

CONSTRUCȚII SUBTERANE

Prof. Univ. Dr. Ing. Teodor IFTIMIE

UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI

TEODOR IFTIMIE

TUNELURI

PARTEA I

ELEMENTE INTRODUCTIVE

1997 -2009

Prezenta lucrare contine prima parte a prelegerilor tinute la Facultatea de Cai Ferate Drumuri si Poduri, in cadrul cursului de Tuneluri si Metropolitane, la anul V ingineri zi si VI ingineri seral, intre anii 1990 - 1996 si in cadrul cursului „Proiectarea, executia si exploatarea constructiilor subterane”, la anul VI studii aprofundate, intre anii 1995 – 1996 și completată în anul 2009 pentru cursul Construcții Subterane de la anul 4.

CUPRINS

1.Introducere	4
1.1 Specific. Scurt Istoric. Clasificări	4
1.2 Utilizarea spațiului subteran	9
1.3 Evaluarea construcțiilor subterane	16
2. Tuneluri. Elemente generale	18
2.1 Definiție și clasificare	18
2.2 Tuneluri pentru cai de comunicație	18
2.2.1. Clasificare după destinație	18
2.2.2. Clasificare după locul unde se construiesc	12
2.2.3. Clasificare după modul de dezvoltare în plan de situație și poziția în profil în lung și profile transversale	14
2.3. Tuneluri pentru transport (galerii)	16
2.3.1. Tuneluri (galerii) pentru amenajări hidroelectrice	16
2.3.2. Tuneluri pentru aducțiunea apei (apeducte)	17
2.3.3. Tuneluri (galerii) edilitare	17
2.4. Elementele caracteristice ale unui tunel	18
2.4.1. Elemente caracteristice în plan de situație și profil în lung	18
2.4.2. Secțiunea transversală a tunelurilor	19
2.4.2.1. Alegerea formei și dimensiunilor secțiunii transversale	19
2.4.3. Sisteme de captuseli - soluții constructive	28
2.4.3.1. Sisteme cu o singură captuseală	28
2.4.3.2. Sisteme cu două captuseli	29
2.5. Elemente generale pentru proiectarea unui tunel	30
2.5.1. Procedura generală a proiectării unui tunel	30
2.5.2. Studii preliminare necesare proiectării unui tunel	34
2.5.2.1. Studiul traseului unui tunel	34
2.5.2.2. Studii economice	35
2.5.2.3. Studii geologice, hidrogeologice și geotehnice	37
2.5.2.3.1. Studii geologice	39
2.5.2.3.2. Studii hidrogeologice	44
2.5.2.3.3. Studii geotehnice	45
2.5.3. Clasificarea masivelor de roci și predimensionarea tunelurilor	50
2.6. Trasarea tunelurilor	58
2.6.1. Trasarea axei tunelului în exterior	58
2.6.2. Trasarea axei tunelului în subteran în timpul execuției	61
Bibliografie	66

CAP. 1. INTRODUCERE

1.1. Specific. Scurt istoric. Utilizarea spațiului subteran. Clasificări

Construcțiile subterane reprezintă o grupă aparte din domeniul general al construcțiilor. O construcție subterană poate fi considerată ca opusul unei construcții de suprafață, datorită următoarelor trăsături specifice:

- majoritatea constructorilor, assemblează, montează plecând de la elemente componente, pe când tunelistii extrag, în principal, pornind de la un mediu continuu, dar deosebit de eterogen;

- majoritatea constructorilor utilizează materiale cunoscute, selectate, testate, pe când tunelistii au drept principal material terenul, de cele mai multe ori puțin cunoscut;

- la construcțiile de suprafață se pleacă de la o stare de eforturi neutre, pe când la cele subterane de la o stare naturală, inițială, a cărei componentă verticală și orizontală sunt uneori greu de estimat;

- la construcțiile de suprafață încărcările sunt defavorabile, pe când la cele subterane pot deveni aliate prin deformarea structurii și realizarea conlucrării dintre structură și teren.

Toate aceste trăsături au făcut și fac din construcțiile subterane, lucrări deosebit de dificile și periculoase, încât, o comparație cu infernul nu este exagerată, având în vedere numeroasele accidente produse în timpul execuției.

Duffaut exprimă plastic aceste dificultăți, parafrazându-l pe Dante: *“Voi ce intrați aici, lasați orice speranță...de a aplica ceea ce voi ați învățat pentru construcțiile supraterane”*.

Cu toate dificultățile întâlnite la execuție, construcțiile subterane au prezentat un interes deosebit în toate perioadele istoriei umane.

Orice istoric al domeniului trebuie să înceapă cu realizările naturii, peșterile și groturile care au adăpostit omul preistoric și care prezintă nenumărate săli cu deschideri de peste 50 m și cu un maxim cunoscut de 400 m (Peștera Postojna – Slovenia).

Primele construcții subterane realizate de om par să fie, după numeroase surse, exploatarea minieră realizată în zone și cu mijloace tehnice nementionate.

Cel mai vechi tunel cunoscut a fost construit în urmă cu 4000 de ani, de regina Semiramida a Babilonului, pe sub fluviul Eufrat, prin devierea acestuia, și făcea legătura între palatul regal și templu. Tunelul avea dimensiunile de 4,90 m lățime și 3,90 m înălțime și 900 m lungime și era construit din cărămidă arsă cu mortar de asfalt.

Multe din tunelurile vechi, consemnate în cronicile acelor vremuri, erau destinate aducțiilor de apă. Astfel de apeducte au fost construite în Ierusalim între anii 726-699 î.e.n., de regele Ezechias, cu lungimea de 530 m, sau cel din insula Samos (525 î.e.n.) de 1245 m lungime și 2.40 x 2.40 m secțiune transversală. Romanii, constructori recunoscuți, au executat numeroase construcții subterane, dintre care apeductele sunt cele mai cunoscute, multe dintre ele fiind în exploatare și astăzi, atât în Italia, cât și în fostele provincii. Cel mai lung tunel executat de romani este tunelul pentru devierea apelor din lacul Fucia în riul Laris, realizat între anii 41-52 e.n. în timpul domniei lui Tiberius Claudius, având o lungime de 5700 m.

După caderea imperiului roman, construcțiile subterane au stagnat reducându-se mai mult la lucrări cu caracter religios și apoi ca galerii secrete la castele.

Din secolul al XV-lea lucrările de tuneluri au fost reluate, orientându-se încet spre îmbunătățirea circulației în zonele muntoase.

În anul 1556 apare la Bale (Elveția) primul tratat consacrat construcțiilor subterane denumit *“De Re Metalica”* (Despre metale) al germanului Georg Bauer (Agricola). Lucrarea descrie diversele tehnici utilizate la execuția tunelurilor de la începutul erei noastre până în sec.XVI, uimindu-ne de multe ori prin ingeniozitatea înaintașilor în învingerea dificultăților naturale.

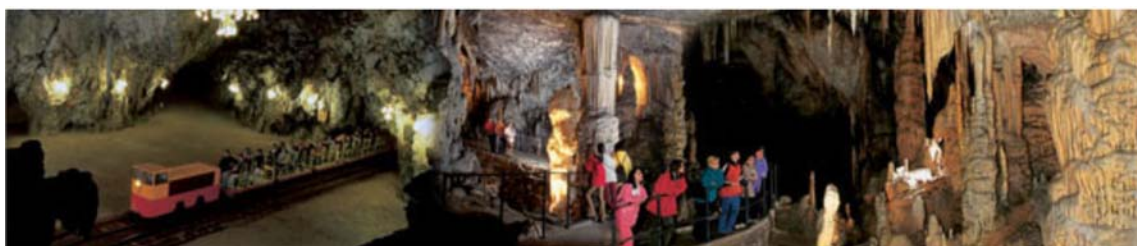


Fig. 1.0 Peștera Postojna - Slovenia

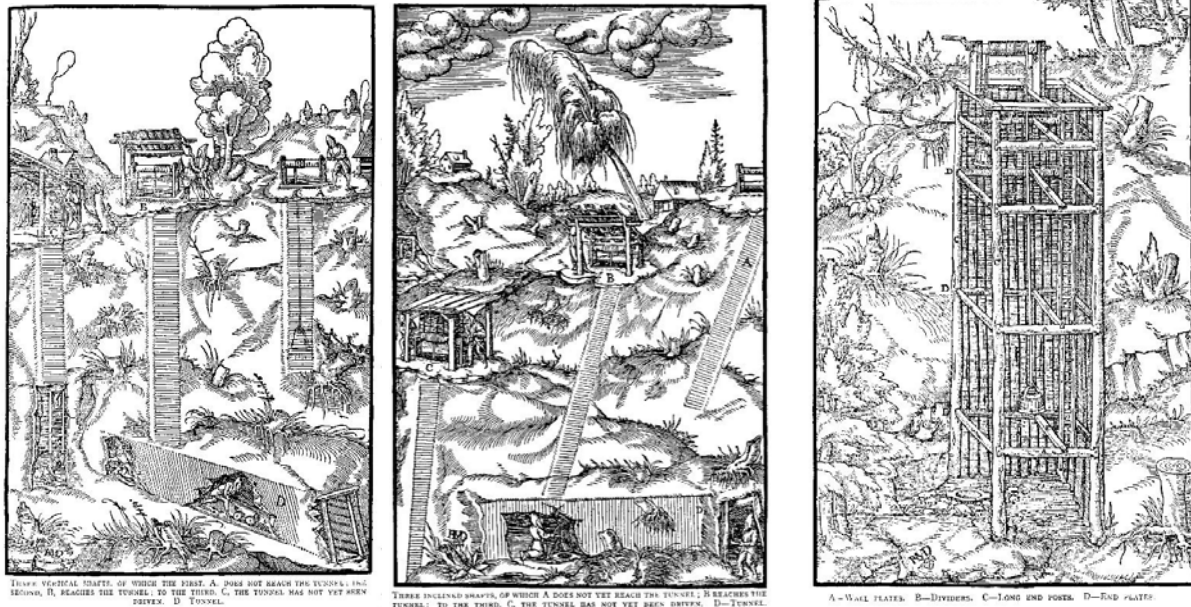


Fig. 1.1 Imagini de galerii subterane din “De Re Metalica”

Incepind din secolul XVII, dar mai ales in sec. XIX, lucrarile subterane cunosc un veritabil avint, impulsionate de dezvoltarea economica, care a antrenat o crestere spectaculoasa a exploatarii subsolului, urmata de schimbari ale mijloacelor de comunicatie: canale, cai ferate, drumuri.

