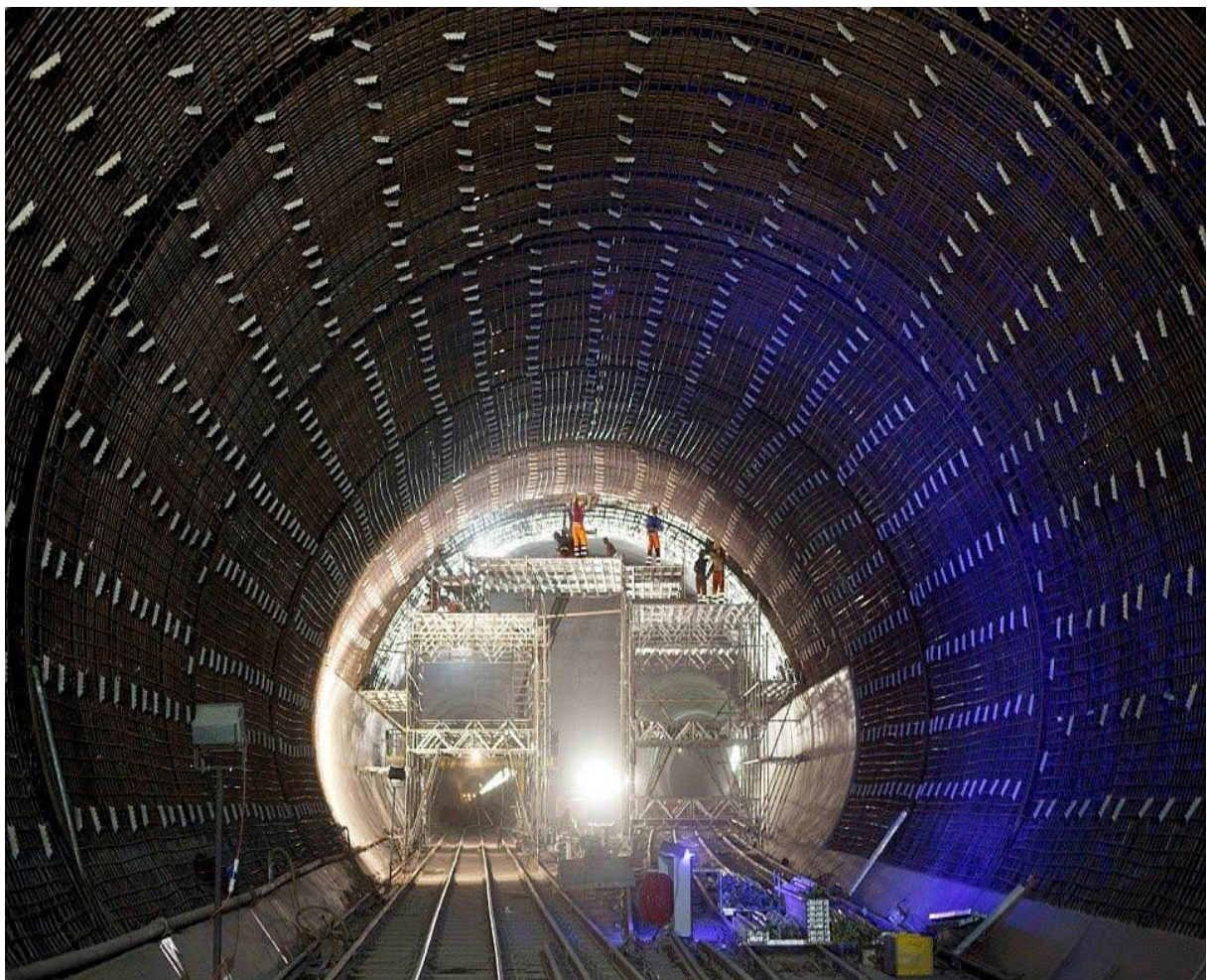


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΑΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΛΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
**Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΟΥ
GOTTHARD**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΑΪΖΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ
ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2011

Ευχαριστίες

Για την ανάθεση της παρούσας πτυχιακής εργασίας αλλά και τη βοήθεια για την ολοκλήρωση της θα ήθελα να ευχαριστήσω τη κ. Ειρήνη Βγενοπούλου για την εμπιστοσύνη που έδειξε προς το πρόσωπό μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την βοήθεια που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος ευχαριστώ όλους εκείνους τους ανθρώπους, που ήταν δίπλα μου στις καλές και κακές στιγμές, χαρίζοντας μου αξέχαστες εμπειρίες....

Περιεχόμενα

Πρόλογος	6
Τοποθεσία του έργου	8
Περίληψη	9
Εισαγωγή	11
1. Ιστορική αναδρομή.....	12
1.1 St Gotthard tunnel	14
1.2 Simplon Tunnel	15
1.3 Loetschberg Tunnel	16
1.4 Mont Cenis Tunnel	16
1.5 Mont-d’or Tunnel	18
1.6 Νεότερη Εξέλιξη	19
2. Γενικά στοιχεία του έργου	20
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία	21
2.2 Ο πενήνταετής προγραμματισμός	23
2.3 Χρηματοδότηση και εκσυγχρονισμός	24
2.4 Επιλογή μεθόδου εκσκαφής	26
2.5 Προκαταρκτικές εργασίες αναγνώρισης του εδάφους	28
2.5.1 Αεροφωτογραφίες	28
2.5.2 Δορυφορικές εικόνες	28
2.5.3 Συστήματα χαρτογράφησης εδάφους	28
2.5.4 Δεδομένα για τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις	29
2.5.5 Διερευνητικές γεωτρήσεις και επί τόπου δοκιμές	29
2.6 Ακρίβεια στις μετρήσεις	30
2.7 Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή κατεύθυνσης	33

2.8 Προγραμματισμός των εγκαταστάσεων	35
2.8.1 Υδροδότηση χώρων	35
2.8.2 Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος	36
2.8.3 Διαρρύθμιση Εγκαταστάσεων	38
3. Εξειδικευμένες εργασίες κατά τη διάρκεια της κατασκευής ..	39
3.1 Διάνοιξη δίπλα από το φράγμα σκυροδέματος με συμβατικές μεθόδους	40
3.2 Διάνοιξη 12km στο Bodio με TBM	41
3.3 Διάνοιξη 11km με TBM στο Amsteg	42
3.4 Διάνοιξη με TBM στη ζώνη του Faido	44
4. Οι μηχανές ολομέτωπης κοπής που χρησιμοποιήθηκαν στη κατασκευή του έργου	46
4.1 Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής	47
4.2 Περιγραφή της μεθόδου	47
4.3 Μηχανήματα ολομέτωπης κοπής πολφού ύδατος(slurry shield) ..	49
4.4 Μηχανήματα με ασπίδες ισορροπίας πίεσης γαιών	50
4.5 Gripper TBM	51
4.6 Partial face excavation shields	52
5. Η μέθοδος NATM	54
5.1 Γενικά στοιχεία	55
5.2 Μέτρα βελτίωσης ευστάθειας του μετώπου	55
5.3 Ο εξοπλισμός της μεθόδου	58
5.4 Πλεονεκτήματα χρήσης του κατάλληλου εξοπλισμού	59
5.5 Πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM	60
5.5.1 Η συμβατική σηραγγοποιία επιτρέπει	60
5.5.2 Η συμβατική σηραγγοποιία είναι κατάλληλη	61
6. Ασφάλεια κατά τη κατασκευή του έργου	62

6.1 Γενικά	62
6.2 Εξαερισμός	63
6.3 Ψύξη των χώρων εργασίας	64
6.4 Φυσικό αέριο	67
6.5 Ηχομόνωση	67
6.6 Καθαριότητα χώρων εργασίας	69
6.7 Μέτρα για την ασφάλεια των εργαζομένων και των επιβατών ..	70
7. Περιβαλλοντική προστασία	72
7.1 Γενικά στοιχεία	73
7.2 Καθορισμός μέτρων προστασίας	73
7.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση	74
7.4 Προστασία υδροφόρου ορίζοντα	74
7.5 Επηρεασμός του φυσικού ανάγλυφου της περιοχής	75
7.6 Θέσπιση νόμων για τη προστασία του περιβάλλοντος	76
8. Παράρτημα εικόνων	77
9. Βιβλιογραφία	85

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία, γίνεται εκτενείς αναφορά σε ένα, από τα μεγαλύτερα τεχνικά έργα που έχουν ποτέ κατασκευαστεί. Πρόκειται για τη σήραγγα βάσης του Gotthard, που θα αποτελέσει μέσα στα επόμενα χρόνια όταν και θα ολοκληρωθούν τα έργα, θα αποτελέσει τη μεγαλύτερη σιδηροδρομική σήραγγα του κόσμου.

Στο *πρώτο κεφάλαιο*, γίνεται μια ιστορική αναδρομή, με αναφορά στις σημαντικότερες σιδηροδρομικές σήραγγες που κατασκευάστηκαν στην οροσειρά των Άλπεων, τη περίοδο του 19^{ου} αιώνα έως και τις αρχές του 20^{ου}.

Στο *δεύτερο κεφάλαιο*, αναλύονται τα γενικά στοιχεία του έργου, όπως ο προγραμματισμός, οικονομικά στοιχεία, ο προγραμματισμός των εγκαταστάσεων, οι εργασίες αναγνώρισης του εδάφους και τα προβλήματα που επηρέασαν την επιλογή της καλύτερης δυνατής κατεύθυνσης.

Στο *τρίτο κεφάλαιο*, γίνεται αναφορά σε εξειδικευμένες εργασίες που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του έργου, και που οδήγησαν στην απόκτηση μεγάλων γνώσεων και εμπειρίας για τις μελλοντικές παρόμοιες κατασκευές.

Στο *τέταρτο κεφάλαιο*, αναλύονται τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής που χρησιμοποιήθηκαν στη διάρκεια της κατασκευής

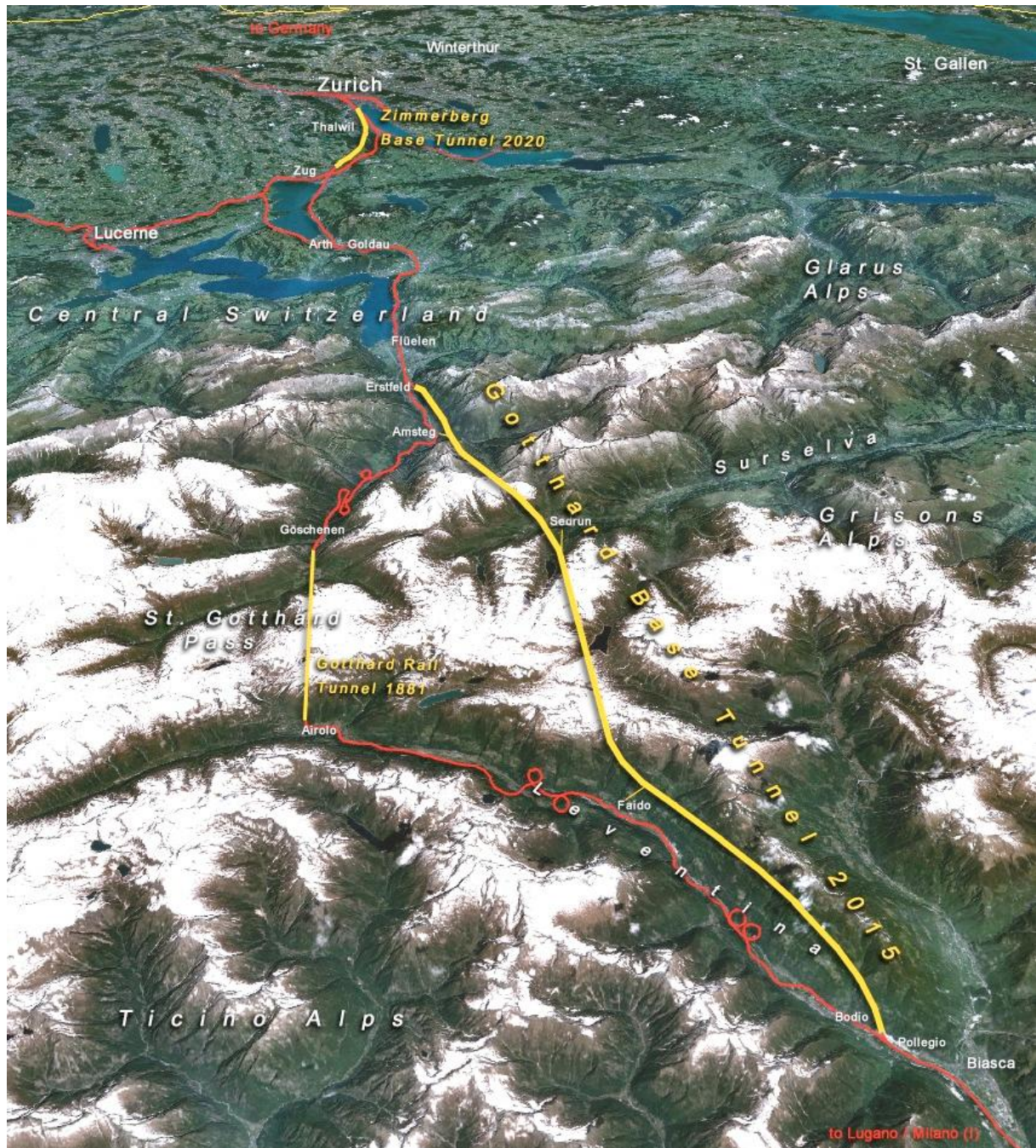
Στο *πέμπτο κεφάλαιο*, γίνεται μια εκτενής αναφορά στη μέθοδο NATM, στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα της, αφού οι αρχές της χρησιμοποιήθηκαν σε αρκετά σημεία, αλλά και σε περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν δυσκολίες στη κατασκευή.

Στο *έκτο κεφάλαιο*, παρουσιάζονται τα μέτρα προστασίας που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια των εργασιών για τη προστασία των εργαζομένων αλλά και τη μετέπειτα ασφάλεια των επιβατών και του προσωπικού.

Στο *έβδομο κεφάλαιο*, γίνεται μια συνοπτική αναφορά στα μέτρα περιβαλλοντικής προστασίας που ελήφθησαν και στην αναγκαιότητα τήρησης τους.

Τέλος, παρατίθεται ένα παράρτημα εικόνων, που αφορούν τις εργασίες στη σήραγγα.

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή της σήραγγας βάσης του Gotthard στην Ελβετία, συνολικού μήκους 57χλμ, θα αποτελεί τη μεγαλύτερη σιδηροδρομική σήραγγα στο κόσμο. Το πλήρες σύστημα της σήραγγας αποτελείται από 153,3χλμ σιδηροδρομικών πρόσβασης, φρεατίων, σιδηροδρομικών σιδηροδρομικών σιδηροδρομικών, διαβάσεων και βοηθητικών κατασκευών. Η διάνοιξη της ξεκίνησε το 1996, οι εκσκαφές στο κυρίως τμήμα το 2002. Οι εκσκαφές στο ανατολικό τμήμα ολοκληρώθηκαν στις 15 Οκτωβρίου του 2010, σε ζωντανή σύνδεση με την Ελβετική τηλεόραση και στο δυτικό τομέα στις 23 Μαρτίου του 2011. Η Alp Transit Gotthard E.Π.Ε θα παραδώσει το έργο στα τέλη του Μαΐου του 2016. Τα αποτελέσματα του έργου θα γίνουν άμεσα ορατά καθώς το ταξίδι των 3,5 ωρών από το Μιλάνο στη Ζυρίχη θα μειωθεί κατά 2,5 ώρες, και από τη Ζυρίχη στο Λουγκάνο θα διαρκεί 1 ώρα και 40 λεπτά. Χρησιμοποιήθηκαν συμβατικές μέθοδοι διάνοιξης αλλά και μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM). Μεγάλη έμφαση δόθηκε, στην ασφάλεια των εργαζομένων αλλά και μετέπειτα των επιβατών, καθώς χρησιμοποιήθηκαν τα τελειότερα τεχνολογικά μέσα για τον, εξαερισμό και τη ψύξη των χώρων εργασίας, την ηχομόνωση κ.α. Αποκτήθηκε επίσης μεγάλη εμπειρία, γύρω από τις μεθόδους εκσκαφής (TBM και NATM), λόγω των ιδιαίτερων γεωλογικών συνθηκών που παρουσιάστηκαν.

