάνεια κόπτεται με εκτόξευση αέρα-νερού υψηλής πίεσης (>40 MPa), για την απομάκρυνση εκρεύσαντος σκυροδέματος και για την αποκάλυψη καθαρού, υγιούς αδρανούς.

Στην περίπτωση της επεξεργασίας των κατασκευαστικών αρμών με υγρή αμμοβολή, η εργασία διενεργείται αμέσως πριν από την τοποθέτηση της επόμενης στρώσης σκυροδέματος. Ο εξοπλισμός της υγρής αμμοβολής λειτουργεί με πίεση 700 kPa και η άμμος θα είναι πυκνή, σκληρή και αρκετά ξηρή. Η κοπή της επιφάνειας με χρήση εκτοξευμένου αέρα- ύδατος απαγορεύεται σε επιφάνειες με υπερπλήρη χάλυβα οπλισμού.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΩΝ

ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:

Ø Σκυροδέματα

Οπλισμένο σκυρόδεμα μόνιμης επένδυσης B35 (C30/37)

Οπλισμένο σκυρόδεμα δευτερογενών κατασκευών B15 (C16/20)

Άοπλο σκυρόδεμα εξομαλυντικών στρώσεων B5

Ø Χάλυβας οπλισμού

BSt 500s (S 500s)

ΦΟΡΤΙΑ:

Ø Μόνιμα φορτία

Ίδιο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος $\gamma=25,00 \text{ KN/m}^3$

Ίδιο βάρος άοπλου σκυροδέματος $\gamma=23,00 \text{ KN/m}^3$

Ίδιο βάρος χάλυβα S500 $\gamma=78,00 \text{ KN/m}^3$

Ø Υδροστατική πίεση

200KM/m² (ακτινικά)

Ø Θερμοκρασιακά φορτία

Ενεργός διαφορά θερμοκρασίας (έξω, μέσα) $\Delta t=\pm 10^0 \text{ C}$, $T_m = 15^0 \text{ C}$

Ενυδάτωση (ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας) $\Delta t=\pm 25^0 \text{ C}$, $at = 10^{-5}$

Συστολή ξήρανσης (ισοδύναμη θερμοκρασία) $\Delta t=-20^0 \text{ C}$, $at = 10^{-5}$

Ερπυσμός (ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας) $\Delta t=\pm 10^0 \text{ C}$, $at = 10^{-5}$

Ø Τυχηματικά φορτία

Πίεση από έκρηξη $P=100 \text{ KM/m}^2$

Φορτίο πρόσκρουσης οχήματος $P=500 \text{ KM/m}^2$

ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ

Έλεγχος ρηγμάτωσης κατά EC2: **W<0.3 mm**

Ελάχιστη επικάλυψη οπλισμού, γενικά: **50mm**

Ελάχιστη επικάλυψη οπλισμού, δευτερογενών σκυροδεμάτων: **30 mm**

Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού: **0,15%** της διατομής ανά στρώση

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: **III**

Επιτάχυνση εδάφους: **$\alpha = 0,30$**

Κατηγορία εδάφους: **B**

Σπουδαιότητα: **$\Sigma 2$ ($M = 1,00$)**

Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς: **$q = 1.00$**

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000

ΕΚΟΣ – Ελληνικός Κανονισμός Σκυροδέματος 2000

Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΚΤΣ 1997

DIN 1045/88 – Άοπλο και Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Υπολογισμός και Εκτέλεση

DIN 1072/85 - Παραδοχές Φορτίσεων Γεφυρών

DIN 1055 – Φορτίσεις Εδαφών και Φορτία Εδαφικών Ωθήσεων

DIN 18218 – Ωθηση νωπού σκυροδέματος σε κατακόρυφα καλούπια

Τα ακόλουθα φορτία λαμβάνονται υπόψη κατά το στατικό υπολογισμό και σχεδιασμό της σήραγγας καθώς επίσης πολλοί είναι και οι παράγοντες που τα επηρεάζουν, όπως το είδος του εδάφους, ο τρόπος κατασκευής, η σκληρότητα της επένδυσης, η μορφή της κατασκευής και άλλοι.