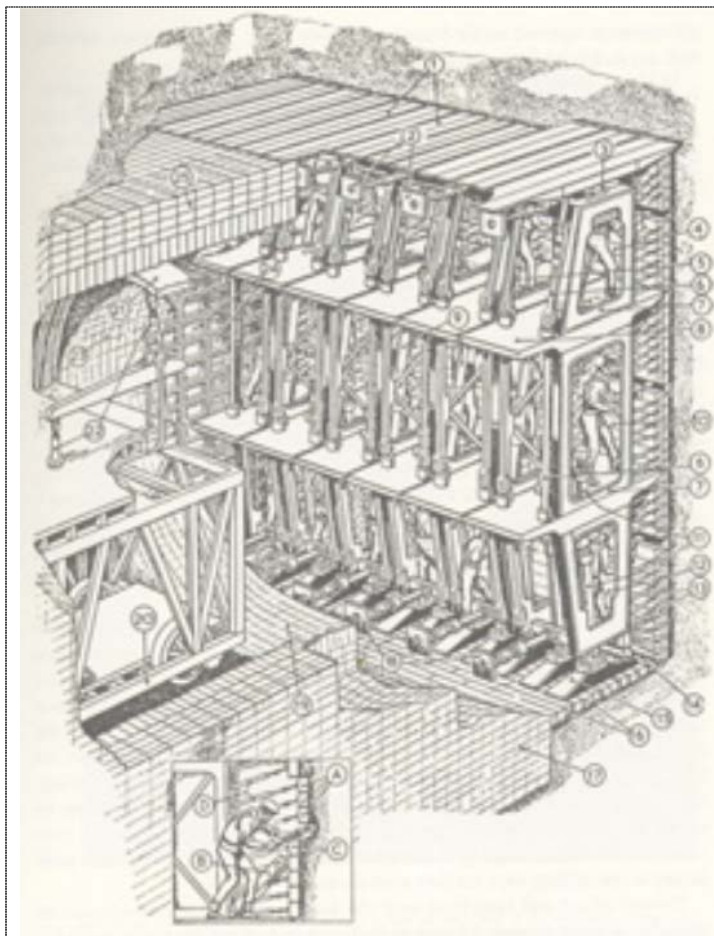


Fig. 1.2 Brunel. Scut rectangular pentru subtraversat Tamisa

Primul tunel pentru canal navigabil, a fost tunelul Malpas (Franta), pe canalul navigabil Lauguedoc, executat intre anii 1678-1681, cu o lungime de 159 m si sectiunea de 6,7 x 8,2 m.

Primul tunel de cale ferata (cu tractiune animala) a fost tunelul Terre Noire (Franta), construit in 1826, cu o lungime de 1500 m.

Secolul XIX a adus si inovatii tehnice deosebite, ca: perforatorul hidraulic (1857), perforatorul pneumatic (1864), dinamita (1864), primul scut (Brunel, 1836), care au dat un impuls deosebit constructiilor subterane.

Scutul rectangular cu prese și 36 compartimente, pentru subtraversat Tamisa, a cărui principii se folosesc și astăzi, a constituit prima invenție majoră în domeniul construcțiilor subterane (Fig. 2).

În 1831 Cochrane introduce aerul comprimat mai întâi la poduri și apoi la tuneluri. În aceeași perioadă se realizează primul utilaj de perforat (Fig. 1.3).

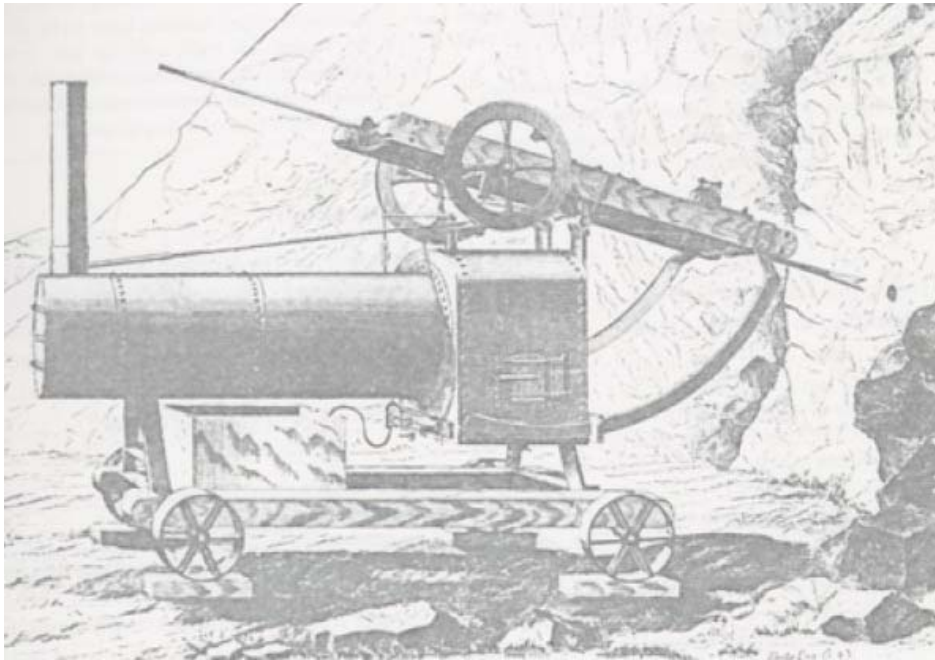


Fig. 1.3 Primul utilaj de eprforat roca

În secolul XX orasele au devenit din ce în ce mai aglomerate, astfel ca problemele de circulație și cele de edilitare au trebuit să fie rezolvate prin soluții subterane: pasaje subterane, metrouri, diverse rețele subterane, parkinguri.....

În 1901 Price introduce primul scut mecanizat pentru execuția tunelurilor în terenuri slabe (Fig.1.4), care a realizat performanța de înaintare de 55m pe săptămână.

Primul TBM pentru forarea tunelurilor în roci a fost utilizat de Withacher în 1922 (Fig. 1.5).

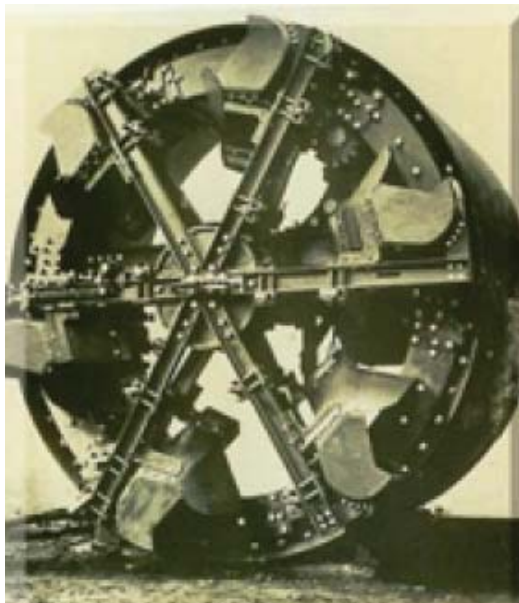


Fig. 1.4 Primul scut mecanizat.

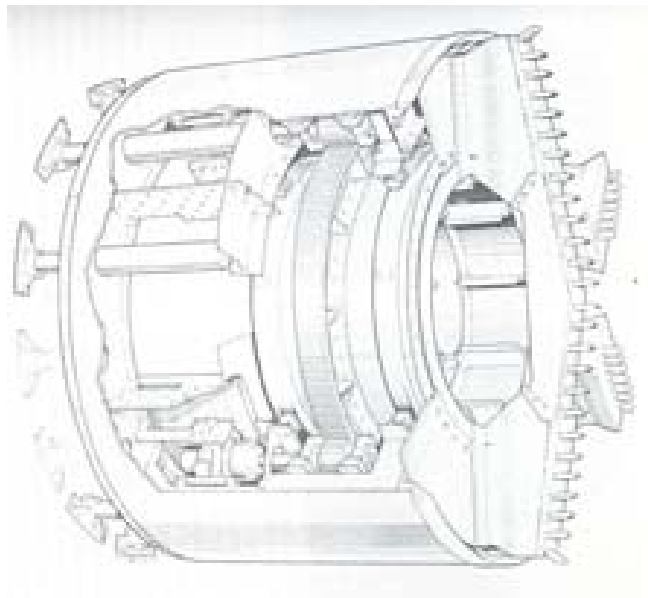


Fig. 1.5. Primul TBM

Dezvoltarea impetuoasă a căilor de comunicație (sosele și cai ferate) și a marilor amenajări hidroenergetice au determinat și construirea a numeroase tuneluri și galerii.

Ultimele decenii au impus utilizari noi ale subteranului, pentru stocarea diferitelor produse (hidrocarburi, deseuri), uzine, centrale nucleare, sali de spectacol.

Ritmul inalt al evolutiei societatii a determinat accelerarea considerabila a ritmului constructiei de tuneluri, diminuind in acelasi timp pericolele la care erau supusi lucratorii prin introducerea unor tehnici performante, cum sint masinile de forat in roci si scuturile presurizate in paminturi.