ABSTRACT

At the time when it is completed, the Gotthard Base Tunnel in Switzerland, with a total length of 57km, will be the longest railway tunnel in the world. The completed tunnel system consists of 153,3km of access tunnels, shafts, railway tunnels, connecting galleries and auxiliary structures. Excavation started in 1996 and at the main system in 2002. Boring operations in the eastern

tunnel were completed on 15 October 2010 in a cut-through ceremony broadcast live on Swiss TV, and in the western tunnel on 23 March 2011. AlpTransit Gotthard Ltd. will hand over the tunnel to Swiss Federal Railways (SBB) in operating condition at the end of May 2016, cutting the 3.5-hour travel time from Zurich to Milan by an hour and from Zürich to Lugano to 1 hour 40 minutes. Conventional tunneling as well as excavation by TBM have been used. The experience gained is sufficient to allow conclusions to be drawn regarding each method.

Εισαγωγή

Οι σήραγγες ως έργα είναι ιδιαίτερα απαιτητικά τόσο στη φάση του σχεδιασμού τους και της κατασκευής τους όσο και της λειτουργίας αλλά και της συντήρισης τους. Επιπλέον έχουν το μεγαλύτερο κόστος ανα μήκος σε σχέση με άλλα συγκοινωνιακά μέσα. Ωστόσο δίνουν λύση όταν ο χώρος είναι περιορισμένος ή οι γεωμορφολογικές συνθήκες είναι ιδιαίτερα δύσκολες.

Γενικά οι σήραγγες είναι υπόγεια έργα, και έχουν τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερο μήκος από το πλάτος τους. Επιπλέον πρέπει να είναι πλήρως κλεισμένες από όλες τις πλευρές, εκτός από τα ανοίγματα σε κάθε πλευρά. Αυτές μπορεί να αποτελούν δίοδο για πεζούς, αυτοκίνητα, μέσα σταθερης τροχίας, και ποδηλάτες. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά νερού και για διάφορες υδροηλεκτρικές εργασίες.

Μολονότι η κατασκευή σηράγγων έχει να παρουσιάσει μια ιστορική εξέλιξη ενάμιση αιώνα, εξακολουθεί ακόμα και σήμερα να αποτελεί μια εμπειρική κατά κύριο λόγο επιστήμη. Από τη διάνοιξη πάντως των πρώτων σηράγγων, μέχρι και σήμερα έχει παρουσιαστεί μια αλματώδης εξέλιξη μέσω της οποίας αποκομίσθηκαν πολύτιμες εμπειρίες.

Τα τελευταία χρόνια της εξέλιξης, χαρακτηρίζονται από την εφαρμογή εντελώς νέων μεθόδων, υλικών και μέτρων υποστήριξης, αλλά και από την εισβολή επαναστατικών ιδεών στη στατική των σηράγγων. Σήμερα οι κατασκευές όπως η διάνοιξη της σήραγγας του Gotthard αποδεικνύουν, ότι καμία κατασκευή και σχεδόν σε κανένα ορεινό όγκο δεν είναι αδύνατη ακόμα και για πολύ μεγάλα βάθη στο εσωτερικό της Γης.

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η εξέλιξη των σιδηροδρομικών σιδηρόδρομων κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, ήταν αποτέλεσμα της πολιτικής ενοποίησης των ευρωπαϊκών χωρών αλλά και της μετέπειτα ραγδαίας ανάπτυξης τους. Η κακή πρόσφυση των χαλύβδινων τροχών από της σιδηροτροχιές έδινε τη δυνατότητα έλξης μεγάλων μαζών με σχετικά χαμηλή ισχύ. Αυτό το πλεονέκτημα ενισχύεται σημαντικά από το γεγονός της αλματώδους εξέλιξης της βραχομηχανικής.

Όμως η κακή ποιότητα των τροχών αποτελούσε εμπόδιο στη διέλευση από ορεινές περιοχές. Επομένως τα πρώτα σιδηροδρομικά δίκτυα διέρχονταν μέσα από πεδινές περιοχές και από πλαγιές με χαμηλό υψόμετρο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να σχεδιαστούν πολλές σιδηρόδρομοι οι οποίες όμως έπρεπε να έχουν όσο το δυνατόν μικρότερο μήκος. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο πρώτος σιδηρόδρομος των Άλπεων ήταν αποτέλεσμα ενός συμβιβασμού. Μεγάλο υψόμετρο στις σιδηρόδρομους ώστε να μειωθεί το μήκος τους και διάβαση από απότομες πλαγιές. Σήμερα όμως με την αύξηση του βάρους των αμαξοστοιχιών και τους νέους εμπορικούς δρόμους που έχουν ανοίξει αυτά τα προβλήματα έχουν ξεπεραστεί.

Η μεγάλη εξέλιξη των σιδηροδρομικών σιδηρόδρομων σε όλο τον κόσμο στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, προκάλεσε την ίδρυση πολλών και μεγάλων πόλεων διαμέσου της διαδρομής, και αποτέλεσε το κύριο παράγοντα της τεχνικής και προόδου των κατασκευαστικών μεθόδων. Στη διάρκεια τους παρουσιάστηκαν κυρίως δύο μεγάλες δυσκολίες.

- 1) Η κατασκευή σιδηρόδρομων σε μεγάλο υψόμετρο.
- 2) Η διέλευση των σιδηρόδρομων κάτω από μεγάλες πόλεις.

Στη πρώτη περίπτωση προέκυψαν σημαντικές δυσκολίες από τα σκληρότητα των πετρωμάτων, κατά μήκος της διάνοιξης, της δριμύτητας του

κλίματος που προκύπτει από το υψόμετρο του τόπου των έργων, από την εισροή υδάτων στο μέτωπο της εκσκαφής αλλά και από την απομάκρυνση από τα σημεία εφοδιασμού των πρώτων υλών.

Στη δεύτερη περίπτωση, οι δυσκολίες ήταν πολύ σημαντικότερες. Η διέλευση σηράγγων κάτω από το έδαφος του οδικού δικτύου, και πόλεων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία των πόλεων, έστω και αν αυτή συνεπάγεται αύξηση του κόστους των έργων. Με τις υπόγειες μεθόδους κατασκευής σηράγγων ελαχιστοποιείται η κάλυψη χώρων στην επιφάνεια, οι παρακάμψεις του οδικού δικτύου, και οι αρχαιολογικές ανασκαφές. Πρόκειται για εργασίες που γίνονται συνήθως κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, σε εδάφη ευκίνητα και ετερογενή.

Αρχικά αυξήθηκε η χρήση πεπιεσμένου αέρα στα υπόγεια, με την οποία επιτεύχθηκε η εκτέλεση έργων που με τις συνήθεις μεθόδους θα υπήρχαν ανυπέρβλητες δυσκολίες. Ο πεπιεσμένος αέρας αποτελεί όργανο μετάδοσης ενέργειας και πολύ μεγάλης ελαστικότητας. Χρησιμοποιήθηκε καταρχάς για την κίνηση διατρητικών βελόνων και αντικατέστησε τελείως άλλες μορφές ενέργειας. Έτσι οι παλιές μεγάλες, βαριές και ογκώδεις διατρητικές μηχανές αντικαταστάθηκαν από νέες εύχρηστες μηχανές πεπιεσμένου αέρα, οι οποίες τέθηκαν σε λειτουργία για πρώτη φορά κατά τη διάνοιξη των πρώτων σηράγγων των Άλπεων.

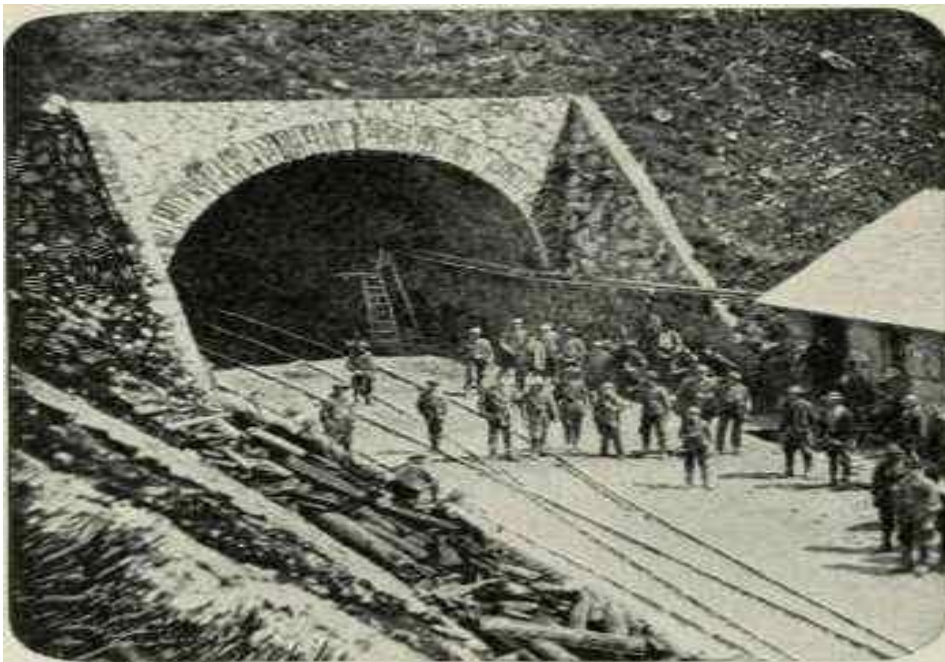
Σημαντικότερες διαβάσεις των Άλπεων (1860-1913)

- 1) Saint- Gotthard (1882-15km) Ελβετία
- 2) Simplon(1^η σήραγγα 1906-20km),(2^η σήραγγα 1922) Ελβετία- Ιταλία
- 3) Lotschberg(1913- 14,6km) Ελβετία
- 4) Mont Cenis(1857-1871km) Ελβετία

5) Mont' o dor (1870- 6096km) Γαλλία- Ελβετία

1.1 Gotthard rail tunnel

Η σήραγγα του Gotthard, συνολικού μήκους 15km, που συνδέει το Goschenen με το Airolo ήταν η πρώτη σήραγγα που κατασκευάστηκε στην οροσειρά του Gotthard. Είναι δομημένη στα πρότυπα μιας σύγχρονης διπλής σήραγγας και το μέγιστο ύψος της φτάνει τα 1151 μέτρα, ενώ χρειάζονται περίπου 7 με 8 λεπτά για να διασχιστεί με τρένο. Η σήραγγα δόθηκε στη κυκλοφορία το 1882 από την ιδιωτική εταιρία Gotthradbahn. Από το 1920 ξεκίνησαν να κινούνται τα πρώτα ηλεκτρικά τρένα ενώ μόλις ένα χρόνο αργότερα απαγορεύτηκε η διέλευση ατμοκίνητων τρένων, καθώς η αιθάλη δημιουργούσε πολλά προβλήματα, κυρίως ως προς την υγεία των επιβατών και των εργαζομένων.



Gotthard rail tunnel

1.2 Simplon Tunnel

Η σήραγγα του Simplon αποτελείται από δύο μονής τροχιάς σήραγγες που κατασκευάστηκαν με διαφορά περίπου 20 χρόνων, και αποτελούσε μέχρι το 1988 τη μεγαλύτερη σιδηροδρομική σήραγγα στο κόσμο. Οι εργασίες στη πρώτη σήραγγα ξεκίνησαν το 1898 και στη δεύτερη το 1912. Αμφότερες ολοκληρώθηκαν μετά από περίπου μια δεκαετία, ενώ το συνολικό μήκος της σήραγγας είναι 18924 μέτρα. Η κατασκευή της έγινε από τους μηχανικούς Karl Brandau και Alfred Brandt. Στη διάρκεια της κατασκευής της εργάζονταν ημερησίως περίπου 3000 άνθρωποι από τους οποίους περίπου 200 έχασαν τη ζωή τους σε εργατικά ατυχήματα. Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονταν, εντός της σήραγγας και οι οποίες έφταναν τους 42°C, αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά τεχνικές ψύξης και εξαερισμού που προσέφεραν στους εργαζομένους δροσερό αέρα και όσο το δυνατόν καλύτερες συνθήκες εργασίας.



Simplon Tunnel

1.3 Loetschberg Tunnel

Στη σήραγγα του Loetschberg (1906- 1913), της οποίας η διάνοιξη έγινε σε ύψος 1200m, δηλαδή περίπου 600m ψηλότερα από τη σήραγγα του Simplon προέκυψαν πολύ μεγαλύτερες δυσκολίες. Αρχικά μελετήθηκε να έχει μήκος 13753km, αλλά λόγω της μεγάλης κατακρήμνισης, περίπου 6000τ.μ σε απόσταση 2675 μέτρων από τη βορεινή είσοδο, στη κοιλάδα του Kander, αναγκάστηκαν να μετατοπιστούν από το αρχικό σχέδιο , με παρέκκλιση προς τα ανάντη τον άξονα , ώστε να αυξηθεί το μήκος κατά 80m, έπειτα ένα πολύ σοβαρό ατύχημα στο οποίο βρήκαν ακαριαίο θάνατο 25 εργαζόμενοι. Το κατεστραμμένο μέτωπο και η ύπαρξη τεκτονικού ορύγματος αντιμετωπίστηκε με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα, που βοήθησε σημαντικά, ενώ για πρώτη φορά εμφανίστηκε η διατρητική σφύρα η οποία, χρησιμοποιήθηκε πολύ και σε μεταγενέστερες κατασκευές. Επίσης η αύξηση της ταχύτητας των διατρήσεων, οφείλετε και στη τελειοποίηση των εκρηκτικών υλών. Η θέση της μαύρης πυρίτιδας αντικαταστάθηκε από άλλες εκρηκτικές ύλες όπως η σεδίτιδα (cheddite), και από διάφορες μορφές δυναμίτη.

1.4 Mont Cenis Tunnel

Λίγα χρόνια πριν, είχε προηγηθεί η κατασκευή της σήραγγας του Mont Cenis, συνολικού μήκους 13,7 χιλιομέτρων και χρειάστηκαν περίπου 14 χρόνια για την αποπεράτωση του έργου. Η κατασκευή της ξεκίνησε το 1957 και ολοκληρώθηκε στις 26 Δεκεμβρίου του 1970, ενώ δόθηκε στη κυκλοφορία στις 17 Σεπτεμβρίου του 1971. Αξιοσημείωτο είναι ότι ενώ το αρχικό χρονοδιάγραμμα ανέφερε ότι θα χρειαζόντουσαν περίπου 25 χρόνια για την ολοκλήρωση του έργου, εντούτοις χρειάστηκαν μόλις 14, καθώς εφαρμόστηκαν σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες. Αυτές τις εισήγαγε ο Ζερμαίν Σομογιέ (Jermain Somogyi) , και κάποιες από αυτές ήταν η χρήση αεροσυμπιεστών

υδραυλικού εμβόλου και οι δημιουργία πλήρως εξοπλισμένων εργοταξιακών οικισμών.



Goppenstein Station, southern entrance to Loetschberg Tunnel, Swiss Federal Railways.

Lotschberg Tunnel



Mont Cenis Tunnel

1.5 Mont-d'or Tunnel

Η σήραγγα αυτή είναι διπλής οδού και βρίσκεται μεταξύ Γαλλίας και Ελβετίας, και έχει συνολικό μήκος 6096m. Λόγω της εδαφικής κατωφέρειας η σήραγγα διανοίχτηκε από την Γαλλία προς την Ελβετία. Η σήραγγα ολοκληρώθηκε την 1^η Ιουλίου του 1870 και πλέον το ταξίδι από Παρίσι για Λωζάννη διαρκούσε 14ώρες και 15 λεπτά. Όμως στις αρχές του 20^{ου} αιώνα η ολοένα και αυξανόμενη κυκλοφορία, διαπιστώθηκε ότι ήταν αναγκαία η κατασκευή μιας νέας σύνδεσης, η οποία πέρασε κάτω από μια σήραγγα σε απόσταση 982 μέτρων. Οι εργασίες έγιναν ακόμα πιο δύσκολες, όταν εξαιτίας έντονων κατακρημνίσεων και τήξεως χιονιών παρατηρήθηκε εισροή υδάτων εντός της σήραγγας, το οποίο κατέστρεψε στην έξοδο του επίχωμα 17.000κ.μ. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα κατασκευαστικό λίθινο κωνικό φράγμα πάχους 7μέτρων, με τη βοήθεια του οποίου ολοκληρώθηκαν οι εργασίες. Η συγκεκριμένη σήραγγα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της τεχνολογικής προόδου εκείνη την εποχή.