Οι φορτίσεις που δρουν στα τοιχώματα του τούνελ καθορίζονται σε συσχετισμό προς το βάθος του τούνελ, τις γεωλογικές, υδρολογικές και σεισμικές συνθήκες, τις διαστάσεις του κενού χώρου και από τον επιλεγμένο τρόπο κατασκευής του τούνελ. Η δε επένδυση του τούνελ υπολογίζεται για τον πιο δυσμενή συνδυασμό όλων των φορτίσεων και δυνάμεων, όπου και απαιτείται η εξέταση όλων των παρακάτω φορτίων.

Κύρια φορτία (μόνιμα και εξωτερικές δυνάμεις):

- Το βάρος του μπετόν.
- Ίδιο βάρος του τεχνικού έργου.
- Το ίδιο το βάρος της επένδυσης.
- Η κάθετη και η οριζόντια πίεση του εδάφους.
- Το βάρος από διάφορες κατασκευές και εξοπλισμούς.
- Η εξωτερική υδροστατική πίεση του νερού, εάν υπάρχει.
- Οι επιδράσεις των μετατοπίσεων, εφόσον μειώνουν την ασφάλεια.
- Ενδεχόμενα φορτία από την συγκοινωνία μέσα και πάνω από το τούνελ.
- Η πίεση από το βάρος των οικοδομημάτων που βρίσκονται πάνω από το

τούνελ, εάν υφίσταται κάτι τέτοιο.

Πρόσθετοι συνδυασμοί φορτίων που ενδεχομένως να συνοδεύουν τα κύρια φορτία

- ◆ Κινητά φορτία
- ◆ Ενασκούμενες επιδράσεις από τα μηχανήματα κατασκευής εντός της σήραγγας.
- ◆ Επιδράσεις από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.
- ◆ Εγχύσεις κατά τις εργασίες μορφοποίησης των επενδύσεων.
- ◆ Πίεση από την χρησιμοποίηση πεπιεσμένου αέρα.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΕΛΒΕΤΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΣΗΡΑΓΓΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΒΕΤΙΚΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟ (NEAT)

Το τέλος της δεκαετίας του 90 ο ελβετικός σιδηρόδρομος πρόβαλε τη δυνατότητα πραγματοποίησης των μεγάλου μήκους σηράγγων όπως τη σήραγγα Lotschberg και τη σήραγγα του ST Gotthard. Το ST Gotthard είναι μια σήραγγα με ένα μήκος 56 χλμ. Ένας πολύ προσεκτικός προγραμματισμός άρχισε δεδομένου ότι τέτοιες εργασίες σημαίνουν μια τεράστια πίεση σε όλα τα χρησιμοποιημένα υλικά. Θερμοκρασίες άνω των 45° C και πίεση 2 MPa αναμένονται. Επομένως το NEAT ζητούσε από διάφορους παραγωγούς στεγανοποιητικών υλικών να προτείνει τα συστήματα που θα μπορούσαν να αντισταθούν τέτοιες επιδράσεις.