Fig. 1.6. Mașina de perforat cu brațe multiple Atlas Copco

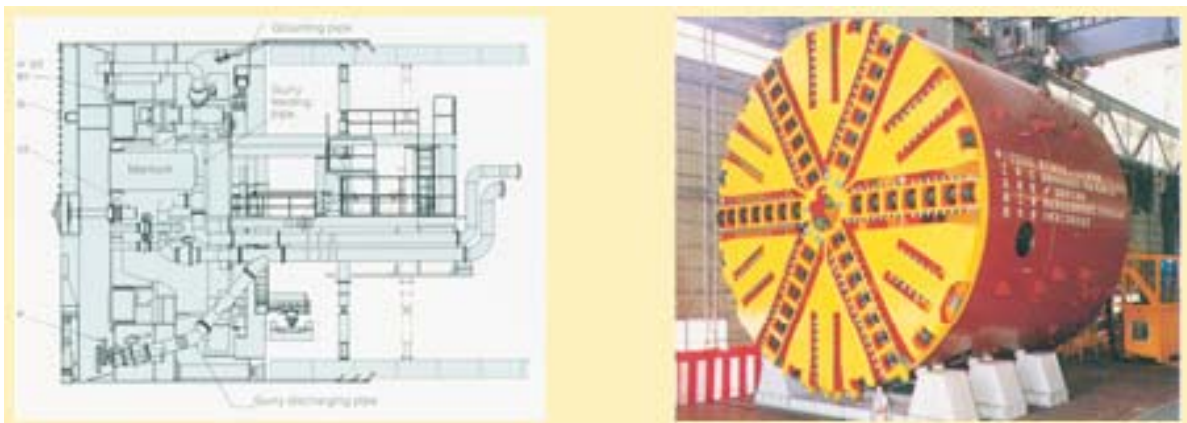


Fig. 1.7. Scut presurizat cu bentonită

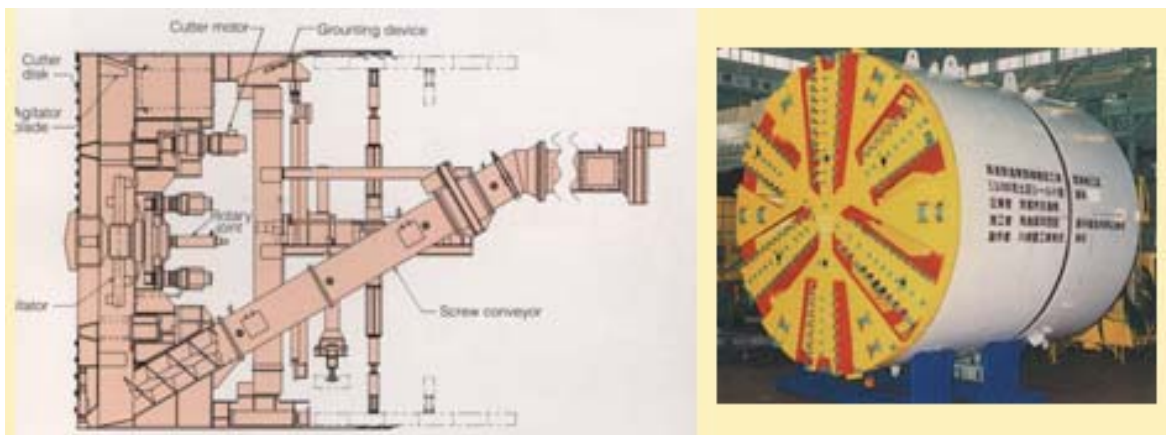


Fig. 1.8 Scut presurizat cu balansarea presiunii terenului EPBS

Tehnologii inovative (tuburi imersate, înghețul, jet grouting, pipe-jacking, injecțiile chimice) au permis realizarea construcțiilor subterane în terenuri și condiții dificile.

Cu tot progresul tehnic și științific înregistrat în timp, construcția tunelurilor rămâne un domeniu în care experiența trebuie imbinată cu suportul teoretic sau “*empirismul*” cu “*știința*” având drept părți componente recunoașterea terenului, dimensionarea și tehnologiile de execuție.

Numărul mare de tipuri de construcții subterane, cu trăsături specifice, a condus la necesitatea clasificării lor după diverse criterii.

O clasificare este după funcția construcției subterane și conține următoarele categorii:

- construcții miniere, pentru extragerea unui produs din subsol (mine de carbune, fier, etc.)
- tuneluri pentru cai de comunicație (rutiere, feroviare și navigabile) sau galerii de transport;
- construcții subterane pentru scopuri militare: galerii de atac, adaposturi antiaeriene sau antiatomice;
- construcții subterane edilitare: aducțiuni de apă sau alte fluide, rețele de canalizare, galerii hidraulice;
- construcții subterane de stocaj: pentru gaz sau hidrocarburi și parkinguri subterane.

O altă clasificare poate fi făcută după condițiile naturale, în care se realizează construcțiile subterane:

- pământuri sau roci;
- acoperire mică sau mare;
- teren cu sau fără apă;
- eforturi naturale normale (greutatea acoperirii) sau ridicate (eforturi reziduale).

N. Barton clasifică construcțiile subterane după destinația lor, stabilind și o ordine, funcție de securitatea necesară:

- A - Excavații miniere cu caracter temporar;
- B - Puturi verticale;
- C - Galerii hidraulice (fără conducte forțate de înaltă presiune), colectoare de canalizare, galerii de recunoaștere și galerii pilot;
- D - Cavități de stocaj, stații de tratare apă, tunele rutiere și feroviare pe axe secundare, camere de echilibru și tunele de acces;
- E - Uzine subterane (cel mai des hidroelectrice), tunele autorutiere și feroviare pe axe principale, galerii de metrou, adaposturi de apărare civilă, capete de tuneluri;
- F - Centrale nucleare subterane, gări subterane, săli publice (sport, spectacole...).

Caracteristici fundamentale ale spațiului subteran.

- Mediul subteran este un spațiu care poate asigura locația pentru activități sau infrastructuri care sunt dificil, imposibil, puțin profitabile de amplasat deasupra terenului sau nedorite din punct de vedere al mediului.
- Spațiul subteran oferă protecție naturală la orice este amplasat în subteran.
- Cadrul creat de structurile subterane protejează mediul exterior de riscuri/perturbări inerente în anumite tipuri de activități.
- Spațiul subteran este opac: o structură subterană este vizibilă numai în punctele de contact cu suprafața.

1.3 Utilizarea spațiului subteran.

(Why go underground – ITA-AITES Special Issue 2002)

1.2.1 Rațiuni de amplasare și utilizare a terenului.

1.2.2 Considerații de izolare.

1.2.3 Protecția mediului.

1.2.4 Rațiuni topografice.

1.2.5 Beneficii sociale.

1.2.1 Rațiuni de amplasare și utilizare a terenului.

În multe cazuri, utilizarea spațiului subteran rezultă dintr-o lipsă de spațiu la suprafață. Există multe tipuri de facilități care sunt cel mai bine sau inevitabil amplasate în subteran deoarece prezența lor fizică la suprafață nu este dorită, spre exemplu: utilități publice, stocarea materialelor nedorite, parcare mașinilor, separarea activităților de transport conflictuale (trafic pietonal, metrou, trenuri).

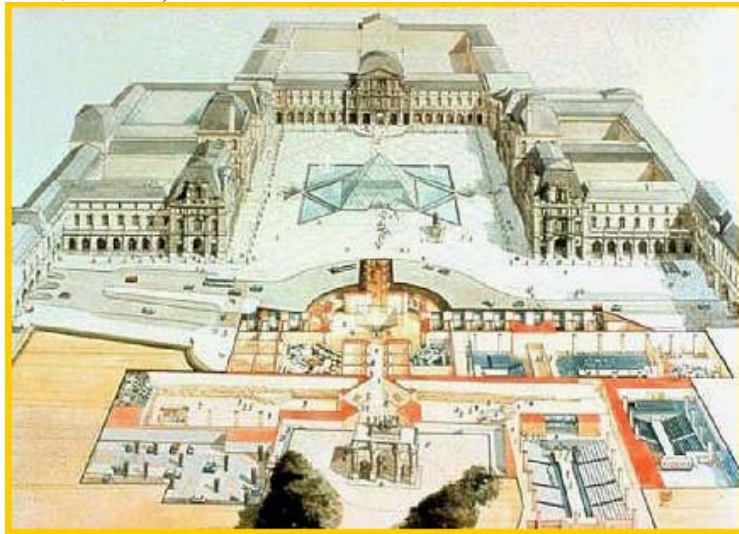
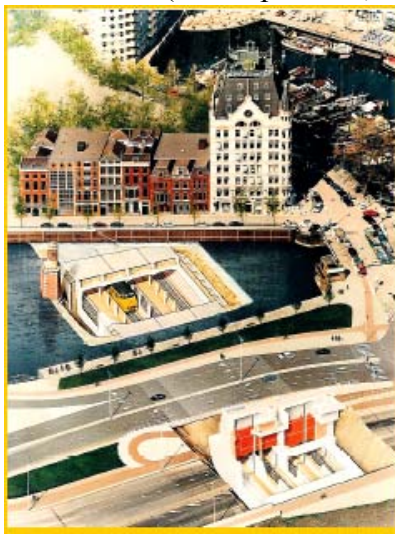


Fig. 1.9 Stație de metrou Rotterdam Fig. 1.10 Muzeul Louvre Paris. Acces prin subteran

1.2.2. Considerații de izolare.

Izolarea este o rațiune importantă pentru plasarea facilităților în subteran care răspunde unor cerințe precum: climatul, dezastre naturale sau seisme, protejare sau securitate.

Subteranul asigură izolarea pentru orice tip de climat. Temperatura în subteran oferă un mediu termic uniform și moderat comparativ cu extremele de la suprafață, asigurând astfel avantaje în ceea ce privește conservarea și stocarea energiei.



Fig. 1.11 Spital subteran pentru tratarea alergiilor într-o mină de potasiu – Ural (Rusia)



Fig. 1.12 Sală subterană olimpică – Gjøvik (Norvegia)

Structurile subterane sunt protejate natural față de dezastrele naturale (uragane, tornade, inundații etc.). Mai mult, structurile subterane rezistă mult mai bine la mișcările seismice decât structurile suprațere. Efectele oscilațiilor structurale sunt limitate, întrucât ele sunt constrânse să se miște cu mișcarea terenului.



Fig. 1.13 Kobe City Hall afectat de cutremur.



Fig. 1.14 Mall-ul subteran nu a fost afectat.

Obiectele sau produsele stocate în subteran sunt mai bine protejate datorită temperaturii moderate și constante și abilității de a menține un mediu etanș.



Fig. 1.15 Stocare bunuri – Kansas (SUA)



Fig. 1.16 Stocare petrol – Kuj Plant (Japonia)

Structurile subterane sunt protejate de zgomote și vibrații. În caz de explozii, scurgeri radioactive, accidente industriale, structurile subterane pot servi ca adăposturi de urgență, dacă sunt prevăzute cu echipamente pentru filtrarea aerului contaminat.

Deasemeni, suprafața trebuie protejată de inconveniente și pericole generate de facilități amplasate în subteran (stocarea deșeurilor nucleare sau de alt tip).

Construcțiile subterane prezintă mai multă siguranță și datorită punctelor de acces limitate și ușor de securizat.