Mont- d'or tunnel

1.6 Νεότερη εξέλιξη

Σήμερα οι ανάγκες, για τις σιδηροδρομικές μεταφορές των εμπορευμάτων απαιτούν τη κατασκευή σήραγγων μεγάλο μήκους και βάθους. Αυτό ισχύει για τις ήδη βιομηχανοποιημένες χώρες αλλά και για αυτές που προσπαθούν να αναπτυχθούν προς αυτή τη κατεύθυνση. Όμως από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα η σιδηροδρομική ανάπτυξη αντικαταστάθηκε με τη κατασκευή μεγάλων εθνικών οδικών δικτύων. Κατασκευάστηκαν μεγάλες οδικές σήραγγες προκειμένου να διασφαλιστεί η μεταφορά των εμπορευμάτων μέσω των Άλπεων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Η σήραγγα του Mont Blanc, μεταξύ Γαλλίας και Ιταλίας εγκαινιάστηκε το 1965, με μήκος 11,6km, ακολούθησε η σήραγγα του Gotthard(οδική) που «παραδόθηκε» στη κυκλοφορία το 1980 με συνολικό μήκος 16,9 km και παρέμεινε για περισσότερα από 20 χρόνια η μεγαλύτερη σήραγγα στο κόσμο. Ραγδαία ήταν και η αύξηση της κυκλοφορίας. Από 2 εκατομμύρια οχήματα τη μέρα στις αρχές του 1980 στα 6 εκατομμύρια στα τέλη του 2000.

Η σιδηροδρομική όμως ανάπτυξη δεν σταμάτησε σε όλες τις χώρες την ίδια περίοδο. Στην Ιαπωνία για παράδειγμα, τα τελευταία 50 χρόνια κατασκευάστηκαν περισσότερες από 70 σήραγγες μεγάλου μήκους συμπεριλαμβανομένης και της διάσημης σήραγγας του Seikan, συνολικού μήκους 53,9km. Γενικότερα οι μεγάλου μήκους σήραγγες είναι κατάλληλες για οχήματα μεγάλης χωρητικότητας και ταχείας διέλευσης, ενώ προσφέρουν τα εξής πλεονεκτήματα.

- 1) Βελτίωση των σιδηροδρομικών συνδέσεων μέσω της αύξησης της ταχύτητας των αμαξοστοιχιών.
- 2) Μείωση της απόστασης των μετακινήσεων.
- 3) Βελτίωση της ποιότητας και της ασφάλειας των ταξιδιών.
- 4) Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ



2.1 Εισαγωγικά

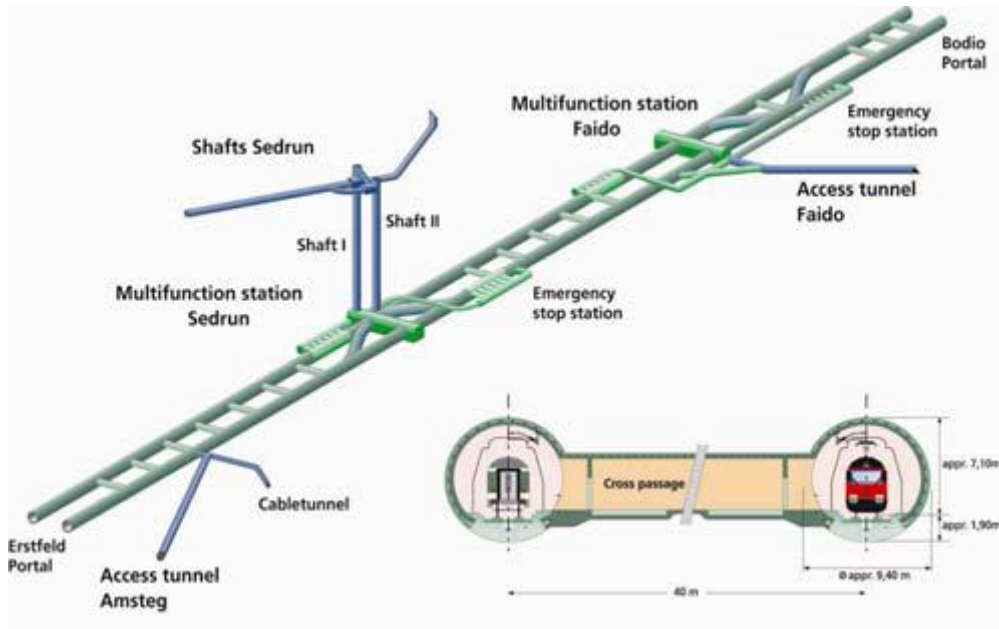
Έπειτα από δημοψήφισμα το 1994, οι Ελβετοί αποφάσισαν, ότι όλα τα φορτία που περνούν από τη χώρα θα ήταν καλύτερο να μεταφέρονται σιδηροδρομικώς και όχι οδικώς. Επομένως κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή μιας νέας ταχείας σιδηροδρομικής σύνδεσης μέσω των Άλπεων. Αυτή θα παρέχει ταχύτερη αλλά και πιο αξιόπιστη σύνδεση μέσω της νότιας και βορειοκεντρικής Ευρώπης (Μιλάνο-Ζυρίχη). Έτσι θα είναι δυνατή η μετατόπιση της κυκλοφορίας από τον οδικό άξονα στο σιδηροδρομικό.

Σύμφωνα με μελέτες που διεξάγονται από το Ελβετικό υπουργείο ανάπτυξης, η εμπορευματική κίνηση ενδέχεται να αυξηθεί έως 78% μέχρι και το τέλος του 2030, κάτι που αναγκάζει τη κυβέρνηση να στραφεί προς αυτή τη κατεύθυνση, καθώς οι μεταφορές θα είναι πολύ γρηγορότερες. Είναι χαρακτηριστικό ότι σήμερα διασχίζουν τη περιοχή του Gotthard περίπου 150 αμαξοστοιχίες την ημέρα, ενώ μετά την ολοκλήρωση των εργασιών ο αριθμός αυτός θα αυξηθεί στις 200. Κάτω από αυτές τις συνθήκες θα μεταφέρονται ετησίως σχεδόν διπλάσιος όγκος εμπορευμάτων, περίπου 40 εκατομμύρια τόνοι.

Οι νέες σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις είναι δύο (NRLA). Του Lotschberg στα δυτικά και του Gotthard στη κεντρική Ελβετία. Η κατασκευή του Gotthard είναι το κύριο έργο του άξονα. Οι προκαταρκτικές εργασίες ξεκίνησαν το 1996 με την εκσκαφή των θεμελίων και των φρεατίων της σήραγγας. Η κύρια κατασκευή ξεκίνησε το 2002 και θα ολοκληρωθεί το 2015, με την ανάθεση και την ολοκλήρωση των σιδηροδρομικών εγκαταστάσεων. Η εμπορική χρήση της σήραγγας θα ξεκινήσει στα τέλη του 2017.

Προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος της κατασκευής η σήραγγα χωρίστηκε σε 5 τμήματα και η εκσκαφή τους ξεκίνησε ταυτόχρονα. Αυτή γίνεται από τις εισόδους στο Erstfeld στο βορά και από το Bodio στο νότο.

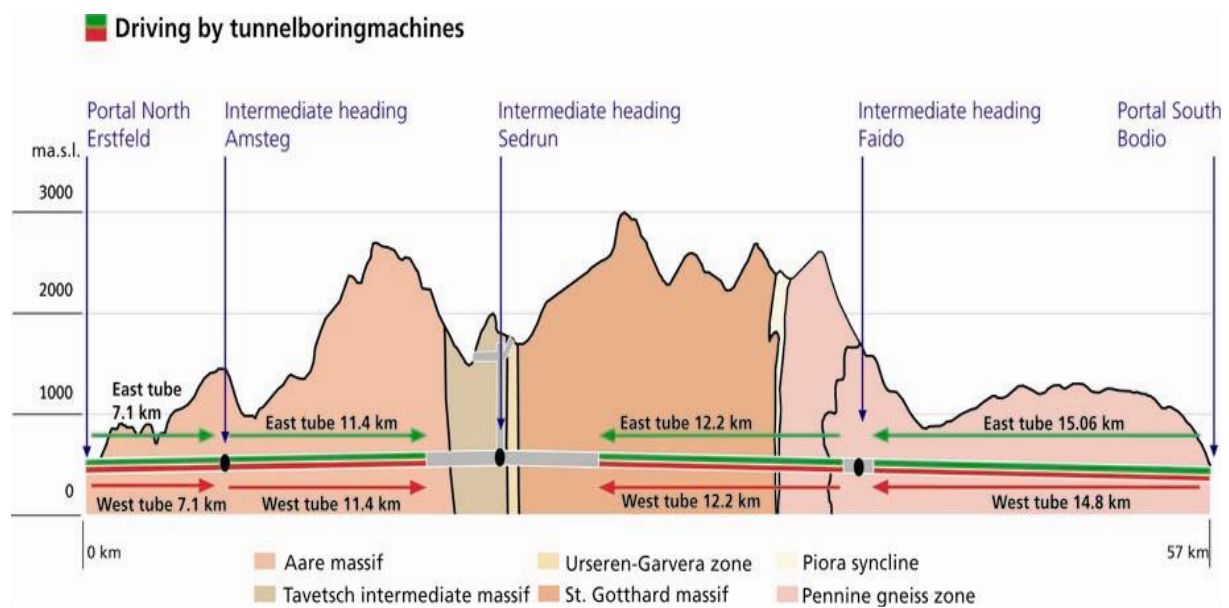
Επίσης γίνεται και από τρία ενδιάμεσα σημεία εκκίνησης, μέσω των σήραγγων πρόσβασης και μέσω των φρεατίων στο Sedrun.



Σχέδιο εκσκαφών

Η σήραγγα βάσης του Gotthard αποτελείται από δύο παράλληλες, μονής κατεύθυνσης σωλήνες, με διάμετρο που κυμαίνεται από 8,80-9,50μ. Αυτές συνδέονται μεταξύ τους, με εγκάρσιες διαβάσεις κάθε 312μ. Δυο σταθμοί πολλαπλών χρήσεων βρίσκονται στα τμήματα του Fedro και του Sedrun στο 1/3 και στα 2/3 του μήκους της σήραγγας. Αυτές θα χρησιμοποιούνται για τη παρεκτροπή των τραίνων σε άλλες διασταυρώσεις, σε σταθμούς τεχνικής υποστήριξης και σε σταθμούς έκτακτης ανάγκης με σκοπό την εκκένωση των τραίνων από τους επιβάτες. Ένα μεγάλο μέρος της σήραγγας θα είναι αρκετά υπερφορτωμένο. Περισσότερα από 1000μ υπερκείμενων σε μήκος 30km, 1500μ σε μήκος 20km και 2000μ σε μήκος 5km. Το μεγαλύτερο φορτίο υπερκείμενων φορτίων παρατηρείται σε βάθος 2400μ.

Ως τώρα έχουν ολοκληρωθεί οι εκσκαφές, των σηράγγων πρόσβασης, των φρεατίων και της κύριας σήραγγας, δηλαδή περίπου το 75% του συνολικού έργου. Σχεδόν το 65% των εκσκαφών έγιναν με TBM, ενώ το υπόλοιπο 35%, που περιλαμβάνει το σταθμό στο Faïdo, τις σήραγγες πρόσβασης και μέρος της κύριας κατασκευής βασίστηκε σε συμβατικές και εμπειρικές μεθόδους.



Μηκοτομή του εδάφους

2.2 Ο πενήνταετής προγραμματισμός

Η ιδέα για τη κατασκευή της σήραγγας του Gotthard δεν είναι καινούργια και έχει τις ρίζες της αρκετές δεκαετίες νωρίτερα και συγκεκριμένα το 1947. Το πρώτο έργο ολοκληρώθηκε το 1962 και μετά από τη παρέλευση περίπου μισού αιώνα η σήραγγα είναι σχεδόν έτοιμη να τεθεί σε λειτουργία.

Το 1992, η αποδοχή των προτάσεων για τη σιδηροδρομική σύνδεση των Άλπεων αποτέλεσε τη βάση του σχεδιασμού. Επιπλέον το 1998 αποφασίστηκε η

επιβολή ειδικού φόρου για τη διέλευση βαρέων οχημάτων και ο εκσυγχρονισμός του δικτύου της χώρας.

Το πρώτο έργο για τη δημιουργία μιας σήραγγας βάσης μέσω του Gotthard, διατυπώθηκε από το « ελβετικό υπουργείο εσωτερικών υποθέσεων», το 1962. Το σχέδιο προέβλεπε τη δημιουργία μίας διπλής σήραγγας, συνολικού μήκους 45km. Αυτή θα ένωνε το Amsteg με το Giornico μέσω μιας ευθείας σύνδεσης. Μεταξύ τους θα υπήρχε μια κάθετη πρόσβαση που θα επέτρεπε την επικοινωνία τους, ενώ τα τραίνα θα ταξίδευαν αγγίζοντας το ανώτατο όριο ταχύτητας, το οποίο δε διέφερε πολύ από το σημερινό (200χλμ/ώρα).

Άλλες πτυχές του προγράμματος προέβλεπαν ριζικές αλλαγές. Κατά τη διάρκεια ενός συνεδρίου, το 1971, αποφασίστηκε σε πλήρη συνεργασία με τους αρμόδιους κρατικούς φορείς, η δημιουργία μιας σήραγγας διπλής τροχιάς που ενδεχόμενος σε ορισμένα σημεία να χωριζόταν σε μονής, καθώς αποτελούσε τη καλύτερη δυνατή λύση. Η τελική όμως απόφαση πάρθηκε το 1995. Ήταν μια σύνθετη λύση, που περιελάμβανε ορισμένα στοιχεία από τις δύο προηγούμενες προτάσεις. Το τελικό σχέδιο περιελάμβανε τη κατασκευή δύο σιδηροδρομικών μονής τροχιάς, οι οποίες θα συνδέονταν κάθε 180μ. Τέλος προστέθηκε η κατασκευή δύο σταθμών πολλαπλής χρήσης, για την αντιμετώπιση ενός πιθανού προβλήματος αλλά και για την καλύτερη εξυπηρέτηση των επιβατών.

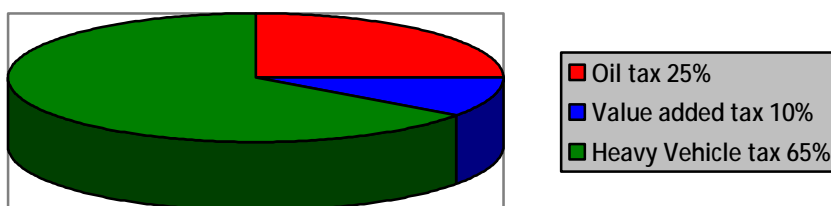
2.3 Χρηματοδότηση και εκσυγχρονισμός

Στις 29 Νοεμβρίου του 1998, το ελβετικό εκλογικό σώμα αποδέχτηκε τη πρόταση για τη χρηματοδότηση και την ανακατασκευή των δημοσίων συγκοινωνιών. Αυτή η πρόταση περιελάμβανε και τον εκσυγχρονισμό αλλά και την επέκταση του σιδηροδρομικού δικτύου. Επίσης εκτός από τους δύο νέους,

ταχείας διέλευσης άξονες, θα ληφθούν και ειδικά μέτρα για τη μείωση της ηχορύπανσης κατά μήκος της διαδρομής.