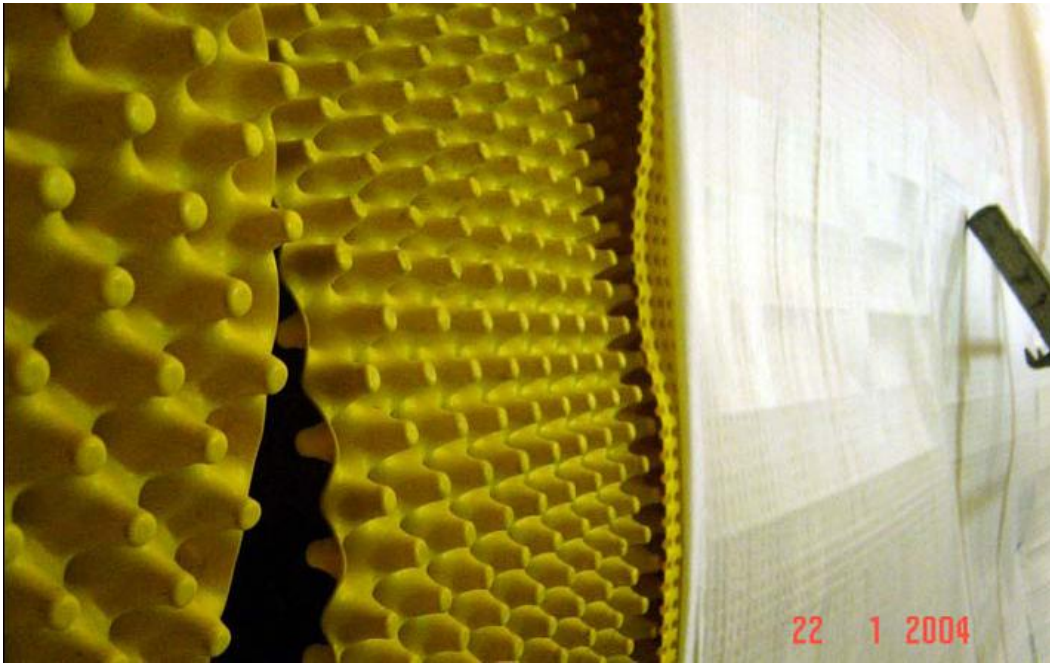
Μαζί με το τεχνικό γραφείο του NEAT οι διάφοροι παραγωγοί ανέπτυξαν τα συστήματα τα οποία εξετάστηκαν για μία περίοδο περισσότερο των 24 μηνών. Ακόμη και μια δοκιμαστική σήραγγα ενισχύθηκε προκειμένου να εξεταστούν τα διαφορετικά συστήματα στην περιοχή. Εκτός του ότι το σύστημα θα έπρεπε να είναι απολύτως υδατοστεγές, έπρεπε να εφοδιαστεί και με ένα στρώμα στραγγίσματος που είναι σε θέση να εκκενώσει 10 lt/min.

i. Το προτεινόμενο σύστημα

Ø Στρώμα WAVIN αποξηράνσεων 6 χιλ. ασύμμετρο (σε κάποιο πρόσθετο δεύτερο στρώμα περιοχών 40 χιλ.)

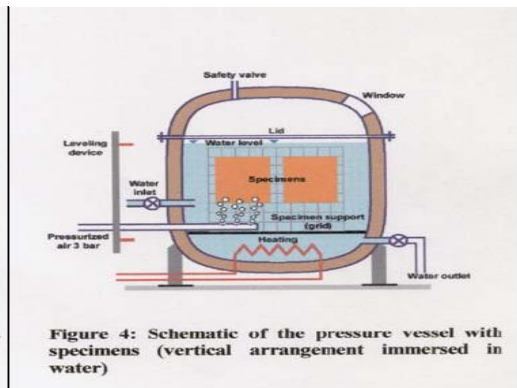
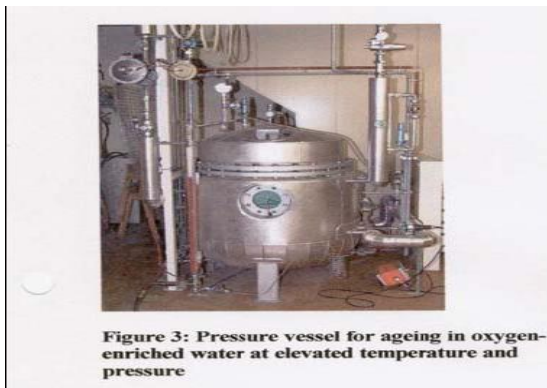
Ø γεωύφασμα 500 g/m²

Ø Διαφανές PVC γεωμεμβράνη ALKKORPLAN 35036 σε 2.0 χιλ.