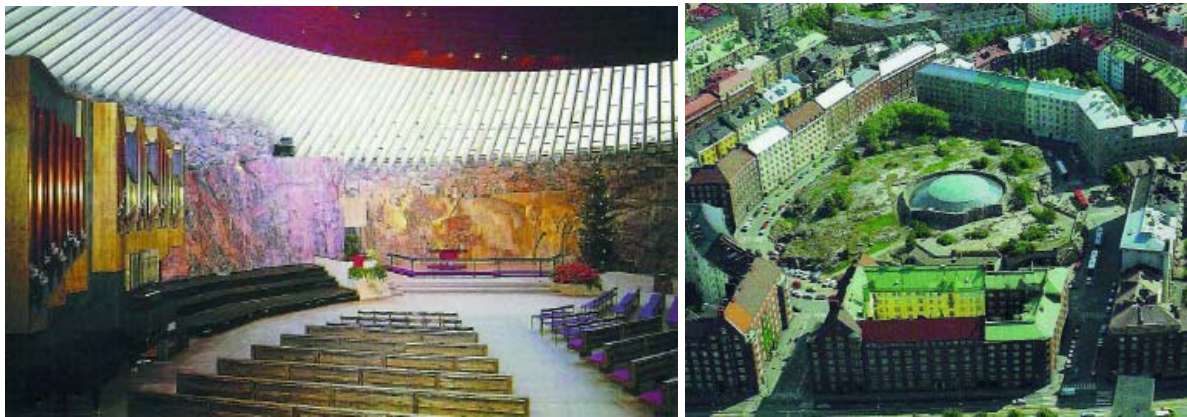


Fig. 1.17 Biserică subterană – Helsinki (Finlanda)

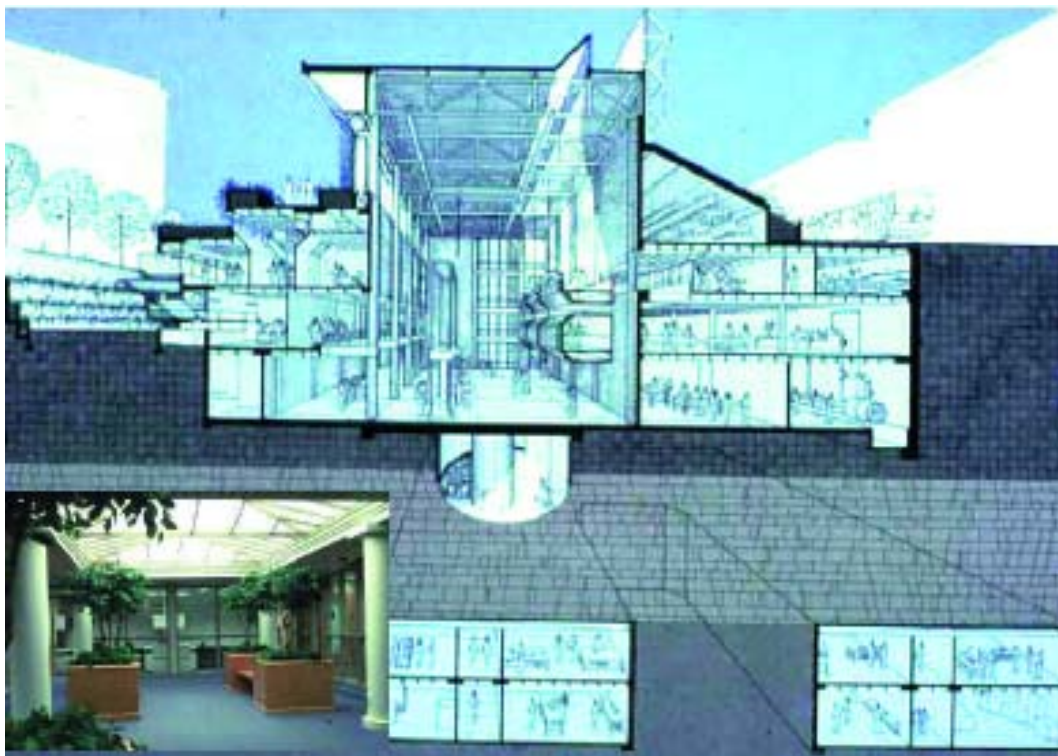


Fig. 1.18 Universitatea din Minesota (SUA)

1.2.3. Protecția mediului.

Mediul subteran prezintă și numeroase avantaje din punct de vedere al protecției mediului înconjurător, atât estetice cât și ecologice. O structură integral sau parțial subterană are un impact mai mic asupra esteticii zonei decât o structură de suprafață echivalentă.

Acest aspect poate fi important pentru a ascunde facilitățile tehnice neatractive din locații sensibile, sau unde facilități industriale trebuie amplasate adiacent unor zone rezidențiale. Necesitatea de amplasare a tuturor serviciilor utilitare în subteran devine esențială. În unele cazuri structurile subterane ajută la protejarea vegetației naturale și a habitatului animal.

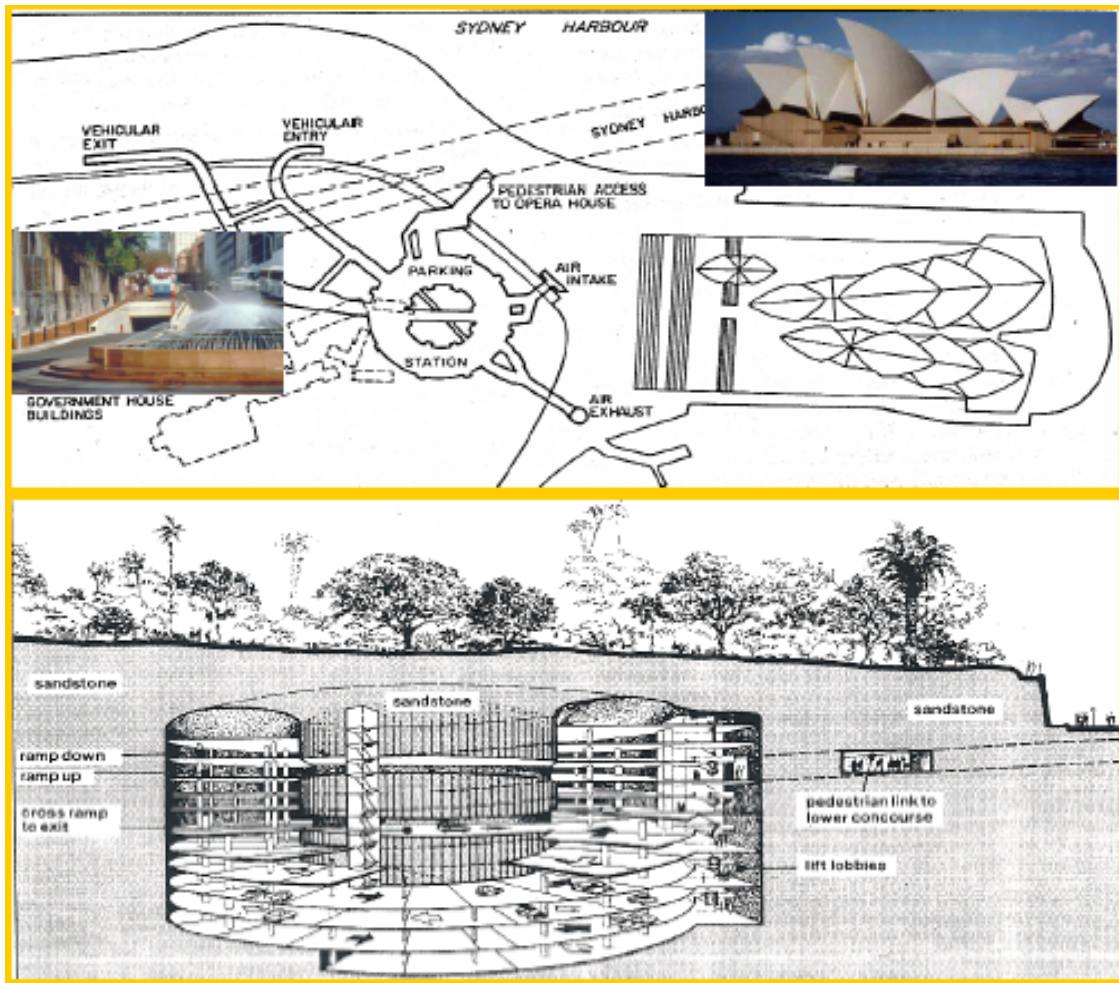


Fig. 1.19 Parcaj subteran în apropierea Operei din Sydney (Australia)



Fig. 1.20 Rețele subterane în mediu urban



Fig. 1.21 Protejarea naturii cu un tunel rutier

1.2.4. Rațiuni topografice.

În zone de deal sau de munte, tunelele îmbunătățesc sau fac fezabile variate opțiuni de transport pentru drumuri, căi ferate, canale, etc. Tunelele sunt deasemeni o importantă opțiune pentru traversarea râurilor, strâmtoarelor sau porturilor.

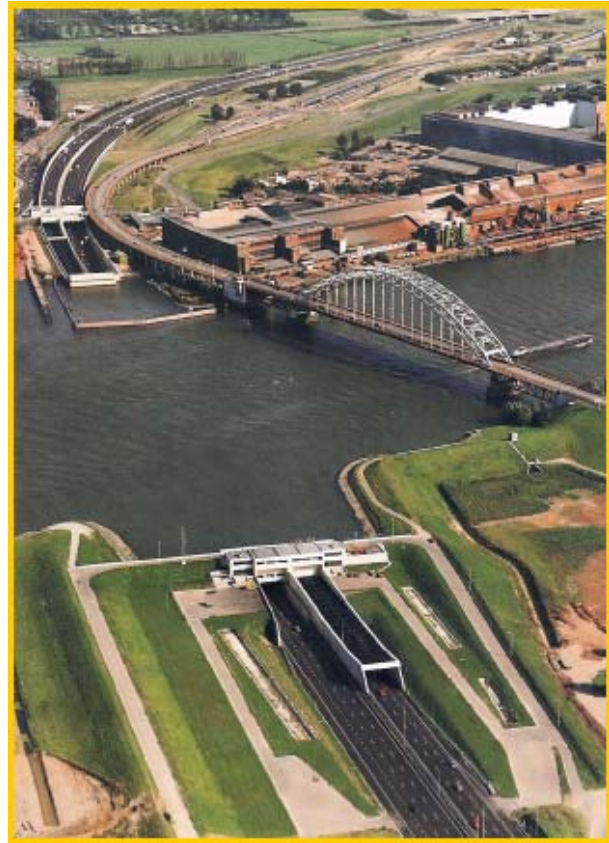
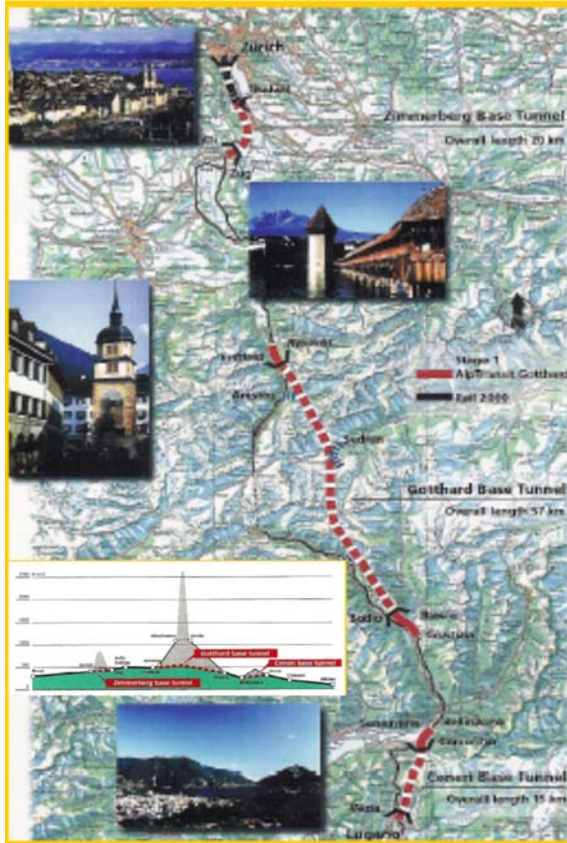


Fig. 1.22 Tunel St. Gotthard L=57km (Elveția) Fig. 1.23 Tunel rutier Amsterdam (Olanda)



Fig. 1.24 Noua stație centrală de CF din Anvers (Olanda)

1.2.5. Beneficii sociale.

Spațiul subteran joacă un rol important în realizarea unei dezvoltări prietenoase cu mediul prin: reducerea poluării și a zgomotului, utilizarea eficientă a spațiului, dezvoltarea economică, conservarea mediului de locuit a siguranței și sănătății publice.