Η χρηματοδότηση του έργου, γίνεται μέσω ενός ειδικού ταμείου, το οποίο τροφοδοτείται μέσω ενός επιβαλλόμενου φόρου επί των πετρελαϊκών προϊόντων, από μια σειρά φορολογικών μέτρων και από την αύξηση 1% του φόρου προστιθέμενης αξίας (Φ.Π.Α), επί του συνόλου των αγορών. Υπολογίζεται ότι θα δαπανηθούν περίπου 30 δισεκατομμύρια ελβετικά φράγκα (CHF), μέσα σε διάστημα 20 ετών για την αποπεράτωση του έργου. Από αυτά περίπου τα μισά αναμένεται να δοθούν στη νέα σιδηροδρομική σύνδεση των Άλπεων, η σήραγγα βάσης του Gotthard αναμένεται να κοστίσει περίπου 7 δισεκατομμύρια και η σήραγγα του Ceneri περίπου 2.

Η κατασκευή των σηράγγων θα γίνει σε δύο φάσεις. Πρώτα θα κατασκευαστεί η σήραγγα του Gotthard και αμέσως μετά τη παράδοση του έργου θα ξεκινήσει η κατασκευή των υπολοίπων δύο σηράγγων που θα ολοκληρώσουν τη νέα σιδηροδρομική σύνδεση των Άλπεων.



2.4 Επιλογή μεθόδου εκσκαφής

Στο καθορισμό του προγράμματος εργασίας, οι παράγοντες κινδύνου μπορούν να περιπλέξουν ή να διευκολύνουν την επίτευξη του τελικού στόχου. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για το περιορισμό των κινδύνων είναι και η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εκσκαφής.

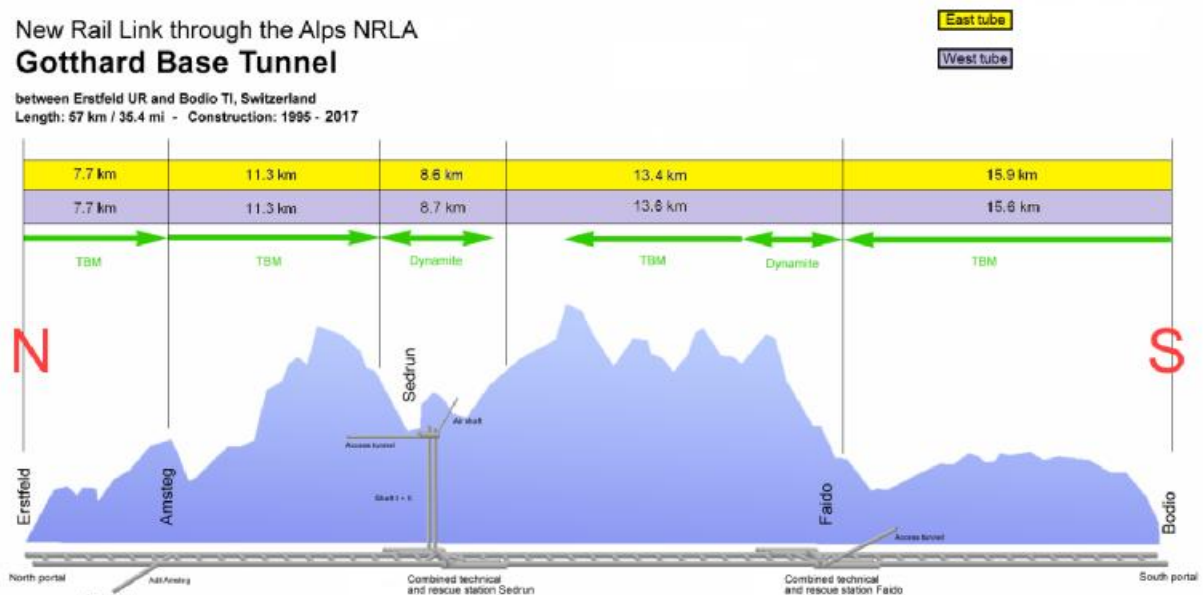
Κριτήρια για την επιλογή της μεθόδου εκσκαφής

- 1) Υγεία και ασφάλεια
- 2) Περιβαλλοντικοί όροι
- 3) Όροι της μελλοντικής λειτουργίας
- 4) Σχεδιασμός
- 5) Κατασκευαστικοί παράγοντες
- 6) Προβλέψεις για τις υπάρχουσες κατασκευές

Στη περίπτωση της σήραγγας βάσης του Gotthard, η μέθοδος εκσκαφής έπρεπε να καθοριστεί για τα πέντε κύρια τμήματα της κατασκευής, με μήκη από 6,5km έως και 15km. Στη κεντρική κατασκευή του Sedrun, η εκσκαφή έπρεπε να εκτελεσθεί από το βορρά προς το νότο και ξεκινώντας από ένα ανώτατο βάθος, περίπου 800μ. Οι γεωλογικές συνθήκες προβλέφθηκαν με μεγάλες αποκλείσεις, που κυμαίνονται από πολύ σκληρά έως και πολύ σαθρά πετρώματα, με την ύπαρξη υπερκειμένου σχεδόν 1km. Επιπρόσθετα, ο τρόπος με τον οποίο έχουν σχηματιστεί οι βράχοι καθώς και οι τεκτονικές παραμορφώσεις που έχουν υποστεί στο πέρασμα των αιώνων, έχουν δημιουργήσει ασυνέχειες στη μάζα του, οι οποίες διακρίνονται σε γραμμικές και επίπεδες, ενώ σπάνια μπορεί να υπάρξει τυχαίος προσανατολισμός. Ιδιαίτερη

βαρύτητα πρέπει να δοθεί στις εκσκαφές που πραγματοποιήθηκαν κοντά σε ένα φράγμα σκυροδέματος στα Narls. Ο βόρειος κλάδος προβλέφθηκε ότι θα έχει μήκος 2,5km και ο νότιος 4,6km.

Με γνώμονα λοιπόν, τις συγκεκριμένες συνθήκες, η κατασκευάστρια εταιρεία πήρε αρχικά την απόφαση να χρησιμοποιηθούν, σχεδόν αποκλειστικά συμβατικές μέθοδοι και ήταν ο μόνος τρόπος που αρχικά μπήκε στη διαδικασία της δημοπρασίας. Για τα υπόλοιπα όμως τέσσερα τμήματα του έργου, (Bodio 14,8km, Erstfeld 7,1km, Amsteg 11,4Km, Faido 12,2km) οι απαιτήσεις δεν ήταν τόσο περιοριστικές. Η επιλογή της μεθόδου για τα συγκεκριμένα σημεία καθορίστηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό, από το αναμενόμενο κόστος των εργασιών αλλά και από το προβλεπόμενο χρόνο αποπεράτωσης του έργου. Με γνώμονα αυτούς τους παράγοντες η κατασκευάστρια εταιρία παρουσίασε δύο λύσεις για τα τμήματα στο Amsteg και Faidro. Μια συμβατική και μία με χρήση των μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής (TBM). Για τα τμήματα στο Erstfeld και στο Bodio προτάθηκε μια λύση με συμβατικές μεθόδους, χωρίς όμως τελικά να γίνει αποδεκτή. Τελικά αποφασίστηκε ότι για τα συγκεκριμένα τμήματα του έργου η οικονομικότερη αλλά και αποδοτικότερη λύση ήταν η διάνοιξη με TBM.



2.5 Προκαταρτικές εργασίες αναγνώρισης του εδάφους

Κατά την έναρξη των εργασιών οι πληροφορίες που υπάρχουν, δεν επαρκούν για τη πραγματοποίηση της τεχνικής μελέτης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διενεργηθεί μια σειρά εργασιών, προκειμένου να αναγνωριστούν τα μυστικά που κρύβει περιοχή. Οι σημαντικότερες από αυτές, που διενεργήθηκαν όπως είναι φυσικό και στην ευρύτερη περιοχή του Gotthard είναι οι ακόλουθες.

2.5.1 Αεροφωτογραφίες

Υπεύθυνη για αυτές είναι η επιστήμη της φωτογραμμετρίας. Μέσω αυτής προσδιορίζονται οι διαστάσεις μίας περιοχής. Οι φωτογραφίες αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται σε όλη τη διάρκεια του έργου, ενώ τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη της ψηφιακής φωτογραφίας, έχει εξελιχθεί και η επιστήμη της στερεοφωτογραμμετρίας, που προσφέρει υψηλή ανάλυση με κάλυψη και των τριών διαστάσεων.

2.5.2 Χρήση δορυφορικών εικόνων

Αυτές οι πληροφορίες θα πρέπει να συντάσσονται σε μία βάση δεδομένων, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ανά πάση στιγμή από ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS).

2.5.3 Συστήματα χαρτογράφησης εδάφους

Ένα σύστημα χαρτογράφησης θα πρέπει να είναι σε θέση να προσεγγίσει με ακρίβεια τις περιοχές του έργου και να αποτελεί τη βάση δεδομένων για τις μηχανικές, γεωλογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής. Ουσιαστικά αυτά τα συστήματα αποτελούν μια εξειδικευμένη επιστημονική κατάταξη που βασίζεται στη τοπογραφία, στα εδάφη, στις βραχομηχανικές συνθήκες, στη γεωμορφολογία, στην υδρολογία και στις κλιματικές συνθήκες. Παλαιότερα

αποτελέσματα απέδειξαν ότι οι τεχνικές χαρτογράφησης είναι αποδοτικές, οικονομικές και ενδεδειγμένες αφού τα αποτελέσματα παρέχονται μέσω από μία σειρά ερευνών.

2.5.4 Δεδομένα για τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις και τα ακίνητα

Η διαδικασία των απαλλοτριώσεων αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα κατά τη κατασκευή του έργου. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να συλλέγονται και να λαμβάνονται υπόψη, όλα τα διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις στη περιοχή, αλλά και στις παρακλήσεις που τυχόν χρειαστεί να γίνουν αν στη περιοχή του έργου υπάρχουν επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Αν δεν υπάρχουν τα συγκεκριμένα δεδομένα θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια σειρά ειδικών ερευνών. Αυτές θα πρέπει να συμπληρωθούν με πληροφορίες από τοπικούς φορείς και οργανισμούς, ώστε να επιτυγχάνεται ο αποδοτικότερος συνδυασμός.

2.5.5 Διερευνητικές γεωτρήσεις και επί τόπου εργαστηριακές δοκιμές

Με βάση τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης αλλά και των επί τόπου δυναμικών αναλύσεων, θα πρέπει να καθοριστεί μια σειρά διερευνητικών γεωτρήσεων που θα βοηθήσει στη κατανόηση και αποκρυπτογράφηση των εδαφικών συνθηκών. Ο σκοπός των εργαστηριακών δοκιμών είναι ο προσδιορισμός της αντοχής των πετρωμάτων αλλά και των υπόλοιπων φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τους, η περιεκτικότητα του νερού σε οργανικές και ανόργανες ενώσεις, αλλά και το είδος της υπόγειας ροής των υδάτων.

2.6 Ακρίβεια εκατοστού στις μετρήσεις

Η κατεύθυνση που θα ακολουθούσαν οι σήραγγες ήταν σε γενικά γνωστή. Όμως πριν από την έναρξη των εργασιών ήταν απαραίτητη η χάραξη της διαδρομής τόσο στην επιφάνεια του εδάφους όσο και κάτω από αυτή. Λόγω της γεωμορφολογίας των Άλπεων, όπως αυτή διαμορφώνεται κατά την εκσκαφή της σήραγγας, τα γεωδαιτικά δίκτυα πρέπει να αναπτυχθούν σε πολύ περιορισμένο χώρο και με απότομες κλίσεις. Δημιουργήθηκαν νέα γεωδαιτικά δίκτυα με τη χρήση οδεύσεων, με μικρά μήκη πλευρών, ευνοώντας όμως τη μετάδοση σφαλμάτων. Όμως επειδή απαιτούνταν πολύ μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονα συστήματα προσομοίωσης του εδάφους.

Για να επιτύχουν καλύτερα αποτελέσματα οι μηχανικοί χρησιμοποίησαν σύγχρονα δορυφορικά συστήματα (satellite systems). Σκοπός ήταν η δημιουργία ενός υπόγειου αλλά και ενός επιφανειακού τριγωνομετρικού δικτύου. Όμως επειδή οι εκσκαφές στη σήραγγα βάσης του Gotthard γίνονταν ταυτόχρονα και από ενδιάμεσα σημεία ως επιφανειακά δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν τριγωνομετρικά 1^{ης} και 2^{ης} τάξης. Τελικά επιτεύχθηκε ακρίβεια του 1 εκατοστού στις μετρήσεις.

Στο παρελθόν οι μετρήσεις γίνονταν εξ ολοκλήρου με κλασσικές μεθόδους. Αυτό απαιτούσε μεγάλη εμπειρία από τους μηχανικούς αλλά και μεγάλο χρονικό διάστημα για τη λήψη των μετρήσεων. Σήμερα η χρήση δορυφόρων, ψηφιακών μοντέλων εδάφους αλλά και GPS έχει βοηθήσει σημαντικά στη μείωση του χρόνου αλλά και του κόστους των εργασιών.



“Κλασικές μετρήσεις στο Gotthard”

Επίσης μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του ανάγλυφου μιας μεγάλης έκτασης είναι η μέθοδος του «Laser Scanner on plane». Αυτή χρησιμοποιήθηκε και στη περίπτωση της σήραγγας βάσης του Gotthard. Για την υλοποίηση της, τοποθετείται σε ένα αεροπλάνο, της πολεμικής συνήθως αεροπορίας, ένα scanner, στο κάτω μέρος του σκάφους, το οποίο καθώς το αεροσκάφος κινείται σαρώνει τη περιοχή, επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται πολύ εξαιτίας των ποιοτικών αποτελεσμάτων που προσφέρει. Παρόμοια μπορεί να χαρακτηριστεί και η λειτουργία των Αλτιμετρικών δορυφόρων. Η χρήση τους όμως δε προβλέπεται για τέτοιου είδους έργα, κυρίως επειδή χρειάζονται ένα περίπου χρόνο για μια πλήρη περιστροφή γύρω από των άξονα της Γής(μικρή ταχύτητα), αλλά και λόγω των σφαλμάτων προκύπτουν εξαιτίας των δυναμικών φαινομένων που αναπτύσσονται.



Laser scanner on plane

Οι μεγάλες υπόγειες κατασκευές όπως η σήραγγα βάσης του Gotthard, δεν είναι δυνατό να χαραχθούν αποκλειστικά με κλασικές μεθόδους, καθώς υπάρχουν σημεία τα οποία μπορεί να μην είναι ορατά. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί το γυροσκόπιο, το οποίο αποτελεί μια συσκευή η οποία μπορεί να διατηρεί σταθερό το προσανατολισμό της, μέσω της περιστροφής των μερών της και της αρχής διατήρησης της στροφορμής. Εφαρμογή του γυροσκοπίου αποτελεί και η μαγνητική πυξίδα, τις οποίας οι μετρήσεις, σε αντίθεση με αυτές του γυροσκοπίου, μετά τη παρέλευση ενός χρονικού διαστήματος μπορεί να θεωρηθούν ακριβείς.

Τα σφάλματα των μετρήσεων, τα οποία και αποτελούν συχνό ως και φυσιολογικό τοπογραφικό πρόβλημα, ενώ σε άλλες εργασίες δε θα λαμβάνονταν καν υπόψη, στη συγκεκριμένη περίπτωση αποτέλεσαν σημαντικό πρόβλημα. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τα χονδροειδή που οφείλονται σε απροσεξία, τα συστηματικά εξαιτίας μιας ατέλειας του οργάνου και τέλος τα τυχαία, καθώς δε μπορεί να κατασκευαστεί ένα όργανο που θα δίνει μετρήσεις τέλειας ακρίβειας. Στη περίπτωση της σήραγγας του Gotthard, οι τεράστιες μάζες βράχου, στη περιοχή της σήραγγας ήταν φυσιολογικό να επηρεάσουν τα αποτελέσματα αλλά και την οριζοντίωση του οργάνου. Επίσης σημαντικές επίπτωσης είχε και η διαφορά της θερμοκρασίας κατά μήκος της σήραγγας.