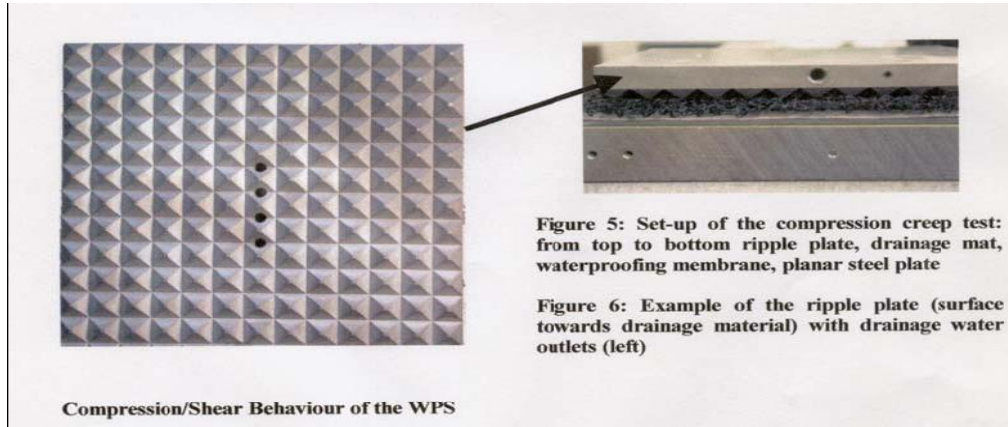


ii. Διαδικασία ελέγχων

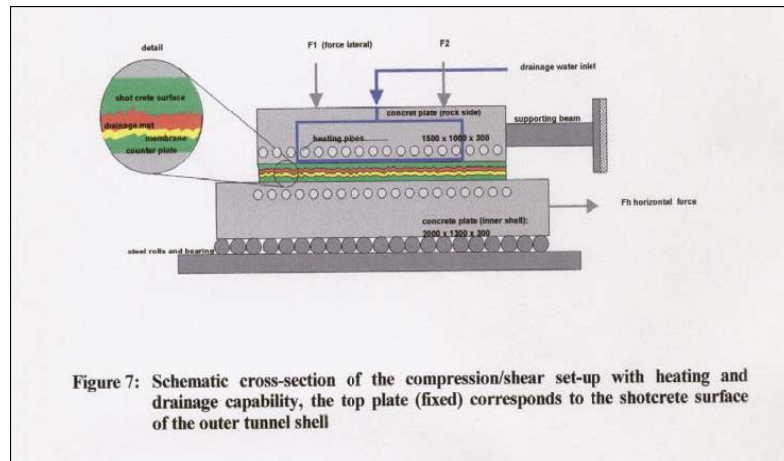
Όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά ήταν δοκιμασμένα σύμφωνα με το SIA 280, και επιπλέον στο σύστημα πραγματοποιήθηκαν μακροπρόθεσμες δοκιμές με διαφορετικές χημικές επιρροές καθώς επίσης και με διαφορετικές θερμοκρασίες, για να ανακαλυφθεί η συμπεριφορά των υλικών με το χρόνο. Νερό στις θερμοκρασίες 23°, 45° και 70° C, αλκαλικό και όξινο νερό στους 50° C , νερό εμπλουτισμένο με οξυγόνο στους 70° C και πίεση 3 bar κυκλοφόρησε στα στεγανοποιητικά συστήματα. Έπειτα τα δείγματα θάφτηκαν σε ένα περιβάλλον με αερόβιους και αναερόβιους μικροοργανισμούς.



Μια ειδική συσκευή δοκιμής αναπτύχθηκε από το όργανο δοκιμής για να εκτελέσει μια δοκιμή κάτω από φορτίο ερπυσμού συμπίεσης. Το στεγανοποιητικό σύστημα τοποθετήθηκε σε 2 μεταλλικά πιάτα, το ένα με δομή, και το άλλο χωρίς δομή.