Tunelele joacă un rol vital pentru mediu prin transportul apei curate și eliminarea apelor uzate din zonele urbane.

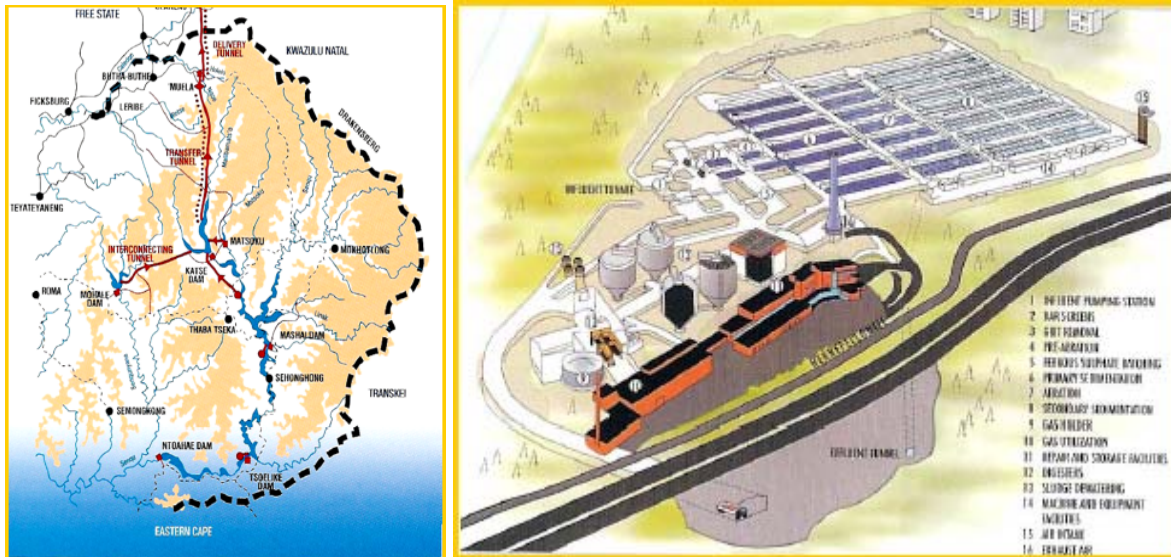


Fig. 1.25 Proiect aducțiune ape Lesotho Fig. 1.26Uzină tratare ape uzate Helsinki (Finlanda)

Tunelele asigură sisteme de transport urban sigure, rapide și sănătoase pentru mediu.



Fig. 1.27 Linia de metrou Meteor – Paris (Franța)

Tunelele rutiere urbane reduc vehiculele de la suprafață și implicit zgomotul și poluarea, spațiul suprateran putând fi astfel utilizat pentru alte scopuri. Trecerea circulației în subteran pe artera centrală din Boston este exemplul cel mai elocvent. Realizarea parcajelor și magazinelor subterane creează spații de recreere la suprafață.



Fig. 1.28 Transformarea arterei centrale din Boston

Tunelele utilitare multifuncționale sunt mai puțin vulnerabile decât instalațiile supratereane producând deranjamente mai mici în timpul ănrținerii sau deranjamentelor.



Fig. 1.29 Parcaj subteran– Sthokolm

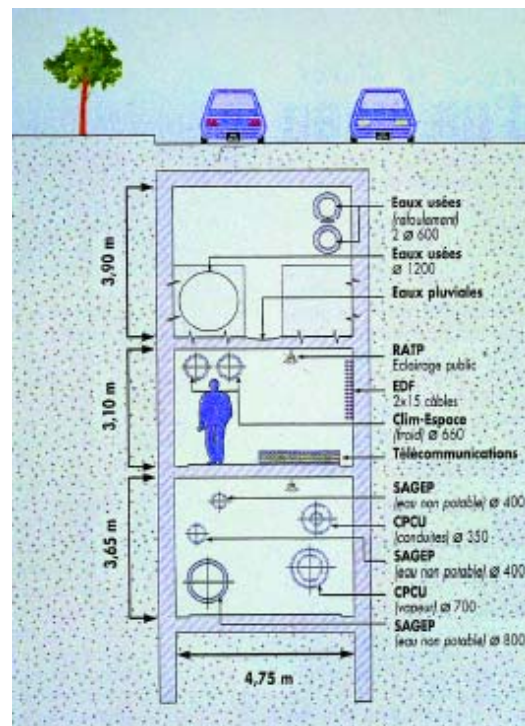


Fig. 1.30 Galerie utilitară multifuncțională - Paris

1.3 Evaluarea construcțiilor subterane

Aspectele economice rămân în mod eronat o barieră în calea dezvoltării utilizării spațiului subteran. Întrucât costul inițial de construcție al unei construcții subterane este în general mai mare decât al construcțiilor de la suprafață, construcțiile subterane sunt într-un fel “penalizate” când se compară cu cele de suprafață.

Beneficiile economice ale unei facilități subterane trebuie calculate cu estimarea impactului costului de funcționare asupra beneficiilor produse de astfel de facilități.

Mai mult, evaluarea unei construcții subterane trebuie să ia în considerare diversele avantaje indirecte pe care le oferă, în special cu privire la mediu.

Considerarea costurilor ciclului de viață.

În utilizarea pe termen lung construcția subterană poate dovedi ca este economică. Beneficiile pot depăși costul inițial sau pe cel de exploatare.

Salvarea costului terenului.

Cea mai obișnuită salvare de cost inițial legată de facilități subterane este reducerea costului pentru achiziționarea terenului. În zone cu costuri ale terenurilor extrem de mari, costul achiziționării terenului poate domina toate deciziile de cost inițiale, în special în inima orașelor mari. Unul din principalele avantaje ale amplasării facilităților în subteran este că poate crește semnificativ utilitatea și valoarea terenului.

Costurile de construcție.

În ciuda progreselor importante în cunoaștere și în metodele de execuție, structurile subterane de regulă costă mai mult decât structurile supraterane echivalente.

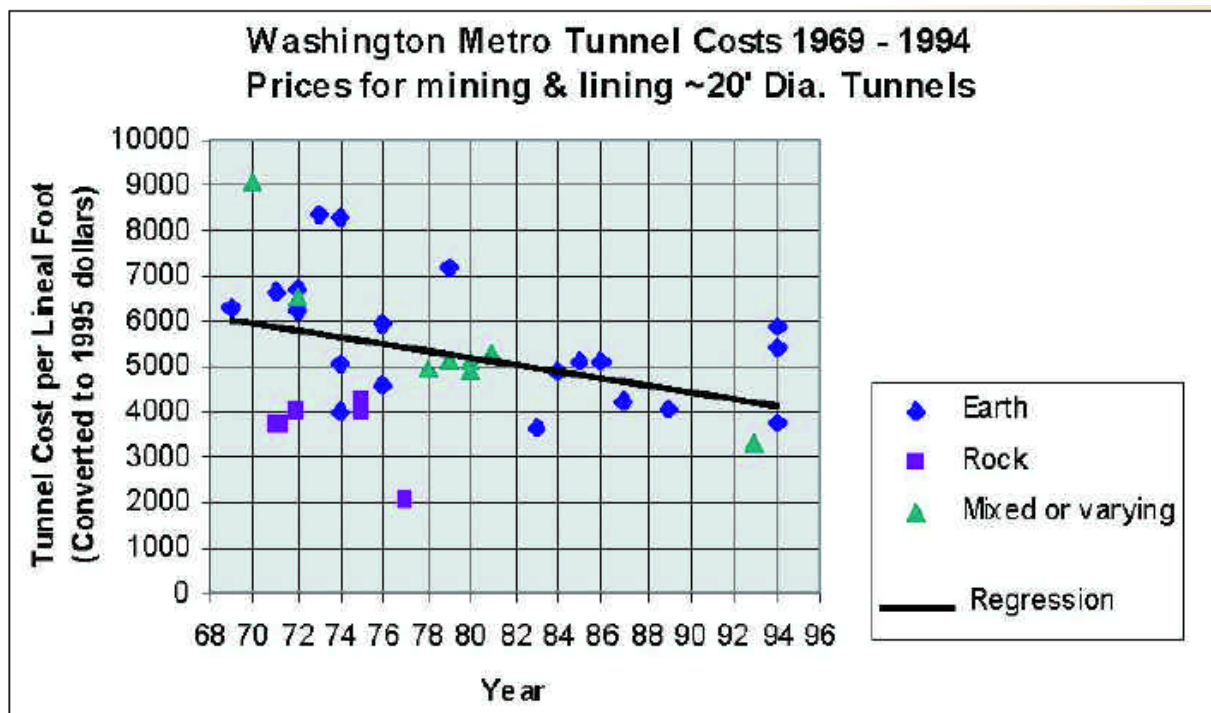


Fig. 1.31 Costurile tunelului de metrou din Washington (SUA)

Trebuie subliniat că atât costul cât și timpul de construcție al construcțiilor subterane continuă să descrească comparativ cu al construcțiilor de suprafață.

Economisirea caracteristicilor de proiectare.

Caracteristicile fizice ale facilităților subterane prezintă beneficii directe de cost față de construcțiile supraterane. De exemplu, izolarea termică reduce cerințele pentru sistemul de aer condiționat, conducând la un sistem mai mic și mai ieftin.