Ακόμα και σήμερα, οι Άλπεις εξακολουθούν, να κινούνται, και να ανυψώνονται, περίπου 1mm το χρόνο, ενώ παρατηρούνται και μετατοπίσεις των ορεινών όγκων. Αυτές οι μεταβολές παρατηρούνται διαρκώς καθώς θα μπορούσαν να επιφέρουν προβλήματα στην όλη κατασκευή. Οι πληροφορίες που συλλέγονται, χρησιμοποιούνται και σε άλλες κατασκευές, για τη λήψη των κατάλληλων μέτρων ασφαλείας.

2.7 Παράγοντες που επηρέασαν την επιλογή της κατεύθυνσης

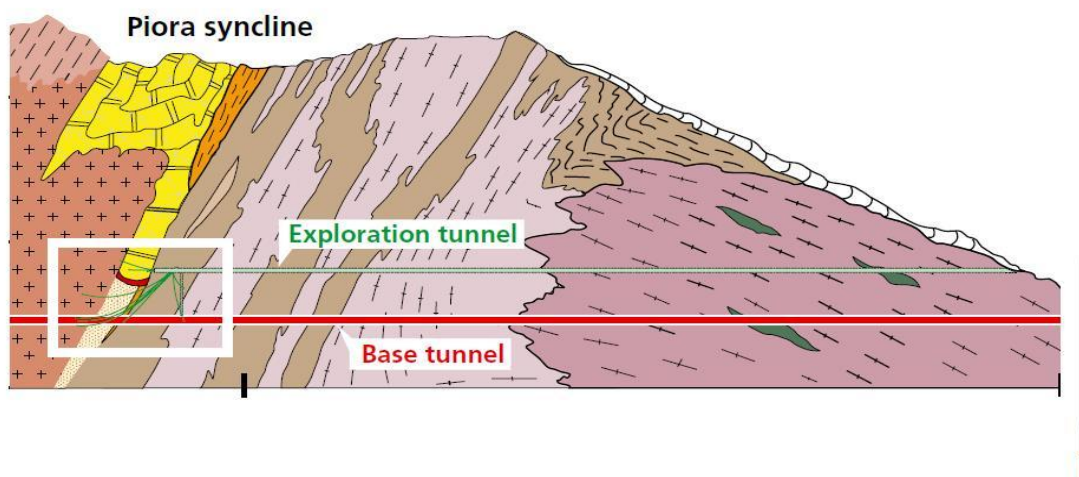
Ο καλύτερος τρόπος για να συνδεθούν δύο σημεία δεν είναι πάντα η ευθεία. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορεί να καθορίσουν τη κατεύθυνση που θα ακολουθηθεί. Στη περίπτωση της σήραγγας του Gotthard καθοριστικό ρόλο διαδραμάτισαν οι γεωμορφολογικές συνθήκες.

Η επιλογή της διαδρομής επηρεάζεται πολύ σημαντικά από επιφανειακούς παράγοντες που δεν έχουν σχέση με τη γεωλογία. Σε κάθε κατασκευή σοβαρό πρόβλημα αποτελεί η στάση των κατοίκων και οι ανησυχίες τους, για την ασφάλεια του έργου αλλά και των ιδιοκτησιών τους. Βασικό παράγοντα αποτέλεσε η υδρολογική μελέτη, καθώς πριν ξεκινήσει το έργο, οι μηχανικοί έπρεπε να γνωρίζουν αν στην περιοχή υπήρχε κάποιος ταμιευτήρας νερού, αλλά και την ακριβή θέση των οδικών αξόνων. Επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται πολύ σοβαρά η αισθητική της περιοχής και να αποφεύγεται η μεταβολή του φυσικού κάλλους της. Στην προσπάθεια αυτή βοήθησαν με τις γνώσεις τους μια ομάδα εμπειρων αρχιτεκτόνων, πολεοδόμων και περιβαλλοντολόγων.

Η επιλογή της κατεύθυνσης κάτω από την επιφάνεια του εδάφους είναι πάντα εξίσου δύσκολη.. Πριν από περίπου 200 εκατομμύρια χρόνια, όλες οι ήπειροι ήταν ενωμένες σε μια υπερήπειρο που ονομαζόταν Παγγαία. Στη περιοχή των Άλπεων βρισκόταν ένας προϊστορικός ωκεανός, στον οποίο θαλάσσια ιζήματα είχαν αποθεθεί πάνω από ένα κρυσταλλικό στρώμα. Τη περίοδο που άρχισαν να συγκρούονται η Αφρικανική και η Ευρωπαϊκή πλάκα, τα πετρώματα που είχαν σχηματιστεί από τα θαλάσσια ιζήματα και ήταν ενωμένα αναδύθηκαν από τη θάλασσα. Τότε αυτά είτε ενώθηκαν είτε μεταφέρθηκαν πάνω από άλλα πετρώματα. Οι κρυσταλλικοί πύρινες του Gotthard και του Aare, πιέζονταν ταυτόχρονα, ενώ τα νοτιότερα στρώματα, στοιβάχτηκαν το ένα πάνω από το άλλο.

Οι ορεινοί όγκοι των Gotthard και Aare αποτελούν ουσιαστικά τη ραχοκοκαλιά των Άλπεων. Αποτελούνται κυρίως από γνευσιακά και γρανιτικά πετρώματα. Εξαιτίας αυτού κατά τη κατασκευή της, η σήραγγα έπρεπε να διέλθει από πολλά διαφορετικά στρώματα. Από τους γρανίτες στη περιοχή του Gotthard, στους γνεύσιους της Leventina και στα σαθρά πετρώματα του Tavench.

Το ρήγμα της Piora αποτέλεσε μεγάλο πρόβλημα καθώς η έκταση του ήταν άγνωστη. Ωστόσο οι τέσσερις διερευνητικές γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν βοήθησαν στο να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για τη κλίση και το βάθος της. Οι επόμενες αναλύσεις και οι σεισμικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν επιβεβαίωσαν ότι οι συνθήκες ήταν εξαιρετικά ευνοϊκές για τη κατασκευή της σήραγγας.



2.8 Προγραμματισμός των εγκαταστάσεων

Πριν τα μηχανήματα ξεκινήσουν τις εργασίες διάνοιξης, θα πρέπει να ξεπεραστούν κάποια άλλα προβλήματα, τα οποία έχουν να κάνουν κυρίως με τη διασφάλιση της εύκολης πρόσβασης σε πρώτες ύλες και πηγές ενέργειας.

2.8.1 Υδροδότηση των χώρων

Ο χώρος των εργοταξίων, πρέπει να υδροδοτείται από ένα τοπικό δίκτυο. Οι ημερήσιες ανάγκες είναι περίπου 300 λίτρα/άτομο, ενώ το νερό που δαπανάτε ημερησίως αγγίζει τα 500000 λίτρα. Επειδή όμως το νερό αυτό προορίζεται για εργασίες, όπως για το καθαρισμό των μηχανών, τη παραγωγή σκυροδέματος αλλά και τη ψύξη των χώρων εργασίας δεν απαιτείται να είναι ιδιαίτερα υψηλής ποιότητας. Προκειμένου λοιπόν να μην επιβαρύνονται τα τοπικά δίκτυα, μπορεί να χρησιμοποιείται νερό από τις τοπικές πηγές. Η μόνη προϋπόθεση είναι το νερό να μπορεί να καλύψει, όλες τις ανάγκες του εργοταξίου, αλλά και να καλύψει τυχόν έκτακτα περιστατικά (πυρκαγιά). Επιπλέον οι σύγχρονες εργοταξιακές εγκαταστάσεις, παρέχουν ένα σύστημα καθαρισμού του νερού, πριν αυτό επιστρέψει στον υδροφόρο ορίζοντα.



εγκατάσταση καθαρισμού του νερού στο Amsteg

2.8.2 Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

Η λειτουργία ενός εργοταξίου, εκτός από νερό απαιτεί και παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, σε τέτοιες ποσότητες που πολλές φορές η ισχύς των τοπικών ηλεκτρικών σταθμών δεν επαρκεί. Θα πρέπει και σε αυτή τη περίπτωση να λαμβάνεται ειδική μέριμνα για τις ανάγκες που θα προκύψουν. Βεβαίως θα πρέπει να καλυφθούν προβλήματα που αφορούν τη προσωρινή στέγαση των εργαζομένων, τη διαχείριση των λυμάτων και όλες τις ηλεκτρικές ανάγκες που απαιτεί μια κατοικία.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για μια κατασκευή θα πρέπει να υπολογίζεται εκ των προτέρων. Για παράδειγμα κατά τη κατασκευή των σωληνώσεων στο Amsteg απαιτούνταν ισχύς 11MW, η οποία είναι διπλή από τη ζήτηση που υπάρχει στη πόλη του Sedrun τη περίοδο των Χριστουγέννων. Αυτό από μόνο του καθιστά σαφές ότι οι τοπικοί σταθμοί θα ήταν αδύνατο να καλύψουν τις ανάγκες των εργασιών. Ακόμα αν υπήρχε αυτή η δυνατότητα θα έπρεπε το δίκτυο να μπορεί να αντέξει πολύ υψηλές τάσεις. Για παράδειγμα η λειτουργία μια μηχανή ολομέτωπης κοπής (TBM), απαιτεί παροχή ρεύματος 5MW, που ισοδυναμεί με τη λειτουργία 2.500 εστιών κουζίνας ή 50.000 ηλεκτρικών λαμπτήρων. Επομένως ήταν γνωστό ότι οι υπάρχουσες ανάγκες δεν θα μπορούσαν να καλύψουν τις αυξημένες απαιτήσεις. Έτσι προκειμένου να ξεπεραστεί και αυτός ο σκόπελος κατασκευάστηκαν, νέοι σταθμοί ικανοί να αντιμετωπίσουν τις κατασκευαστικές ανάγκες.



Σταθμός ηλεκτρικής ενέργειας στο Amsteg



κατοικίες εργαζομένων στο Sedrun

2.8.3 Διαρρύθμιση εγκαταστάσεων

Η κατασκευή και μετέπειτα η διαρρύθμιση των εγκαταστάσεων δεν πρέπει απλά να διασφαλίζουν τις βέλτιστες και τις αποδοτικότερες συνθήκες για τους εργαζομένους αλλά και να προστατεύουν τους κατοίκους των γύρω περιοχών από ρυπογόνους παράγοντες όπως η σκόνη και ο θόρυβος. Για τη κατασκευή αλλά και τη διαρρύθμιση των εργοστασιακών χώρων απαιτούνται συνήθως τρείς έως και έξι μήνες. Επίσης οι δρόμοι που συνδέουν το εργοτάξιο με τους κύριους άξονες, οι οποίοι συμπεριλαμβάνονται στο χρονοδιάγραμμα διαρρύθμισης του εργοταξίου, πρέπει να προσαρμόζονται στα περιβαλλοντολογικούς όρους της περιοχής. Οι εργασίες μπορούν να ξεκινήσουν μόνο όταν εξασφαλιστούν οι παραπάνω συνθήκες με βασικό γνώμονα το σεβασμό στον περιβάλλον και τον άνθρωπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



Κατά τη διάρκεια των εργασιών σε οπουδήποτε τεχνικό έργο, είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα παρουσιαστούν κάποιες δυσκολίες οι οποίες δεν είχαν προβλεφθεί κατά τη φάση του σχεδιασμού. Η σήραγγα βάσης του Gotthard δεν θα μπορούσε να αποτελέσει εξαίρεση. Παρουσιάστηκαν αρκετές δυσκολίες, και ιδιαίτερα δύσκολες συνθήκες αντιμετωπίστηκαν σε αρκετά σημεία του έργου. Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι δυσκολίες, χρειάστηκε η εμπειρία των μηχανικών και σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν νέοι κατασκευαστικοί μηχανισμοί.

3.1 Διάνοιξη δίπλα από το φράγμα σκυροδέματος με συμβατικές μεθόδους (νότιος κλάδος)

Ο περιορισμός των δυνατοτήτων, αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιλογή της μεθόδου εκσκαφής. Στο νότιο κλάδο του Sedrun, η σήραγγα βάσης πέρασε σε απόσταση μικρότερη του 1km, κάτω από το ύψους 127 μέτρων φράγμα σκυροδέματος, στα Narls. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος που μπορεί να υπάρξει είναι η εμφάνιση μεγάλων παραμορφώσεων κατά τη διάρκεια αλλά και μετά τη κατασκευή της σήραγγας εξαιτίας της διάβρωσης των τοιχωμάτων του μετώπου από την εισροή νερού. Αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε εκτός από τη σήραγγα του Gotthard και σε άλλες δυο περιπτώσεις στην Ελβετία(στην οδική σήραγγα του Gotthard και στο Rawil το 1978). Παρατηρήθηκαν και στις δύο περιπτώσεις μετατοπίσεις που άγγιζαν τα 10 εκατοστά. Το φράγμα στη περιοχή του Rawil υπέστη σοβαρές ζημιές εξαιτίας των διερευνητικών διατρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Στις εργασίες της σήραγγας βάσης του Gotthard, προβλέπονται διαδικασίες άμβλυνσης ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες παραμορφώσεις. Επίσης τα μέτρα προβλέπουν διερευνητικές γεωτρήσεις αλλά και τσιμεντενέσεις στη περίπτωση εμφάνισης διαπερατών ρηγμάτων. Είναι ξεκάθαρο ότι στις

εργασίες ενεμάτωσης η διαδικασία μπορεί να γίνει πολύ πιο εύκολα με συμβατικές μεθόδους από ότι με χρήση TBM καθώς εκεί ο χώρος είναι περιορισμένος. Οι εργασίες στο Sedrun έγιναν με συμβατικές μεθόδους.



Το φράγμα 127 μέτρων στη περιοχή (Sedrun-Napls)

Το Σεπτέμβριο του 2006, εμφανίστηκε εισροή νερού, σχεδόν 13lit/sec, όταν η εκσκαφή στο δυτικό κλάδο πέρασε κοντά από τα θεμέλια του φράγματος σκυροδέματος στο Sedrun. Για να λυθεί το πρόβλημα έπρεπε η διαπερατή ζώνη να σφραγιστεί με τσιμέντο. Εξαιτίας όμως της ελευθερίας κινήσεων που παρέχετε από τις συμβατικές μεθόδους, οι εργασίες ενεμάτωσης μπορούσαν να γίνουν ταυτόχρονα και από τις δύο πλευρές της βλάβης, μέσω μιας παράκαμψης στην ακέραια ανατολική σήραγγα. Χρειάστηκαν 102 εργάσιμες ημέρες, περίπου 12800 μέτρα γεωτρήσεων και 210 τόνοι τσιμεντενέσεων, ώστε η εισροή να μειωθεί στα επιθυμητά επίπεδα.

3.2 Διάνοιξη 12χλμ με TBM στο Bodio

Η εκσκαφή με TBM, ξεκίνησε από το Bodio το 2002, και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2006 μετά από μια συνεχή διάνοιξη 12 χιλιομέτρων. Λίγο μετά την έναρξη των εργασιών, παρουσιάστηκε μια οριζόντια αστοχία, εντός της διατομής επεκτεινόμενη για περίπου 500 μέτρα. Αυτή προκάλεσε πολύ

μεγάλα προβλήματα, και οδήγησε σε δραματική μείωση της προόδου των εργασιών, περίπου στα 3μέτρα/ημέρα.

Όταν ξεπεράστηκαν αυτά τα προβλήματα, το βήμα προώθησης αυξήθηκε στα 13,5 μέτρα ημερησίως. Όμως προς το τέλος των εκσκαφών, τα προβλήματα αυξήθηκαν για άλλη μια φορά. Μια αστοχία του πετρώματος, στο μέτωπο της εκσκαφής, προκάλεσε υψηλές παραμορφώσεις, επιφέροντας και σοβαρή βλάβη στην ασπίδα του TBM. Πίσω από την ασπίδα, και εξαιτίας του μεγάλου βάρους η παραμόρφωση σε κάποια σημεία έγινε υπερβολικά υψηλή. Επειδή ήταν αδύνατη η αύξηση της διαμέτρου, έπρεπε να υπάρξουν μεγάλες τροποποιήσεις σε μερικές εκατοντάδες μέτρα, αυξάνοντας έτσι το συνολικό κόστος της κατασκευής. Σε αυτή τη περίπτωση η πιο ενδεδειγμένη λύση ήταν, οι συμβατικές μέθοδοι εξαιτίας της ευχέρειας κινήσεων που παρέχουν. Επιπλέον τα επιπρόσθετα κόστη θα ήταν σαφώς λιγότερα.