Διαφορετικές σειρές δοκιμών εκτελέστηκαν με διαφορετικές πιέσεις και μεταβαλλόμενη ροή του νερού. Δοκιμάστηκαν πάνω από 2 MPa με μια οριζόντια μετατόπιση του ανώτερου πιάτου. Εξετάστηκαν η δυνατότητα αποξηράνσεων και η συμπεριφορά του υλικού.



iii. Δοκιμαστική εγκατάσταση σε 1:1

Μια δοκιμαστική σήραγγα παραδόθηκε για να εξεταστούν τα προτεινόμενα συστήματα σύμφωνα με τις συνθήκες της περιοχής. Έπρεπε να καθοριστούν τα συστήματα εγκατάστασης και η τραχύτητα του εκτοξευμένου σκυροδέματος προτού να μπορέσει η εγκατάσταση να εκτελεσθεί. Ο πελάτης ζητούσε μια πτυχή λιγότερης εγκατάστασης του συστήματος. Οι υδροσωλήνες τοποθετήθηκαν πίσω από το στεγανοποιητικό σύστημα για να δημιουργήσει μια σταθερή ροή του νερού και της πίεση.

Ο εσωτερικός φλοιός σκυροδέματος καταστράφηκε μετά από μια εβδομάδα έτσι ώστε να μπορέσει να ερευνηθεί η απόδοση του στεγανοποιητικού συστήματος.

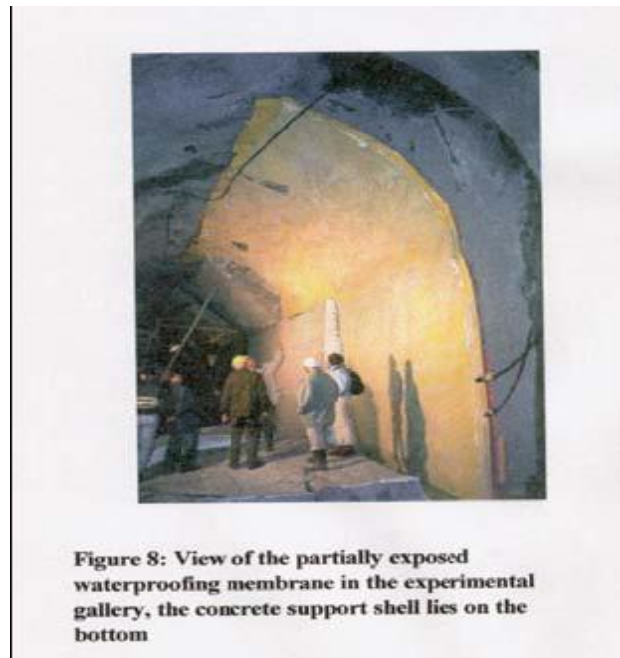


Figure 8: View of the partially exposed waterproofing membrane in the experimental gallery, the concrete support shell lies on the bottom