Construcțiile de suprafață necesită un finisaj exterior scump față de cele subterane unde astfel de cerințe nu sunt necesare.

Economisirea energiei.

Avantajele termice ale construcțiilor subterane conduc la reducerea costurilor de energie la exploatarea acestora. Deși costurile de iluminat și ventilare pot crește, beneficiile termice le compensează în climate aspre.

Costuri de întreținere.

Izolarea fizică a structurilor subterane de efectele mediului extern, care afectează componentele construcțiilor de suprafață, poate conduce la costuri de întreținere mai mici. Durata de viață a structurilor subterane este mai mare.

Considerarea beneficiilor indirecte ale construcțiilor subterane.

Evaluarea structurilor subterane este strâns legată de evaluarea degradărilor produse de mediu asupra construcțiilor de suprafață.

Comparațiile de cost trebuie să se refere nu numai la bine cunoscutele costuri ale ciclului de viață, dar să ia în considerare numeroasele avantaje oferite de alternativa subterană, în special beneficiile legate de mediul înconjurător.

Analiza riscului.

Riscurile în cazul construcțiilor subterane sunt mai mari decât la construcțiile de suprafață, astfel că evaluarea acestora a devenit deosebit de importantă.

Studiile de fezabilitate, proiectele, ofertele și contractele trebuie să țină cont de toate categoriile de risc posibile:

- Riscuri financiare, cum ar fi depășirea costului sau obținerea unei rate de recuperare a capitalului mai mică;
- Riscul schimbării condițiilor de teren, sau infiltrații de apă mai mari decât cele așteptate;
- Riscul ca facilitatea publică să nu fie acceptată sau utilizată de public la gradul anticipat;
- Riscuri contractuale, cum ar fi lucrări adiționale neacoperite, termene nerespectate, dispute și revendicări;
- Riscuri de construcție, cum ar fi căderea unor echipamente, prăbușiri sau infiltrații puternice de apă;
- Riscuri de mediu, cum ar fi afectarea calității apei subterane, periclitarea construcțiilor de la suprafață;
- Riscuri în exploatare în special la tunelele pe căi de comunicații.

CAP. 2. TUNELURI. ELEMENTE GENERALE.

2.1. Definitie si clasificari

Tunelurile constituie una din grupele principale ale constructiilor subterane.

Tunelul este constructia subterana destinata crearii unei legaturi intre doua puncte despartite printr-un obstacol topografic (munte, curs de apa, oras, etc.), in scopul instaurarii unei posibilitati de transport sau comunicatie.

Tunelurile se pot clasifica, dupa scopul pentru care se construiesc, in doua grupe principale:

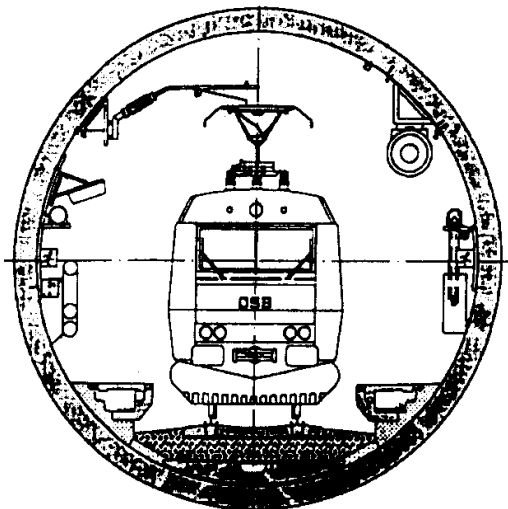
- a. - Tuneluri pentru cai de comunicatie:
 - tuneluri feroviare;
 - tuneluri rutiere;
 - tuneluri pentru pietoni;
 - tuneluri pentru cai navigabile;
 - tuneluri pentru metrou.

- b. - Tuneluri sau galerii de transport:
 - tuneluri pentru amenajari hidroelectrice;
 - tuneluri pentru alimentarea cu apa (apeducte);
 - tuneluri (galerii) edilitare pentru canalizare, cabluri, conducte, etc.

2.2. Tuneluri pentru cai de comunicatie.

Tunelurile pentru cai de comunicatie reprezinta categoria cea mai importanta a tunelurilor. Clasificarea acestor tuneluri se poate face dupa: destinatie, dupa locul unde se construiesc, dupa modul de dezvoltare si pozitia tunelului in plan, in profil longitudinal si in profil transversal.

2.2.1. Clasificare dupa destinatie:

a. *Tuneluri feroviare.*

Aceste tuneluri reprezinta, fara indoiala, cea mai importanta categorie din cadrul acestei grupe. Ele strabat in general zone muntoase, dar se intilnesc si pe sub orase, cursuri de apa sau strimtori (tunelul sub Canalul Minecii).

Tunelurile feroviare pot fi pentru cale simpla sau dubla si pot avea sectiunea transversala sub forma de potcoava, circulara (Fig.2.1), dreptunghiulara sau bolti gemene, in functie de metoda de executie utilizata.

Fig.2.1. Sectiune transversala tunel feroviar (Tunel Storebaelt)

b. *Tuneluri rutiere.*

Performantele si extinderea tunelurilor rutiere este mult mai redusa decit a tunelurilor feroviare, datorita caracteristicilor (declivitati, curbe) mai lejere, impuse traseului, cit si dezvoltarii mai tirzii a circulatiei rutiere.

Explozia automobilului, inregistrata in special in a doua jumatate a acestui secol, a determinat o crestere impresionanta a traficului rutier, ceea ce a condus la constructia de noi sosele si, mai ales, autostrazi cu caracteristici si exigente apropiate de liniile de cale ferata.

In noile conditii, tunelurile rutiere au inceput sa le devanseze ca numar si frecventa pe cele feroviare.

In tabelul 2.1. este prezentata lungimea cumulata, in metri, a tunelurilor rutiere pentru tarile cu retea rutiera dezvoltata, conform datelor de recensamint comunicate Comitetului tehnic al tunelurilor rutiere la finele anului 1980.

Tabel 2.1

Tara	In exploatare	In constructie	In proiectare
Japonia	979.179	73.556	-
Franta	487.699	24.158	-
Elvetia	138.415	12.248	21.996
Austria	81.516	30.015	201.669
SUA	40.205	1.340	12.590
Spania	39.750	23.504	5.180
R.F.G.	39.388	4.948	13.840
Belgia	24.382	13.579	6.900
Olanda	16.776	140	-
Canada	8.678	-	-

In tabelul 2.2. sint prezentate principalele tuneluri rutiere din lume, cu lungimea $L > 10000$ m.

Tabel 2.2

Tara	Denumire Tunel	An dare in exploatare	Lungime (m)	Nr. sensuri	Nr. tuburi	Nr. benzi	Lati-me (cm)
Elvetia	St. Gottard	1980	16911	2	1	2	780
Austria	Arlberg	1978	13972	2	1	2	750
Franta - Italia	Frejus	1980	12868	2	1	2	900
Franta - Italia	Mont - Blanc	1965	11600	2	1	2	700
Japonia	Kan - Etsu	1985	10885	2	1	2	700
Italia	Gran - Sasso	1986	10100	1	2	2	750

Tunelurile rutiere pot fi impartite in trei grupe:

- tuneluri pentru sosele principale si autostrazi;
- tuneluri in intersectiile oraselor (pasaje) (Fig.2.2);
- tuneluri pe sub cursul apelor (subfluviale);
- Tuneluri cu gabarit redus pentru vehicule usoare (Fig.2.3).

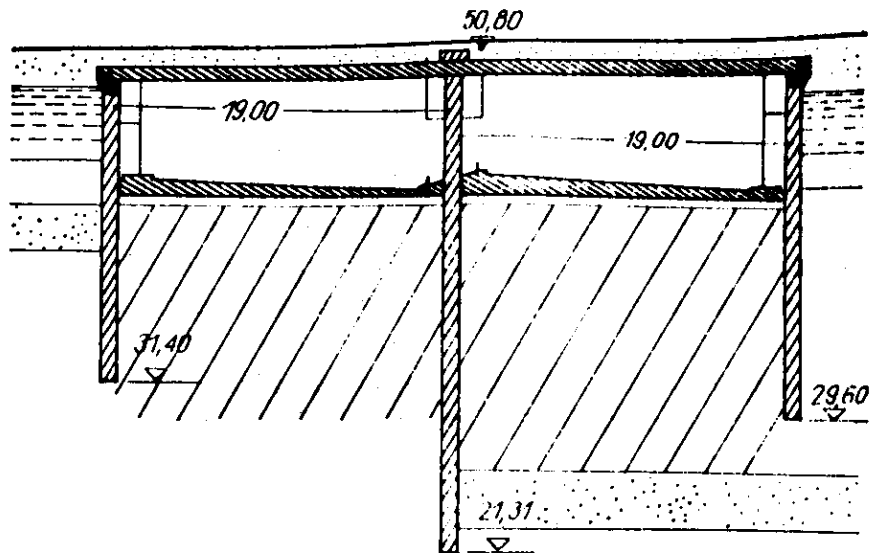


Fig. 2.2. Sectiune transversala pasaj rutier.

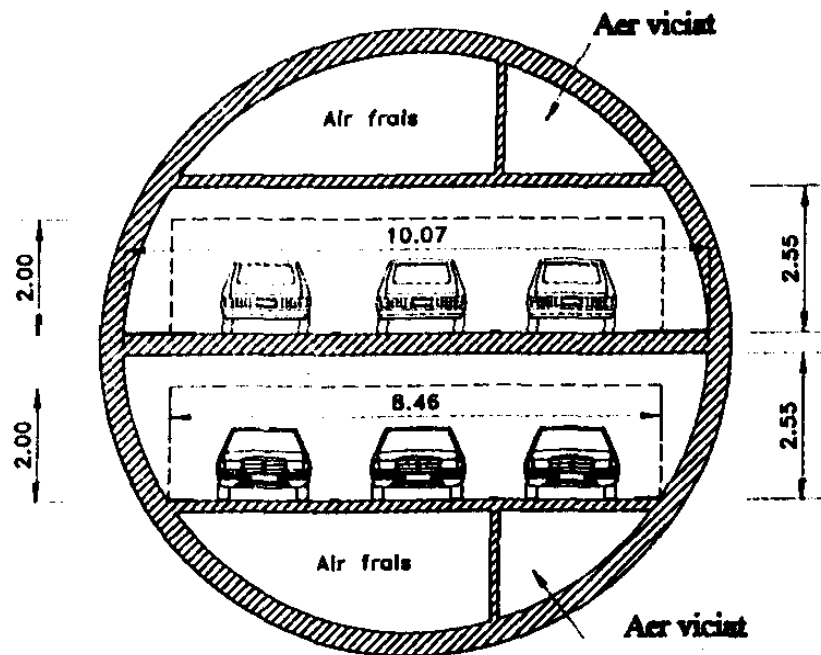


Fig. 2.3. Sectiune transversala tunel cu gabarit redus.

c. Tuneluri pentru metropolitane (metrouri).