Συνοψίζοντας ολόκληρη την ενότητα της κατασκευής του Bodio, η χρήση του TBM προσέφερε μια αρκετά πιο γρήγορη διάνοιξη από τη συμβατική σιραγγοποιία (11,5m/day), ενώ τα κόστη αυξομειώνονταν ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Η απόφαση για τη χρήση TBM, ήταν απόλυτα ορθή, ειδικά αν ληφθεί υπόψη ότι το τμήμα της κατασκευής του Bodio αποτελεί μέρος της κρίσιμης διαδρομής του έργου.

3.3 Διάνοιξη 11χλμ με TBM στη περιοχή του Amsteg

Στο τέλος του 2003, τα δυο παρόμοιου τύπου TBM, ξεκίνησαν την εκσκαφή προς τα νότια. Κατά τη διάρκεια των εκσκαφών και μέχρι τον Ιούνιο του 2005 δε σημειώθηκαν ιδιαίτερα προβλήματα, ενώ το ημερήσιο βήμα προώθησης ήταν περίπου στα 12m. Η παραβίαση μιας μικρής ζώνης αστοχίας, οδήγησε στην εισροή νερού (2lit/sec), η οποία σε συνδυασμό με τα χαλαρά υλικά της ζώνης, είχε ως αποτέλεσμα το μπλοκάρισμα της κοπτικής κεφαλής.

Χρειάστηκαν δύο μήνες για να επαναλειτουργήσει η μηχανή, προκαλώντας σημαντική καθυστέρηση στην εξέλιξη του έργου.

Οι μεταγενέστερες διερευνητικές γεωτρήσεις, έδειξαν την ύπαρξη μια ζώνης 15m μπροστά από τη κοπτική κεφαλή. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα συνεδρίασε μια ομάδα που αποτελούταν από εκπροσώπους του εργολάβου, της κατασκευάστριας εταιρείας, ειδικευμένοι μηχανικοί, αλλά και δυο ανεξάρτητοι εμπειρογνώμονες, οι οποίοι τελικά αποφάσισαν ότι η πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση θα ήταν η ενεμάτωση της ζώνης γύρω από τη κοπτική κεφαλή. Η εκσκαφή θα συνεχιζόταν μέσω μίας παρακαμπτήριας σήραγγας στον ανατολικό κλάδο. Εκεί η εκσκαφή θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα και σε απόσταση μικρότερη των 40m από το δυτικό κλάδο. Τελικά η συγκεκριμένη ζώνη θα μπορούσε να ενοποιηθεί με τη βοήθεια τσιμεντενέσεων μέσω μίας κόγχης στην ανατολική σήραγγα. Επίσης η χρήση ενός ειδικού gel προστατεύει τη μηχανή. Τέλος πραγματοποιήθηκαν 2.800m γεωτρήσεων ενώ για την ενεμάτωση χρησιμοποιήθηκαν 110 τόνοι τσιμέντου και 50 τόνοι προστατευτικού gel.



Εργασίες στο Sedrun

Μετά την ολοκλήρωση των εκσκαφών στη παρακαμπτήρια σήραγγα, η μηχανή θα έπρεπε να διακόψει τη λειτουργία της για πέντε μήνες, με αποτέλεσμα ένα επιπρόσθετο κόστος, ύψους 5 εκατομμυρίων ελβετικών φράγκων

Στη περίπτωση του Amsteg, μπορεί να αναφερθεί, ότι η στάση στη ζώνη του ρήγματος θα ήταν μικρότερη αν δεν υπήρχε η χρήση TBM. Καθόλη τη διάρκεια της διάνοιξης η μέση απόσταση προώθησης ήταν περίπου 11,5m/day, που πρακτικά είναι ίδιες με αυτές στο Bodio. Μια καλά οργανωμένη συμβατική διάνοιξη και κάτω από τις οριακές συνθήκες της σήραγγας βάσης του Gotthard μπορούσε να φθάσει το 50% αυτών των τιμών. Η χρήση του TBM επιτάχυνε τις εργασίες ενώ το κόστος ήταν παρόμοιο και στις δύο περιπτώσεις.

3.4 Η διάνοιξη με TBM στη ζώνη του Faïdo

Τον Ιούλιο του 2007, το TBM που χρησιμοποιήθηκε στο Bodio, άρχισε την επόμενη εκσκαφή προς το βορά με κατεύθυνση το Sedrun. Η διάμετρος της κοπτικής κεφαλής αυξήθηκε από τα 8,80m στα 9,40m προκειμένου να υπάρχει περισσότερος χώρος για τη παραλαβή των παραμορφώσεων αλλά και την υποστήριξη του πετρώματος.

Τα κύρια στοιχεία υποστήριξης είναι: χαλύβδινα τόξα, αγκύρια, δοκίμια πλέγματος και σκυρόδεμα. Τα συγκεκριμένα δομικά στοιχεία ενεργούν σύμφωνα με τις αρχές της διαρροής, καθώς θα μπορούσαν να προκύψουν πολύ υψηλές πιέσεις, εάν υπήρχε έντονος περιορισμός των παραμορφώσεων.

Οι πρώτες δυσκολίες στο τμήμα του Faído, παρουσιάστηκαν λίγο μετά την έναρξη των εργασιών. Η παραμόρφωση πίσω από τη κεφαλή ήταν τόσο μεγάλη ώστε να είναι ορατός ο κίνδυνος, η εφεδρική εγκατάσταση να μην μπορεί να διέλθει από την «τρύπα εκσκαφής». Η συγκεκριμένη εγκατάσταση διατήρησε τη διαστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο Bodío(8,80m)

Στις αρχές του χρόνου και για περίπου δυο μήνες οι δυσκολίες πολλαπλασιάστηκαν εξαιτίας των πολύ μεγάλων ακτινικών παραμορφώσεων αλλά και στην επιρροή του δεύτερου κλάδου στον ανατολικό με αποτέλεσμα να προκληθούν σοβαρές ζημίες στην υποστήριξη του βράχου αλλά και στο σύστημα άρσης του τσιμεντένιου δαπέδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΟΙ ΜΗΧΑΝΕΣ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΗΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ
ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

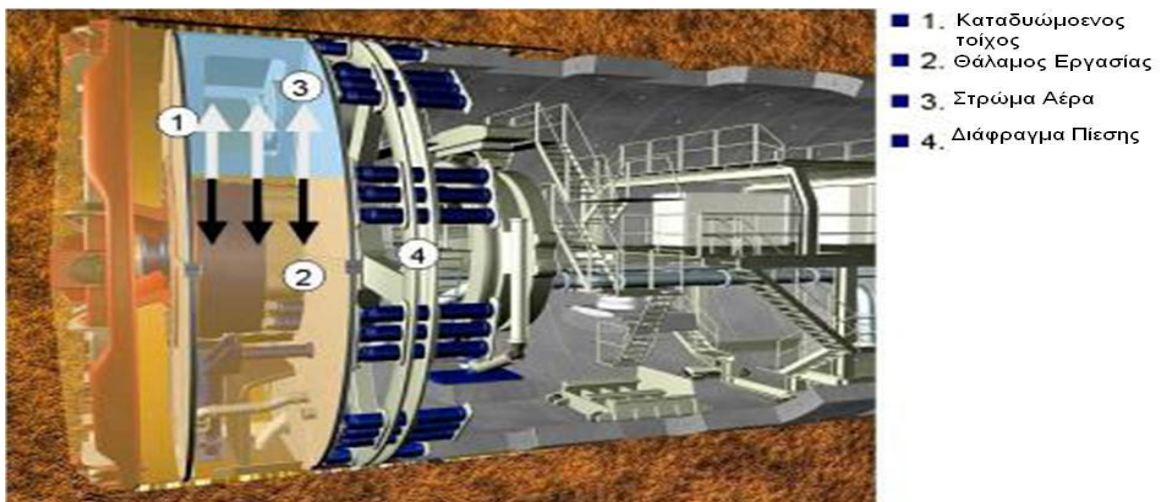


4.1 Τα μηχανήματα ολομετώπου κοπής (TBM)

Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (Tunnel boring machines) και οι ασπίδες (shields) χρησιμοποιούνται για τη διάνοιξη σπηραγγων μέσα σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν το ίδιο αποτελεσματικά για τη διάνοιξη μέσα από χαλαρά ή σκληρά πετρώματα και εδάφη. Οι διάμετροι διάνοιξης κυμαίνονται από 1m έως και 15m και οι ταχύτητες προσχώρησης ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες από μερικά εκατοστά/εβδομάδα έως και 130 μέτρα/εβδομάδα.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

Ένα TBM συνήθως από τελείται από μια οι δύο ασπίδες, μεταλλικούς κυλίνδρους και από συστήματα υποστήριξης. Στο ένα άκρο της ασπίδας τοποθετείται η κοπτική κεφαλή. Πίσω από τη κοπτική κεφαλή υπάρχει ένας θάλαμος, ανάλογα με το τύπο του κοπτικού, τα θραύσματα κοπής ανακατεύονται με πολφό(slurry), ή μένουν ως έχουν και μεταφέρονται στην έξοδο της σήραγγας. Η επιλογή της κοπτικής κεφαλής εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους. Πίσω από το θάλαμο βρίσκεται μια σειρά υδραυλικών γρύλλων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη προώθηση του μηχανήματος. Οι γρύλοι τοποθετούνται στην επένδυση της σήραγγας που βρίσκεται πίσω από το μηχανήμα και εν συνεχεία το ωθούν προς την αντίθετη κατεύθυνση.



Η κοπτική κεφαλή περιστρέφεται με γωνιακές ταχύτητες από 1 έως και 10rpm. Η ταχύτητα περιστροφής καθορίζεται από τις γεωλογικές συνθήκες και από τις δυνατότητες του μηχανήματος. Ανάλογα με τη γεωλογία μπορεί η σήραγγα να υποστηριχθεί ή να αφηθεί ανυποστήρικτη. Η τοποθέτηση των αρχικών στοιχείων υποστήριξης μιας σήραγγας, συνήθως περιλαμβάνει τις ακόλουθες διαδικασίες :

- 1) Ενίσχυση με τις κατάλληλες αγκυρώσεις ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες
- 2) Εισαγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος, χρήση εκτοξευόμενου ή εμποτισμένου με ίνες.
- 3) Χρήση μεταλλικών πλεγμάτων.
- 4) Ενίσχυση με τη χρήση πλευρικών χαλύβων.

Η κοπή του πετρώματος επιτυγχάνεται με τη βοήθεια κυκλικών δίσκων, οι οποίοι βρίσκονται πάνω από τη κοπτική κεφαλή, που περιστρέφεται ταυτόχρονα και ωθείται επί του μετώπου.

Στη περίπτωση της κατασκευής της σήραγγας του Gotthard εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας των διαφορετικών γεωλογικών συνθηκών κατά μήκος της σήραγγας, ήταν απαραίτητη η χρήση πολλών διαφορετικών ειδών TBM. Χρησιμοποιήθηκαν: Gripper TBM, Earth pressure Balance Shield και αρκετά ακόμα. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι δυνατότητες και οι χρήσεις των μηχανών που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

4.3 Slurry shield TBM (μηχανήματα ολομέτωπης κοπής πολφού-ύδατος)

Το μίγμα μπετονίτη- εδάφους μεταφέρεται υδραυλικά μέσω ενός σωλήνα. Το ρευστό και το στερεό του μίγματος διαχωρίζονται από ένα διαχωριστή που βρίσκεται εκτός της σήραγγας. Αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου το έδαφος περιβάλλει την εκσκαφή και το μέτωπο πρέπει να στηρίζεται, αλλά και σε περιπτώσεις που υπάρχει έδαφος με μεγάλη υδατοπερατότητα και πρέπει να αποφευχθεί η εισροή ύδατος.



Slurry Shield TBM



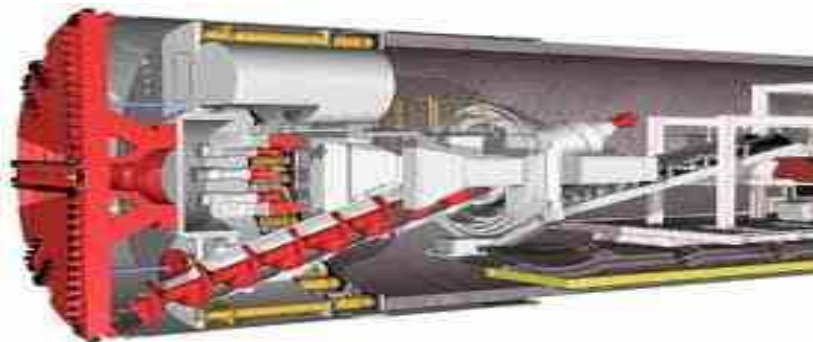
Σχηματική Διάταξη (ολομέτωπης κοπής πολφού ύδατος)

4.4 Earth pressure Balance Shield TBM (TBM με ασπίδες ισορροπίας πίεσης γαιών)

Στην ασπίδα ισορροπίας γαιών, το μέτωπο συγκρατείται με τη χρήση του εξορυγμένου εδάφους ή πετρώματος, που έχουν λάβει τη μορφή λάσπης. Η λάσπη αυτή σχηματίζεται με τη βοήθεια των κοπτικών εργαλείων και των εργαλείων ανάμιξης στο μέτωπο και στο θάλαμο εκσκαφής και με τη βοήθεια υγρών ή αφρωδών μέσων. Ο θάλαμος αυτός είναι διαχωρισμένος από την υπόλοιπη σήραγγα με τη χρήση ειδικών στεγανών διαφραγμάτων. Το εδαφικό υλικό απομακρύνεται από το μέτωπο με τη χρήση κοπτικών που είναι προσαρμοσμένες στη κεφαλή και στη συνέχεια με ειδικούς κοχλίες απομακρύνονται από το μέτωπο.



Earth pressure Balance Shield



Σχηματική Αναπαράσταση (earth pressure shield)

4.5 Gripper TBM

Ένα Gripper TBM είναι κατάλληλο για εξόρυξη βραχομαζών όπου η ευστάθεια του μετώπου και του ανυποστήλωτου, τμήματος της σήραγγας μπορεί να επιτευχθεί προσωρινά με μέσα υποστύλωσης, όπως κοχλίες, μεταλλικά πλαίσια, και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το gripper TBM αποτελείται από 4 σύνολα υποστυλωμάτων.

- 1) Σύστημα διάτρησης
- 2) Σύστημα πλευρικής διάτρησης, και σύστημα bracing
- 3) Σύστημα υποστύλωσης και τοποθέτησης χαλύβδινων δακτυλίων
- 4) Σύστημα μεταφορικής ταινίας



4.6 Partial Face excavation Shields

Τα συγκεκριμένα μηχανήματα έχουν άριστα αποτελέσματα σε ένα μεγάλο φάσμα γεωμορφολογικών συνθηκών, και σε ποικίλες διαμέτρους σήραγγων. Με βάση της επικρατούσες συνθήκες ο γενικός εκσκαφέας (universal digger), μπορεί να αντικατασταθεί από ένα φτυάρι εκσκαφής, από ένα δόντι κάδων ή από ένα υδραυλικό σφυρί, ενώ η αντικατάσταση τους είναι αρκετά γρήγορη και εύκολη. Τα προϊόντα εκσκαφής απομακρύνονται με τη βοήθεια ιμάντων, ενώ είναι πολύ σημαντικό ότι οι συγκεκριμένες ασπίδες είναι οικονομικές στην εγκατάσταση τους και ακόμα περισσότερο οικονομικές στις λειτουργία τους.