Εγκατεστημένο σύστημα Alkor

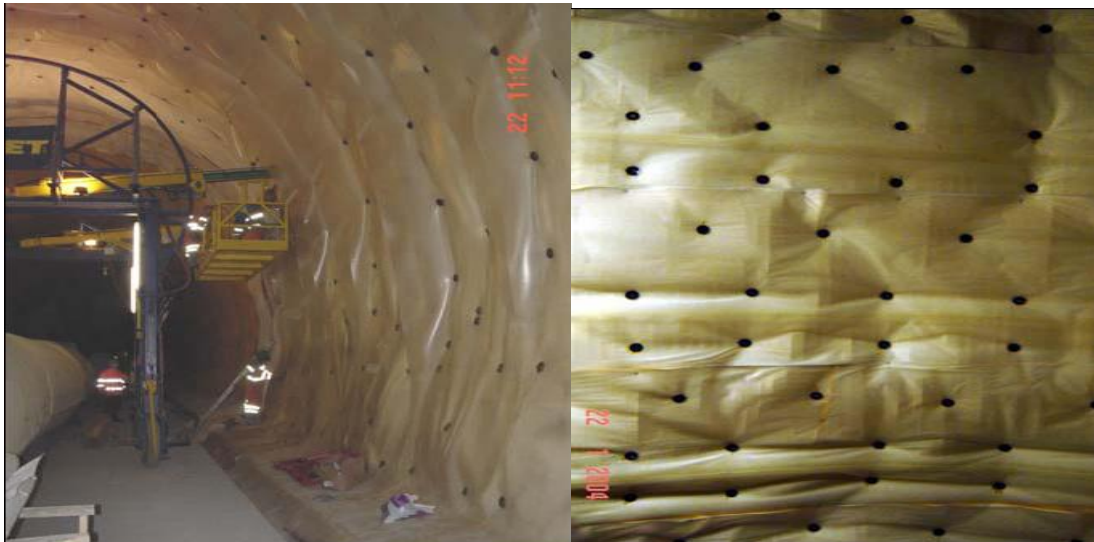
Αυτή η δοκιμή πρέπει καταρχήν να παρουσιάσει σωστή εγκατάσταση του στεγανοποιητικού συστήματος. Η εγκατάσταση χωρίς πτυχές είναι σχεδόν αδύνατη αλλά η αύξηση των στοιχείων σταθεροποίησης μειώνει την ανάπτυξη των πτυχών.

iv. **Εκτέλεση του συστήματος στη σήραγγα Ferden**

Τρία συστήματα συμφωνήθηκαν από τον πελάτη, δύο συστήματα εφαρμόστηκαν στη σήραγγα Ferden. Η έννοια Alkor πείθει ειδικά στους τομείς της υψηλής πίεσης νερού, το σύστημα είναι σε θέση να εκκενώσει τις σημαντικές ποσότητες ύδατος και να είναι εύκολα προσαρμόσιμο σε περίπτωση που η πίεση ύδατος αυξάνεται πέρα από το προβλεπόμενο ποσό.

Αυτό συνέβη στη σήραγγα Ferden όπου οι απρόβλεπτες τεράστιες ποσότητες ύδατος εμφανίστηκαν. Ένα πρόσθετο στρώμα αποξηράνσεων έπρεπε να εφαρμοστεί (WAVIN 40 χιλ.).

Επίσης στο βόρειο μέρος της σήραγγας Lotschberg αυτό το σύστημα εφαρμόστηκε εν μέρει δεδομένου ότι το σύστημα του ανταγωνιστή δεν ήταν ικανό να ικανοποιήσει τις τοπικές συνθήκες.



Συμπέρασμα:

Το σύστημα Alkor είναι τέλειο όταν υπάρχουν ακραίες συνθήκες. Τα υλικά αντιστέκονται σε κάθε είδος χημικής επιρροής, το σύστημα αντιστέκεται στην υψηλή πίεση λόγω του νερού ή άλλου είδους και η εγκατάσταση είναι αρκετά εύκολη. Είναι ένα σύστημα που δίνει ασφάλεια στην κατασκευή ακόμη και για άλλα πιο δύσκολα προγράμματα στο μέλλον.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά

Η στεγάνωση σιδηροδρομικών σηράγγων, αλλά και γενικότερα η στεγάνωση υπόγειας κατασκευής, είναι ένα αντικείμενο που εξαρτάται κυρίως από την μορφολογία του εδάφους και τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτό. Έτσι κάθε έργο τέτοιου είδους ακολουθεί μια συγκεκριμένη διαδικασία μελέτης, σχεδιασμού, και κατασκευής που όμως για κάθε τμήμα της είναι ξεχωριστό.