Aceste tuneluri se caracterizeaza prin aceea ca se executa in amplasamentul marilor aglomerari urbane, de regula in paminturi si la adincimi mici de suprafata.

Specificul constructiei metrourilor este adoptarea unor metode de executie care sa pericliteze cit mai putin stabilitatea si integritatea constructiilor invecinate.

Primul tunel de metrou din lume a inceput in anul 1860 la Londra si s-a dat in exploatare in 1863, pe o lungime de 36 km si cu linie dubla.

In prezent, aproape toate capitalele mari ale lumii sint dotate cu metrouri.

Sectiunile transversale adoptate la metrouri sint, de regula, circulare, corespunzatoare metodei scutului, si dreptunghiulare, corespunzatoare metodelor de executie la zi (Fig.2.4).

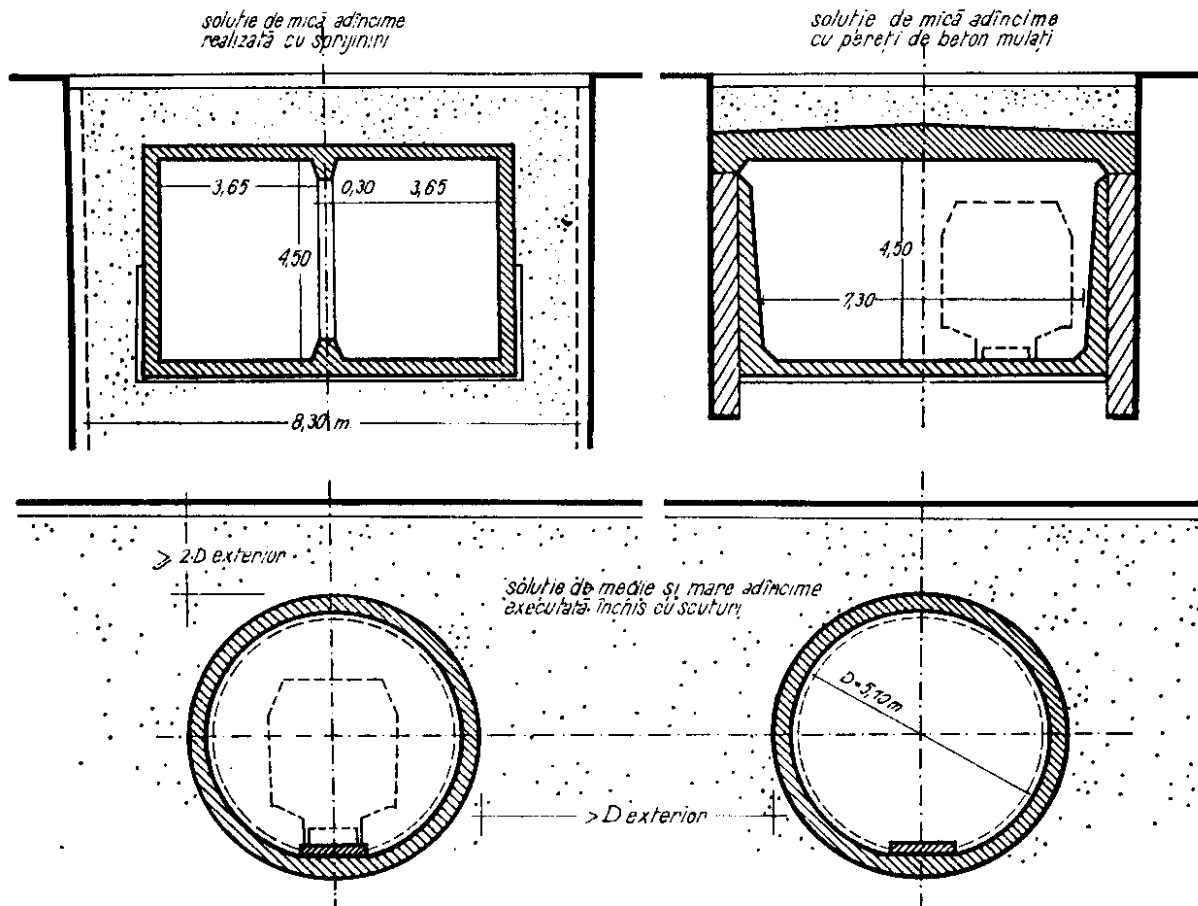


Fig. 2.4 Secțiuni transversale tuneluri de metrou.

Tot aici trebuie evidentiata existenta statiilor de metrou, constructii subterane speciale cu diverse alcatuiri si executie de la zi (Fig. 2.5) sau in subteran (Fig. 2.6).

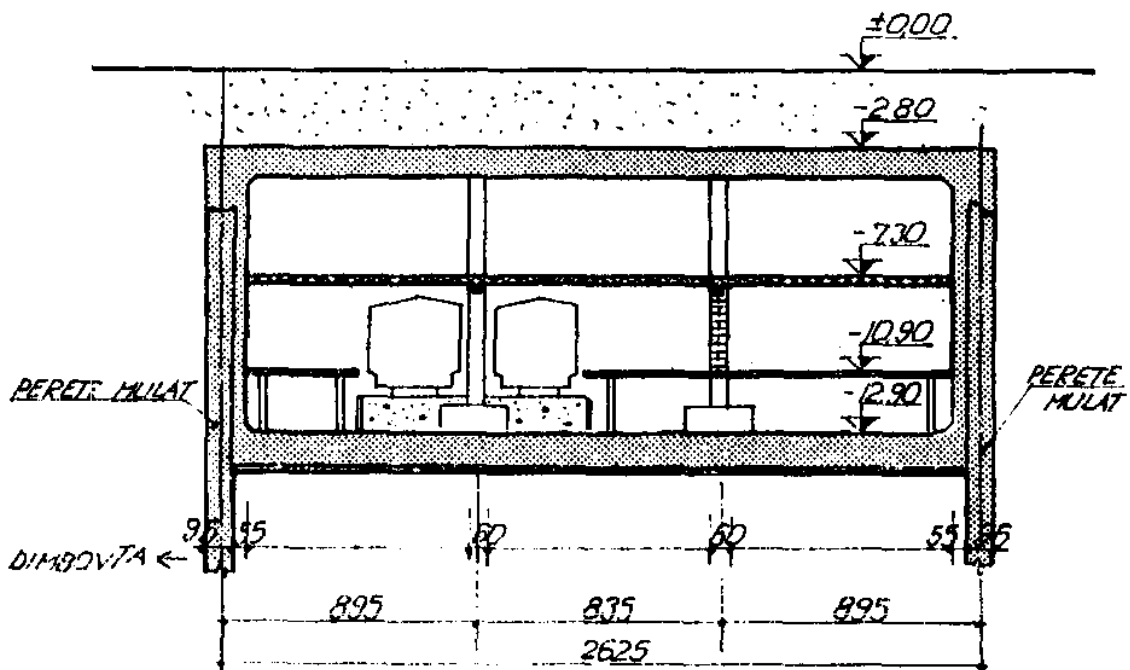


Fig. 2.5 Stație de metrou de suprafață.

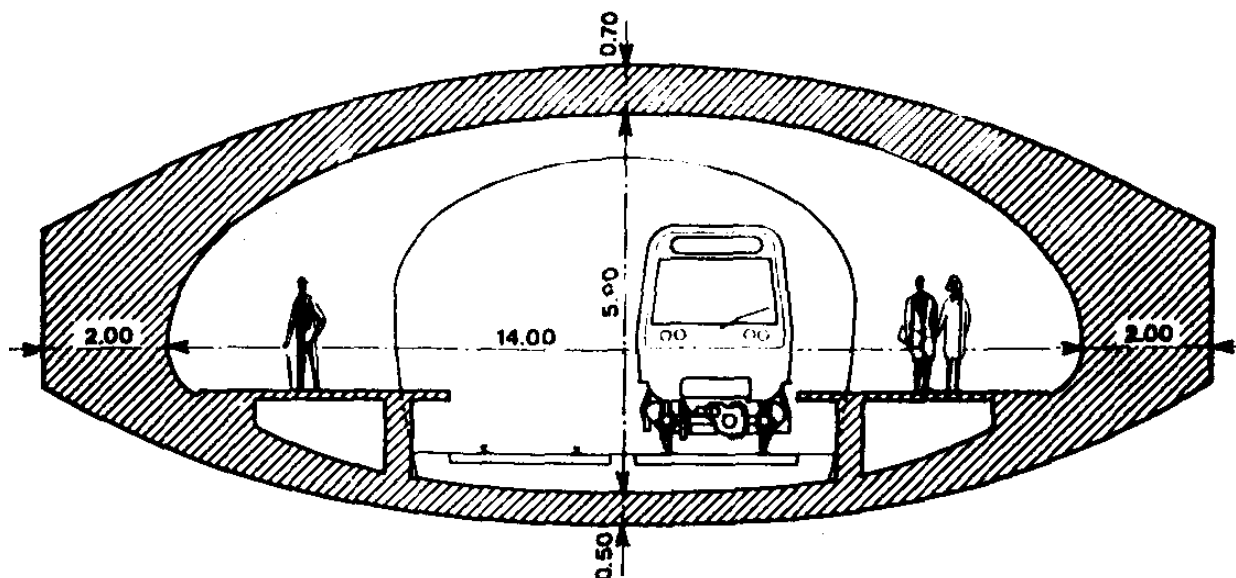


Fig. 2.6 Stație de metrou de adincime.

d. *Tuneluri pentru pietoni (pasaje pietonale).*

Aceste tuneluri se intilnesc in exclusivitate in interiorul oraselor pentru subtraversarea intersectiilor arterelor importante sau subtraversarea pachetelor de linii in gari si, mai rar, pentru subtraversarea unor cursuri de apa.