Partial face excavation machine

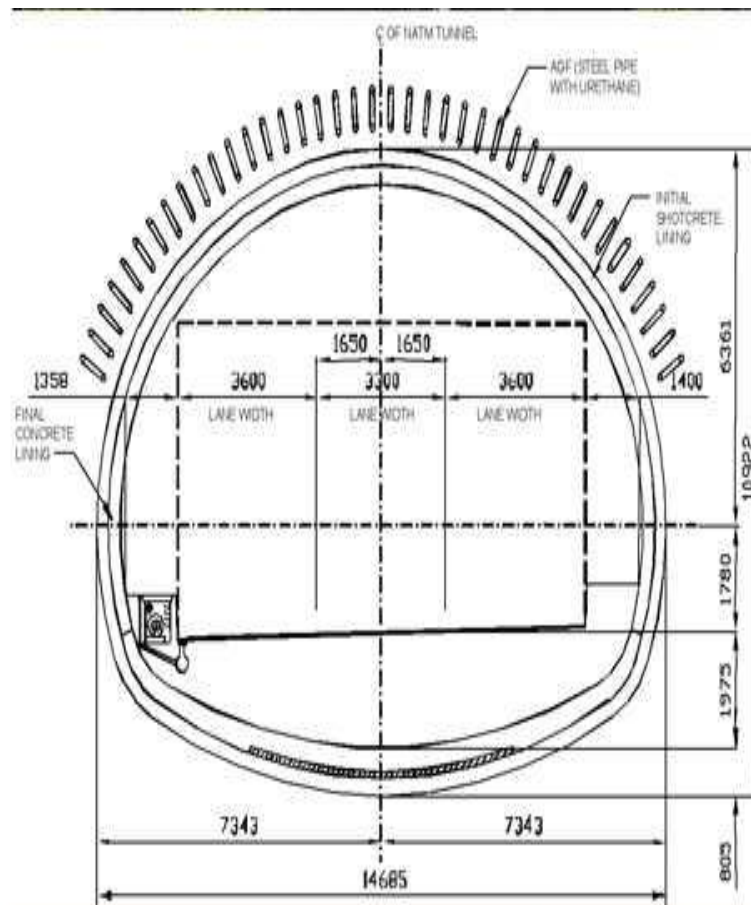
Γενικά οι μηχανές ολομέτωπης κοπής (tunnel boring machines) επιτρέπουν ακόμα και διπλάσια ποσοστά σε σχέση με τη συμβατική σήραγγοποιία. Χρησιμοποιούνται για μεγάλου μήκους σήραγγες, με σταθερή διατομή και καλή πρόσβαση. Κάτω από αυτούς τους όρους, κρίθηκε αναγκαία η χρήση τους στη κατασκευή της σήραγγας του Gotthard, σε ποσοστό σχεδόν

93%, η οποία έχει μήκος 57km, σταθερή διατομή ενώ οι προσβάσεις είχαν διαμορφωθεί ώστε να μπορούν να μεταφέρονται όσο το δυνατόν πιο ανώδυνα.

Τέλος η επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες είναι στις ευθύνες των μηχανικών οι οποίοι στοχεύουν πάντα σε μια ασφαλή και οικονομική λύση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΝΑΤΜ



5.1 Γενικά

Η μέθοδος υπόγειας διάνοιξης σηράγγων με συμβατικά μέσα όπως (έχει επικρατήσει διεθνώς να αποκαλείται NATM ή Νέα Αυστριακή μέθοδος), είναι η δεύτερη κατασκευαστική διαδικασία που εφαρμόζεται διεθνώς για τη κατασκευή σηράγγων με υπόγεια μέθοδο διάνοιξης. Ουσιαστικά δεν αποτελεί μια μέθοδο αλλά αποτελείται από ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης των σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά, κατά τη διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές τις δεκαετίας του 1960.

Αν και δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτός ορισμός της μεθόδου «NATM», ο όρος συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διάνοιξη σηράγγων με εκτεθειμένο το μέτωπο της εκσκαφής (δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα) και υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα(απλό η οπλισμένο) ή/και αγκύρια βράχου.

5.2 Μέτρα βελτίωσης ευστάθειας του μετώπου

Η συμβατική σηραγγοποιία είναι η μέθοδος κατασκευής υπόγειων ανοιγμάτων οποιασδήποτε μορφής, η οποία συμπεριλαμβάνει μια κυκλική κατασκευή. Η βασική αρχή της συμβατικής σηραγγοποιίας αναφέρει ότι η διάνοιξη, η κατασκευή, αλλά και η υποστήριξη της σήραγγας πρέπει να γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ενεργοποιηθεί η αντοχή της περιβάλλουσας βραχώμαζας σε τέτοιο βαθμό ώστε να μειωθούν σε αρκετό βαθμό οι πιέσεις επί της περιβάλλουσας, αλλά όχι σε τέτοιο βαθμό ώστε να προκληθεί αναδιοργάνωση της βραχώμαζας, με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων, στην άμεση υποστήριξη και τελικώς τη κατάρρευση του μετώπου της σήραγγας. Οι ενέργειες που ακολουθούνται είναι :

- 1) Εκσκαφή με χρήση διατρητικών μηχανημάτων, εκρηκτικών υλών ή μηχανικούς εκσκαφείς
- 2) Απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής
- 3) Τοποθέτηση των αρχικών στοιχείων υποστήριξης όπως
 - I. Χαλύβδινες νευρώσεις που τοποθετούνται κατά τη διατομή της σήραγγας και μπορεί να έχουν τη μορφή τυποποιημένων διατομών, δικτυωτών πλαισίων και συστοιχιών χαλύβδινων ράβδων οπλισμού
 - II. Διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς τη κατακόρυφο
 - III. Ενίσχυση της οροφής με ράβδους ή δοκούς προπορείας (fire polling)
 - IV. Αγκύρια, τα οποία διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, προεντεταμένα και τα παθητικά
 - V. Μεταλλικά πλέγματα
 - VI. Χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος το οποίο μπορεί να είναι είτε ξηρό είτε υγρό μίγμα του οποίου η ανάμειξη με νερό να γίνεται στον αναδευτήρα. Επίσης η αντοχή και η πλαστιμότητα μπορούν να ενισχυθούν με τη προσθήκη μεταλλικών ινών.



Εργασίες αγκύρωσης πετρώματος

Όπως είδη έχει αναφερθεί βασική αρχή της μεθόδου είναι να διατηρηθεί η αντοχή του περιβάλλοντος στη σήραγγα εδάφους και να γίνει πλήρης αξιοποίηση της. Ελεγχόμενη παραμόρφωση του εδάφους, παρουσία εύκαμπτης υποστήριξης έχει ως αποτέλεσμα την εύκαμπτη ανάπτυξη της αντοχής του. Γενικά για να είναι ασφαλής η διαδικασία θα πρέπει να τηρούνται όλες οι διαδικασίες που προβλέπουν γεωτεχνική και γεωμετρική μελέτη, υπολογισμοί και σχέδια των προσωρινών μέτρων υποστήριξης, τοποθέτηση των συστημάτων αντιστήριξης. Φυσικά καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής θα πρέπει να γίνονται συστηματικές μετρήσεις για την ανίχνευση της συμπεριφοράς του εδάφους.

5.3 Ο εξοπλισμός της μεθόδου

Οι συμβατικές μέθοδοι χρησιμοποιούν κυρίως ένα συγκεκριμένο εξοπλισμό επιτρέποντας τη πρόσβαση στο μέτωπο της εκσκαφής οποτεδήποτε. Είναι πολύ ευέλικτες σε περιπτώσεις που απαιτείται κάποια τροποποίηση στη στατική ανάλυση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή στα μέτρα υποστήριξης όποτε και όπου κριθεί απαραίτητο

Ο βασικός εξοπλισμός της συμβατικής σήραγγοποιίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα μηχανήματα:

- 1) Μηχανήματα διάτρησης με σκοπό την διάτρηση, την ανατίναξη αλλά και την αγκύρωση βράχων και την απελευθέρωση νερού και πίεσης
- 2) “Road header” οι εκσκαφείς σε περιπτώσεις όπου η ανατίναξη είναι αδύνατη και αντισυμβατική
- 3) Ανυψούμενη πλατφόρμα για να μπορούν οι μεταλλωρύχοι να φτάνουν κάθε σημείο της σήραγγας
- 4) Ανυψωτικός εξοπλισμός για τους χάλυβες
- 5) Φορτωτές και η εκσκαφείς για τη φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής σε φορτηγά για την απομάκρυνσή τους.
- 6) Ομάδα χειριστών για την διαδικασία σκυροδέτησης υγρού η ξηρού σκυροδέματος



Road header



Road header κατά τη διάρκεια εργασιών

5.4 Πλεονεκτήματα χρήσης του κατάλληλου εξοπλισμού

Χρησιμοποιώντας τον ανωτέρω εξοπλισμό, οι ακόλουθες αλλαγές μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα, και να διαφοροποιηθούν κατά τη

διάρκεια της κατασκευής αν παρουσιαστούν μεταβολές στις εδαφικές συνθήκες ή αν τα αποτελέσματα ελέγχου οδηγήσουν σε αυτή τη κατεύθυνση

1. Αύξηση ή ελάττωση της υποστήριξης (πάχος του σκυροδέματος, ποσότητα των αγκυρώσεων, διαστήματα και διαστάσεις των ράβδων, είδος σκυροδέματος που θα εφαρμοστεί
2. Αλλαγές στο χρόνο έναρξης και λήξης των εργασιών όπως (ο χρόνος μεταξύ της εκσκαφής ενός τομέα και της υποστήριξης της σήραγγας)
3. Εισαγωγή του αρχικού δακτυλίου υποστήριξης
4. Παραλλαγές στην εκρηκτική ύλη ή στην ακολουθία των πυροκροτητών

Επίσης προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες. Συνεπώς δύσκολα μπορεί να αποτύχει ακόμα και στη περίπτωση που οι παραδοχές της μελέτης διαφέρουν σημαντικά από τις επιτόπου συνθήκες.

1. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής.
2. Μερική ανασκαφή με διαχωρισμό του μετώπου εκσκαφής, με ανεστραμμένα στάδια εκσκαφής ή ακόμα παραπάνω με προσωρινές στοές

Πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM

Η συμβατική σήραγγοποιία επιτρέπει:

- 1) Μεγάλη ποικιλία μορφών
- 2) Καλή γνώση των εδαφικών συνθηκών με συστηματικές διερευνητικές διατρήσεις στο μέτωπο της σήραγγας.
- 3) Μεγάλο φάσμα στην επιλογή της μεθόδου εκσκαφής ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες
- 4) Ευκολότερη στεγάνωση της σήραγγας με συνθετική μεμβράνη.
- 5) Βελτιστοποίηση της αρχικής υποστήριξης με παρατηρητικές μεθόδους

- 6) Πληθώρα επιλογών στις βοηθητικές κατασκευαστικές μεθόδους ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες
- 7) Μια σχετικά μικρή οικονομική επένδυση αλλά μεγάλο κόστος προσωπικού.

Η συμβατική σήραγγοποιία είναι κατάλληλη ειδικά για:

1. Δύσκολες με μεγάλες παραλλαγές στις εδαφικές συνθήκες
2. Διατομές μεγάλου μεγέθους
3. Εργασίες στις οποίες ελέγχεται καλύτερα το μέτωπο εκσκαφής σε περιπτώσεις αστάθειας λόγω έντονης εισροής νερού.
4. Ομογενείς γεωτεχνικές συνθήκες, επιταχύνοντας τη διάνοιξη.
5. Μικρές σήραγγες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ



6.1 Γενικά

Η ασφάλεια όλων των εργαζομένων αποτελεί την ύψηστη προτεραιότητα για την ανάδοχο του έργου. Αυτή ήταν και η αιτία που κατά τη διαδικασία υποβολής των προσφορών, η ασφάλεια αποτέλεσε βασικό θέμα στο τραπέζι των διαπραγματεύσεων. Είναι χαρακτηριστικό ότι η Ελβετική κυβέρνηση προχώρησε ακόμα και σε νομοθετικές μεταρρυθμίσεις προκειμένου να αυστηροποιηθούν οι ποινές σε περίπτωση ατυχήματος, με αποτέλεσμα να αυξηθεί πολύ ο συντελεστής ασφαλείας των εργασιών.

Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα πολλοί μεταλλωρύχοι έχασαν τη ζωή τους κατά τη κατασκευή των σιηράγγων του Saint Gotthard και του Frejus. Ορισμένες από τις αιτίες ήταν οι καταπτώσεις βράχων εξαιτίας της αστοχίας στο μέτωπο της εκσκαφής ή από την ξαφνική εισροή νερού. Επίσης πολλοί εργαζόμενοι προσβλήθηκαν από τη νόσο της πυριτίωσης, μια ανίατη ασθένεια των πνευμόνων που προκαλείται από την εισροή σκόνης χαλαζία. Πολλοί ήταν εκείνοι που ακρωτηριάστηκαν εξαιτίας των ελλειπών μέτρων προστασίας κατά τη διάρκεια των ανατινάξεων .

Ευτυχώς αυτές οι μέρες έχουν παρέλθει. Πλέον τα συστήματα ψύξης και εξαερισμού έχουν δώσει πολύ μεγάλη σημασία σε θέματα υγείας και ασφάλειας. Αυτή συνεχώς γίνεται όλο και μεγαλύτερη όσο αυξάνεται ο αριθμός των προοληπτικών μέτρων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Όπως είδη προαναφέρθηκε η ασφάλεια των εργαζομένων αποτελεί βασικό στόχο της κατασκευάστριας εταιρίας. Φυσικά όλες αυτές οι διατάξεις ελέγχονται και εκτελούνται στα εργοτάξια στα εργοτάξια του έργου σε συνεργασία με το Ελβετικό ταμείο Ασφάλισης Ατυχημάτων (Suva).

6.2 Εξαερισμός

Η εγκατάσταση ενός ολοκληρωμένου συστήματος εξαερισμού αποτελεί βασικό παράγοντα υγιεινής και ασφάλειας καθώς απομακρύνει τους ρύπους που δημιουργούνται από την ανατίναξη των πετρωμάτων και των προϊόντων εκσκαφής. Ο εξαερισμός μιας σήραγγας είναι απαραίτητος, ανεξάρτητα από το βάθος και το μήκος της. Βέβαια οι μεγάλες σήραγγες, όπως του Gotthard έχουν ορισμένα προβλήματα σε αυτή τη διαδικασία καθώς ο εξαερισμός πρέπει να παρέχετε σε αποστάσεις 30 έως και 50 μέτρων από το μέτωπο της εκσκαφής. Επίσης σε σήραγγες στις οποίες υπάρχουν διασταυρώσεις, αυτό το σύστημα πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλα , ώστε να εξαερίζονται κατάλληλα όλοι οι εργασιακοί χώροι. Η ταχύτητα του αέρα στο χώρο της σήραγγας πρέπει να κυμαίνεται από 0,5- 1,5 m/s. Η συγκέντρωση σκόνης στο χώρο εργασίας μπορεί να μειωθεί ψεκάζοντας με νερό τη περιοχή που πρόκυπτε να γίνουν εργασίες. Βέβαια ο εξαερισμός καθορίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη χρήση πετρελαιοκίνητων μηχανών και από τις τοπικές γεωμορφολογικές συνθήκες.



Διαμόρφωση συστήματος εξαερισμού



Αγωγός εξαερισμού



Ψεκασμός με νερό στη περιοχή εργασίας

6.3 Ψύξη του χώρου εργασίας.