Η δυσκολία που αντιμετωπίζει κανείς σε τέτοιου είδους στεγανώσεις είναι κυρίως τα υλικά, και οι συναντόμενες επί τόπου συνθήκες. Για μία σήραγγα, για παράδειγμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν ενιαίο τρόπο στεγάνωσης, όμως το πιο πιθανό είναι να χρειαστεί να τοποθετηθούν περισσότερα από ένα υλικά κατά μήκος αυτής, προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιθυμητή και ασφαλή στεγάνωση.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που κάνει την κατασκευή αυτή ιδιαίτερη και δύσκολη, είναι η μεγάλη προσοχή που απαιτούν τα υλικά στεγάνωσης κατά την μεταφορά, την παραλαβή και την τοποθέτηση για την μετέπειτα ανθεκτικότητά τους. Γι' αυτό είναι προτιμητέο ο προμηθευτής, τα υλικά και το συνεργείο Εφαρμογής να έχει εμπειρία σε εκτέλεση παρόμοιων εργασιών.

Παρακάτω αναφέρονται οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα από τα έργα που έχουν αναφερθεί παραπάνω.

ΜΕΤΡΟ

Η κύρια δυσκολία της κατασκευής του μετρό είναι όπως έχει αναφερθεί και στην ανάλυση κατασκευής, το περιβάλλον στο οποίο πρέπει να κατασκευαστεί, δηλαδή κάτω από πυκνοκατοικημένες περιοχές. Το γεγονός αυτό, στο συγκεκριμένο έργο δημιούργησε αρκετές δυσκολίες, που όπως

τελικά αποδείχτηκε, όλες ξεπεράστηκαν και αυτή τη στιγμή έχουμε ένα υπερσύγχρονο και σχεδόν τέλειο έργο.

Οι δυσκολίες που αφορούσαν την στεγάνωση, προσδιορίστηκαν κυρίως στις μεγάλες υδροστατικές πιέσεις που δημιουργήθηκαν λόγω του υδροφόρου ορίζοντα και των σαθρών εδαφών, γεγονός που οδήγησε σε εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες λόγω της δημιουργίας στάσιμων νερών. Για τον λόγο αυτό απαιτήθηκαν εξιδανικευμένα υλικά στεγάνωσης, πολύ υψηλής ποιότητας και αντοχής, καθώς επίσης και πολλαπλά συστήματα αποστραγγιστικών σωληνώσεων.

Τελικά, παρά τις όποιες δυσκολίες, το έργο αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ως πρότυπο για τα ελληνικά δεδομένα, μια τέλεια κατασκευή στεγάνωσης και ένα μεγάλο επίτευγμα.

ΚΑΚΙΑ ΣΚΑΛΑ

Σε αυτό το έργο προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Υπήρξε απαίτηση πλήρους στεγάνωσης της διατομής της σήραγγας, διότι εξυπηρέτησε καλύτερα τις προβλεπόμενες ανάγκες και παρείχε μέγιστη ασφάλεια των κατασκευών, κυρίως των Η/Μ και των σκυροδετήσεων από την παρουσία του νερού.

Ειδικές κατασκευές

Û Τύπος γεωφύσματος: από υψηλές μηχανικές ιδιότητες προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι εφελκύστηκες και διατμητικές δυνάμεις περιμετρικά της διατομής λόγω της ύπαρξης του υδροφόρου ορίζοντα. Επίσης ήταν ειδικά ανθεκτικό στην διαβρωτική - αποσαθρωτική δράση βιολογικών και χημικών παραγόντων.

Û Συγκόλληση με την μέθοδο θερμού πυρήνα (Hot Air Double Welding) με ειδικό μηχάνημα διπλής ραφής και δημιουργία πυρήνα για τον έλεγχο της συγκόλλησης.

Û Υπήρξε **απαίτηση πρόσθετης εξασφάλισης** της στεγανωτικής μεμβράνης στην θέση των κατασκευαστικών αρμών που είχε σαν συνέπεια την επικόλληση δεύτερης προστατευτικής λωρίδας μεμβράνης κατά μήκος του αρμού και σε πλάτος τουλάχιστον 0,50 μ.

Û Περιοχές νερού υπό πίεση: χαλύβδινοι και όχι PVC αγωγοί αποστράγγισης, λόγω υψηλής πίεσης.