Η θερμοκρασία του εδάφους γίνεται μεγαλύτερη με την αύξηση του βάθους. Δεδομένου ότι η σήραγγα του Gotthard βρίσκεται σε βάθος 2000m οι θερμοκρασίες κυμαίνονταν στους 45 °C. Επίσης μεγάλη θερμότητα παράγεται και από τη λειτουργία των μηχανών στο μέτωπο της εκσκαφής. Θα ήταν επομένως εξαιρετικά επώδυνο ως αλλά και επικίνδυνη για την υγεία των μεταλλωρύχων η εργασία κάτω από αυτές τις συνθήκες. Για το λόγο αυτό πάρθηκαν ειδικά μέτρα προκειμένου να μειωθεί η θερμοκρασία. Αρχικά ένα ποσοστό θερμότητας απομακρύνεται μέσω του συστήματος εξαερισμού της σήραγγας. Όμως αυτή η μείωση δεν ήταν ικανή για να καλύψει τις απαιτήσεις της Ελβετικής νομοθεσίας. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό,

εγκαταστάθηκε ένα ειδικό σύστημα ψύξης στο μέτωπο της σήραγγας. Αυτό αποτελείται από σωλήνες μέσα στους οποίους κυκλοφορεί νερό και αποβάλλεται από αυτό υπό τη μορφή ψυχρού αέρα. Με αυτή τη διαδικασία η θερμοκρασία μπορεί να πέσει ακόμα και στους 28 °C.

6.4 Φυσικό Αέριο

Ένας άλλος πολύ μεγάλος κίνδυνος κατά τη διάρκεια της διάνοιξης μιας σήραγγας που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά ατυχήματα είναι η παρουσία φυσικού αερίου. Το συγκεκριμένο αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4), αιθάνιο (C_2H_6), προπάνιο (C_3H_8) και βουτάνιο (C_4H_{10}). Βρίσκεται υπό πίεση σε υπόγειες εδαφικές κοιλότητες και είναι εξαιρετικά εκρηκτικό. Για να ελεγχθεί αυτή η απειλή τοποθετούνται στο μέτωπο της σήραγγας ειδικοί αισθητήρες που παρακολουθούνται συνεχώς και ειδοποιούν αν οι συγκεντρώσεις υπερβούν τις επιτρεπόμενες τιμές.

6.5 Ηχομόνωση

Ειδική μέριμνα θα πρέπει επίσης να δοθεί και για το περιορισμό του θορύβου στους χώρους της εργασίας. Είναι ένα σημαντικό πρόβλημα που τα αποτελέσματά του γίνονται ορατά με τη πάροδο των χρόνων. Μετά από μια μακρόχρονη έκθεση σε υψηλές εντάσεις εκτός από την ακοή προβλήματα μπορεί να παρουσιαστούν και στο καρδιαγγειακό σύστημα. Για το περιορισμό του θορύβου λαμβάνονται ειδικά μέτρα όπως

- 1) Τακτική συντήρηση των μηχανών
- 2) Τοποθέτηση ηχοαπορροφητικών υλικών και ειδικών συστημάτων στα σημεία εισαγωγής αέρα στις μηχανές
- 3) Τοποθέτηση ειδικής βάσης απόσβεσης ταλαντώσεων

- 4) Αν η μηχανή περιλαμβάνει ιμάντα μεγάλου πλάτους αυτός μπορεί να αντικατασταθεί , με πολλούς στενούς.



Ηχομονωτικό Υλικό



Αντικραδασμική Βάση

Σε πολλές χώρες έχει ψηφιστεί νομοθεσία που καθιερώνει μέγιστες επιτρεπόμενες εντάσεις θορύβου σε dB(A). Οι επικρατέστερες τιμές στον Ευρωπαϊκό χώρο είναι

Ένταση Θορύβου	Ημερήσια έκθεση
90dB	8 ώρες
93dB	4 ώρες
96dB	2 ώρες
99dB	1 ώρα
102dB	30' της ώρας

6.6 Καθαριότητα χώρων εργασίας

Σημαντικό παράγοντα ασφαλείας αποτελεί και η καθαριότητα στο χώρο εργασίας. Όταν δεν υπάρχει τάξη και καθαριότητα υπάρχει σοβαρός κίνδυνος ατυχήματος. Είναι πιθανό να προκληθεί πυρκαγιά αν υπάρχουν εγκαταλελειμμένες εύφλεκτες ουσίες. Επομένως είναι πολύ σημαντικός ο τακτικός καθαρισμός των χώρων και των μηχανημάτων εργασίας.



Οργάνωση υλικών σε διάβαση στο Sedrun

6.7 Μέτρα για την ασφάλεια των εργαζομένων και μετέπειτα των επιβατών.

Ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να είναι δυνατές οι επιχειρήσεις διάσωσης αλλά και η εκκένωση από τους επιβάτες. Το σχέδιο ασφαλείας των σιδηροδρομικών σηράγγων πρέπει να είναι διαμορφωμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε:

- 1) Να διευκολύνει τη διάσωση και την εκκένωση των επιβατών και του προσωπικού από τις αμαξοστοιχίες
- 2) Να επιτρέπει στις ομάδες διάσωσης να δράσουν άμεσα



Εκσκαφή διάβασης στο Sedrun

Οι ελάχιστες απαιτήσεις είναι:

- 1) Για σήραγγες μονής κατεύθυνσης, η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ελεύθερων εξόδων καπνού θα πρέπει να είναι περίπου στα 1000m.

- 2) Για σήραγγες διπλής κατεύθυνσης θα πρέπει να υπάρχουν διαβάσεις μεταξύ τους κάθε 500m
- 3) Οποιοδήποτε άλλο σύστημα θα πρέπει να παρέχει τα ίδια επίπεδα ασφαλείας.

Οι οδοί διαφυγής (διαβάσεις) θα πρέπει να είναι εξοπλισμένοι με χειρολισθήρες (κουπαστή) τουλάχιστον στη μια πλευρά και στις διπλής κατεύθυνσης και στις δυο μεριές της σήραγγας. Το πλάτος αυτών των διαβάσεων πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,75m. Επίσης το ελάχιστο ύψος πάνω από τη διάβαση θα πρέπει να είναι 2,25m. Επιπλέον θα πρέπει να αποφεύγονται οι τοπικές στενώσεις που προκαλούνται στις εξόδους διαφυγής.

Για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής ασφάλειας αλλά και την ευαισθητοποίηση όλων των εμπλεκόμενων φορέων η ανάδοχος εταιρία(Alp Transit Gotthard Ltd), σε συνεργασία με το αρμόδιο υπουργείο, αλλά και διάφορους άλλους οργανισμούς προχώρησε σε εκστρατεία ενημέρωσης, για τη σωστή πρόληψη κατά των κινδύνων, σε πολλά εργοτάξια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ



7.1 Γενικά στοιχεία

Η ρύπανση του περιβάλλοντος, αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης, ιδιαίτερα μετά τη βιομηχανική επανάσταση. Κατά μια έννοια είναι οποιαδήποτε προσθήκη ενός υλικού στην ατμόσφαιρα που μας περιβάλλει και προκαλεί δηλητηρίαση της ζωής. Το υλικό αυτό μπορεί να είναι διαφόρων μορφών και να επιφέρει μακροχρόνια αρνητικά αποτελέσματα, τα οποία μπορεί να μην είναι άμεσα ορατά. Ένας όμως ατμοσφαιρικός ρύπος δεν είναι απαραίτητα ανθυγιεινός, καθώς μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα σε κάποιους ζώντες οργανισμούς. Όμως επειδή κατά βάση αποτελεί ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει μεγάλα βήματα προόδου, για τη λήψη μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος.

7.2 Καθορισμός μέτρων προστασίας

Η λήψη μέτρων για τη προστασία του περιβάλλοντος και η τήρηση τους αποτέλεσε έναν από τους βασικότερους προβληματισμούς της κατασκευάστριας εταιρίας. Για να είναι αποτελεσματικότερη η εφαρμογή των μέτρων η ελβετική κυβέρνηση όρισε μια ομάδα επιστημόνων, η οποία ήταν υπεύθυνη για την εφαρμογή τη, τη τήρηση αλλά και τη παρακολούθηση των εργασιών.

Τα μέτρα για τη προστασία του περιβάλλοντος είχαν καθοριστεί από την ελβετική κυβέρνηση κατά τη διαδικασία έγκρισης της κατασκευής της σήραγγας. Για την σωστή εφαρμογή αυτών των μέτρων έχουν οριστεί ειδικευμένοι επιστήμονες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για μια συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης το ίδιο άτομο είναι υπεύθυνο να αποφασίσει, ποια μέτρα θα πρέπει να εφαρμοστούν προκειμένου να μην υπάρξει μια δυνητική επιβάρυνση του περιβάλλοντος

Οι αρμόδιοι φορείς και η Ελβετική κυβέρνηση έχει την υποχρέωση να ενημερώνει το πληθυσμό της χώρας, για τη πρόοδο των εργασιών αλλά και τους

περιβαλλοντολογικούς ελέγχους που γίνονται στα επί μέρους εργοτάξια. Τα αποτελέσματα αυτά κοινοποιούνται μέσω δημοσιεύσεων σε περιοδικά και ανακοινώσεων στους τηλεοπτικούς σταθμούς. Όπως είναι φυσικό σε όλη τη διάρκεια των εργασιών χρησιμοποιήθηκε ένα μεγάλο φάσμα μέτρων. Για παράδειγμα για το περιορισμό της ηχορύπανσης έγιναν αρκετές φορές προσωρινές επιχωματώσεις , ενώ σκοπίμως τίθονταν εκτός λειτουργίας μηχανήματα ακόμα και για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

7.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Πολύ σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία θα πρέπει να διατηρείται σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα. Ως ατμοσφαιρική ρύπανση αποκαλείται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων σε συγκέντρωση τέτοια, ώστε να προκαλείται αλλοίωση της σύστασης και της δομής της. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, τους ζωντανούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα. Για αυτούς τους λόγους η Alp Transit Gotthard, πήρε την απόφαση να εφοδιάσει, όλα τα εργοταξιακά μηχανήματα με φίλτρα απορρόφησης σωματιδίων και οι μηχανές εφοδιάστηκαν με καταλυτικούς μετατροπείς.

7.4 Προστασία υδροφόρου ορίζοντα

Η πιθανότητα μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα προβλημάτισε πάρα πολύ την κυβέρνηση και την ανάδοχο του έργου. Η μόλυνση που μπορεί να είναι χημική, τοξική, ενεργειακή κτλ. Η μόλυνση εμποδίζει τη κανονική χρήση των υδάτων και στη περίπτωση της σήραγγας του Gotthard μια τέτοια περίπτωση ήταν πολύ πιθανή εξαιτίας του μεγάλου βάθους του έργου, της χρήσης πολλών και διαφορετικών ρυπογόνων στοιχείων. Για να μειωθεί στο ελάχιστο αυτή η περίπτωση, κατασκευάστηκαν στη διαδρομή του έργου μερικές εγκαταστάσεις με τα πιο σύγχρονα συστήματα καθαρισμού και ανακύκλωσης

του νερού, προκειμένου να διασφαλιστεί στο ελάχιστο, ότι δεν θα μολυνθεί ο υδροφόρος ορίζοντας . Η παρακολούθηση όπως είναι φυσικό είναι συνεχής ενώ αμέσως καθώς το νερό θα επιστρέφοντας στους ταμιευτήρες του, θα επαναχρησιμοποιηθεί ξανά για τις ανάγκες των ανθρώπων, και μια μόλυνση θα μπορούσε να έχει πολύ αρνητικά αποτελέσματα, για ολόκληρο το οικοσύστημα της περιοχής.



Μονάδα ελέγχου του νερού

7.5 Επηρεασμός του φυσικού ανάγλυφου της περιοχής

Όπως είναι φυσικό η επιφάνεια του εδάφους κατά μήκος της διαδρομής του έργου έχει μεταβληθεί. Προκειμένου να διασφαλιστεί η ελάχιστη δυνατή μεταβολή του φυσικού περιβάλλοντος, σχεδιάστηκαν συγκεκριμένες κατευθυντήριες. Βέβαια είναι αδύνατο να μην επηρεαστεί το φυτικό και ζωικό βασίλειο, αλλά και η ζωή των ανθρώπων από τις κατασκευαστικές εργασίες. Σε ορισμένες περιπτώσεις επηρεάζεται προσωρινά ενώ σε άλλες μόνιμα. Στη περίπτωση που επηρεάζονται προσωρινά τα μέτρα αντιμετώπισης είναι προγραμματισμένα ενώ στη περίπτωση που η χρήση της Γης θα αλλάξει, οι αποζημιώσεις είχαν δοθεί πριν από την έναρξη των εργασιών.

7.6 Θέσπιση νόμων για τη προστασία του περιβάλλοντος

Προκειμένου επίσης να διασφαλισθεί η συμμόρφωση της κατασκευάστριας εταιρείας, στις περιβαλλοντικές συνθήκες, η Ελβετική κυβέρνηση υποχρέωσε τη κατασκευάστρια εταιρία να ακολουθήσει τις επιταγές των περιβαλλοντικών κανόνων που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Κάποιες από αυτές είναι :

- 1) **Περιβαλλοντική ευθύνη(Environmental Liability)** που αφορά την πρόληψη και αποκατάσταση της περιβαλλοντικής ζημίας.
- 2) **Η οδηγία IPPC** με σκοπό τον ολοκληρωμένο έλεγχο και πρόληψη της ρύπανσης.
- 3) **Η οδηγία SEVESO** που αφορά το καθορισμό μέτρων για τη πρόληψη από ατυχήματα μεγάλης έκτασης, λόγω της ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών.

Υπό τη πίεση της νομοθεσίας αλλά και γενικότερα της κοινής γνώμης και με γνώμονα το σεβασμό προς το περιβάλλον, η AlpTransit Gotthard, έλαβε τα μέγιστα μέτρα ασφαλείας, ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο ο κίνδυνος ενός περιβαλλοντικού ατυχήματος. Σαφώς η περιβαλλοντική νομοθεσία τηρήθηκε στον απόλυτο βαθμό. Το βέβαιο είναι ότι η θέσπιση νέων νόμων για τη προστασία του περιβάλλοντος, θα υποχρεώσει τις κατασκευαστικές εταιρείες να λαμβάνουν όλο και μεγαλύτερα μέτρα ασφαλείας, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των περιβαλλοντικής μόλυνσης που μαστίζει το πλανήτη μας.

8. Παράρτημα εικόνων



Εργοστάσιο στο Amsteg



Μετρήσεις σε διάβαση στο Sedrun



Εργασίες με drilling Jumbo στο Faido



Εισαγωγή χαλύβδινων πλεγμάτων στο Faido



Ιμάντες για μεταφορά υλικών στο Sedrun



Διάνοξη στο Amsteg



Διάνοιξη από το Bodio στο Faido



Gotthard tunnel



Εργοταξιακή μονάδα στο Faido



Σημείο παρεκτροπής της κατεύθυνσης των τρένων(διακρίνεται το σήμα της Stop risk-εταιρία προστασίας)



Εργασίες στη σήραγγα Βάσης του Gotthard



Τοποθέτηση μεταλλικών πλεγμάτων στο Bodio



Εργοτάξιο στο Bodio



Σύστημα εξαερισμού στο Gotthard



Εργασίες υποστήριξης στη σήραγγα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Heinz Ehbar,(2009) Gotthard Base Tunnel, Switzerland - Experiences with different tunneling methods,
2. ITA, Report April 2010, Long tunnels at great depth
3. The New Gotthard rail link, AlpTransit
4. Δρ. Ε.Βγενοπούλου, Συμπληρωματικές σημειώσεις για το μάθημα μηχανική πετρωμάτων – σήραγγες.
5. Χρήστος Ν. Μαραγκός, (2009) Κατασκευές στην επιφάνεια του βράχου – υπόγειες κατασκευές και φράγματα
6. Π. Ανδρεάδης – Γ. Παπαϊωάννου, (2009), Υγιεινή και ασφάλεια εργαζομένου
7. Γ. Εξαδάκτυλος – Μ. Σταυροπούλου, Κατασκευή και μηχανική των σηράγγων και των υπόγειων έργων, Πολυτεχνείο Κρήτης-Χάνια (2006)
8. Μ. Καββαδάς, Μηχανική και διάνοιξη σηράγγων,
9. Α. Φράγκος,(2009), Κατασκευή σηράγγων σε θαλάσσιο περιβάλλον, μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο πολυτεχνείο)
10. Κυριακή Τσοχατζή- Φολίνα(2006) English terminology in civil engineering infrastructure works, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Θεσσαλονίκης