Τελικά, αν και το έργο είναι αρκετά πρόσφατο, τα μέχρι τώρα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι είναι μια πάρα πολύ προσεγμένη κατασκευή, χωρίς κατασκευαστικά προβλήματα και ατέλειες και λειτουργεί άριστα σύμφωνα με τις σχεδιαστικές μελέτες.

ΕΛΒΕΤΙΚΗ ΣΗΡΑΓΓΑ

Το σύστημα στεγάνωσης της Ελβετικής σήραγγας θεωρείται τέλειο ακόμα και όταν υπάρχουν ακραίες συνθήκες. Τα υλικά αντιστέκονται σε κάθε είδος χημικής επιρροής, το σύστημα αντιστέκεται στην υψηλή πίεση λόγω του νερού ή άλλου είδους και η εγκατάσταση είναι αρκετά εύκολη. Είναι ένα σύστημα που δίνει ασφάλεια στην κατασκευή ακόμη και για άλλα πιο δύσκολα προγράμματα στο μέλλον. Οι μέχρι τώρα έλεγχοι έχουν αποδείξει ότι είναι μια κατασκευή στεγανοποίησης η οποία έχει ανταποκριθεί 100% στα επιθυμητά αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Û Πτυχιακή εργασία «Κατασκευή σηράγγων Κακιάς σκάλας»Α.Τ.Ε.Ι Πάτρας 2006

Û Πτυχιακή εργασία «Υλικά στεγάνωσης»Α.Τ.Ε.Ι Πάτρας 2006

Û Τεχνικά έργα υποδομής “Χρήστος Μαραγκός”

Û Οδοποιία “Αναστάσιος Μουρατίδης”

Û Υπουργείο ΥΠΕΧΩΔΕ – προσχέδιο 001 Σήραγγες

Û Υπουργείο ΥΠΕΧΩΔΕ – προσχέδιο 002 Στεγάνωση Σηράγγων

Û ΑΚΤΩΡ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ

- Μελέτη έργου στεγάνωσης σιδηροδρομικών σηράγγων Κακιάς Σκάλας.

- Κατασκευή και υλοποίηση έργου σήραγγας Κακιάς Σκάλας.

- Προτεινόμενα υλικά στεγάνωσης και εταιρίες αυτών

- Έλεγχοι υλικών και έντυπα

- Φωτογραφίες σηράγγων

Û ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

- Μελέτη και κατασκευή έργου

- Σύστημα NATM

- Σύστημα 2 διελεύσεων

Û **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

- www.alto.gr/products

- www.domissima.gr

- www.domomarket.gr/active

- www.emp.gr

- www.ggde.gr

- www.sfrang.gr.com/historia/selida_626.htm

Û ΥΛΙΚΑ

- DOMISIMA

Συστήματα Στεγάνωσης Σιδηροδρομικών Σηράγγων

- SIKA
- SARNAFIL
- ΜΟΝΩΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
- ΜΟΝΩΤΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ

Ευχαριστήριο

Θα θέλαμε με πολύ σεβασμό και εκτίμηση να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τους μηχανικούς στα εργοτάξια της Κακίας Σκάλας, του Αιγίου, και της Εγνατίας για την βοήθεια και τις πολύτιμες πληροφορίες που μας παρείχαν για την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας. Το θέμα αυτής της εργασίας αποτελεί ένα αρκετά δύσκολο μέρος των υπόγειων κατασκευών και η βιβλιογραφία που μέχρι στιγμής υπάρχει είναι ελάχιστη. Για το λόγω αυτό θα θέλαμε ιδιαίτερα να ευχαριστήσουμε τον κύριο Χρήστου Ζαχαρία για την συνεργασία, την πολύτιμη βοήθεια που μας παρείχε και τον αρκετό χρόνο που διέθεσε για την υλοποίησή της. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε και την κυρία Βγενοπούλου Ειρήνη για την βοήθειά της που ήταν εξίσου σημαντική για μας.

Με εκτίμηση

Γεωργάκη βασιλική

Κούτση αγγελική

Μποτζολή ξανθή