Sectiunea transversala a unor astfel de tuneluri este cel mai des dreptunghiulara, iar executia se face in majoritatea cazurilor de la suprafata. (Fig.2.7)

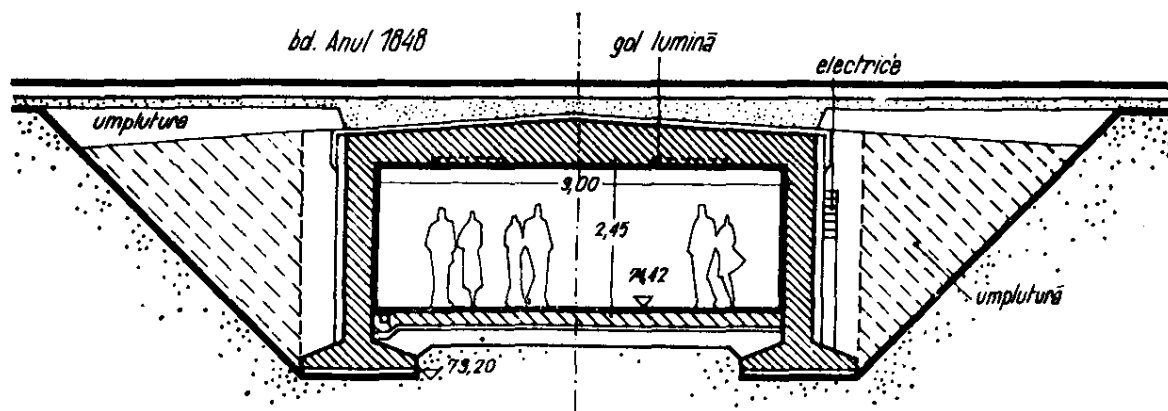


Fig. 2.7 Sectiune transversala pasaj pietonal.

e. *Tuneluri pentru cai navigabile.*

Acest tip de tuneluri se construiesc de-a lungul traseului unui canal navigabil, prin strapungerea unui masiv.

Aceste tuneluri au dimensiunile sectiunii transversale relativ mari, pentru satisfacerea gabaritelor vaselor ce urmau sa treaca prin ele.

Secolele XVIII si XIX au constituit perioada cea mai prolifica pentru tuneluri navigabile.

La mijlocul sec.XIX Anglia avea peste 46 tunele pe cai navigabile, in lungime totala de 67.100 m, iar Franta 20 de astfel de tunele in lungime de 28.500 m.

Cel mai reprezentativ tunel de acest gen este tunelul du Rove (Franta), executat intre anii 1911-1927, avind o deschidere de 22 m si o lungime de 7118 m. (Fig.2.8)

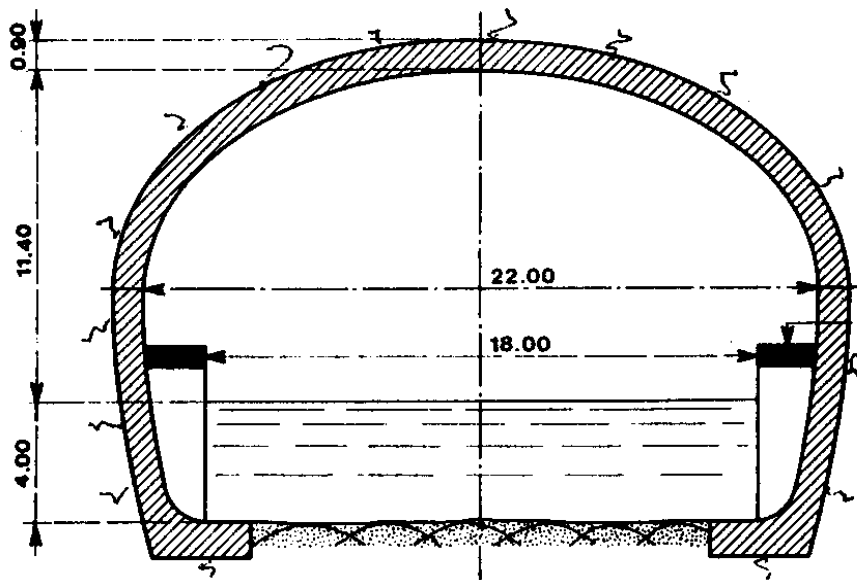


Fig.2.8 Secțiune transversala tunel navigabil (Du Rove).

f. Tuneluri de protecție împotriva caderilor de stinci și avalanșelor.

Aceste construcții, forțat numite tuneluri, se execută la zi în zone muntoase, pe acele porțiuni ale căii de comunicație (cale ferată, sosea), pe care se produc căderi de stinci sau avalanșe de zapadă. Aceste construcții sunt acoperite cu un strat de amortizare alcătuit din piatră brută. Forma secțiunii transversale depinde de gabaritul de circulație și de soluția constructivă adoptată. Forma boltită corespunde, totuși, cel mai bine tipului caracteristic de solicitare (soc) (Fig. 2.9)

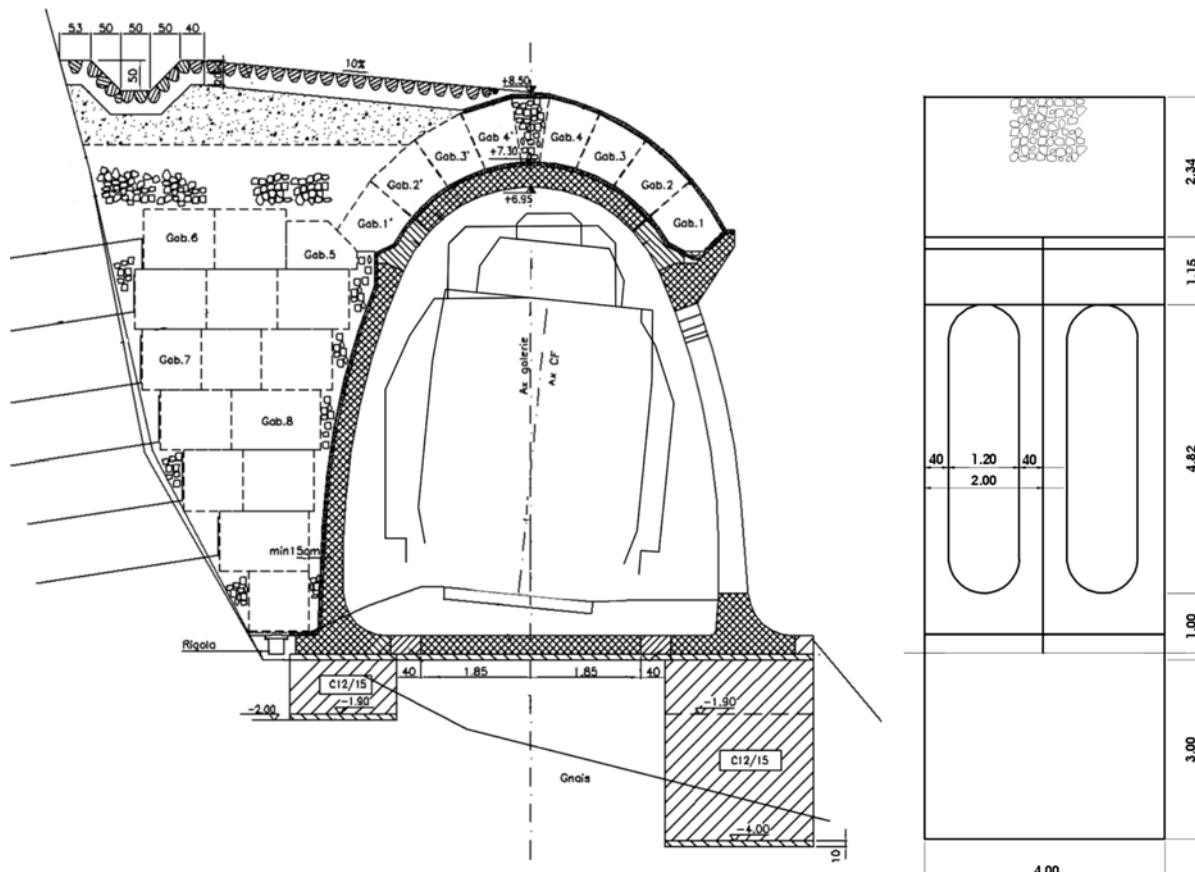


Fig. 2.9 Secțiune transversala tunel de protecție împotriva caderilor de stinci.

2.2.2. Clasificare dupa locul unde se construiesc.

a. Tuneluri de munte.

In aceasta categorie intra tunelurile feroviare si rutiere si cele de protectie.

b. Tuneluri urbane (in orase).

In aceasta categorie intra metrourele, pasajele rutiere si pasajele pietonale.

c. Tuneluri pe fundul apelor

In aceasta categorie intra tunelurile realizate din elemente casetate plutitoare, lansate de la suprafata pe fundul apei (Fig. 2.10). Primul tunel realizat in acest mod a fost executat in Detroit (SUA) in anul 1909, pentru cale ferata dubla si avind o lungime de 807 m.

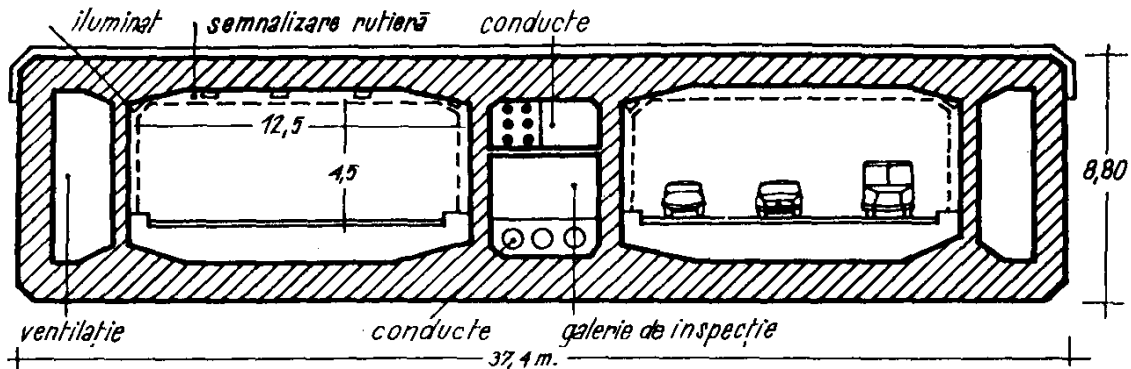


Fig. 2.10 Sectiune transversala a tunelului din golful Tokio.

d. Tuneluri pe sub fundul apelor.

Prima incercare de subtraversare a unui curs de apa a fost facuta in Anglia in anul 1807, pentru realizarea unui tunel rutier pe sub Tamisa. Dupa executarea a 130 m, lucrarea a fost abandonata datorita infiltratiilor de apa, reluata in 1823, abandonata din nou in 1828 si reluata in 1836 de catre Brunel, care a introdus o camera speciala (primul scut) cu ajutorul careia lucrarea se termina in 1843.

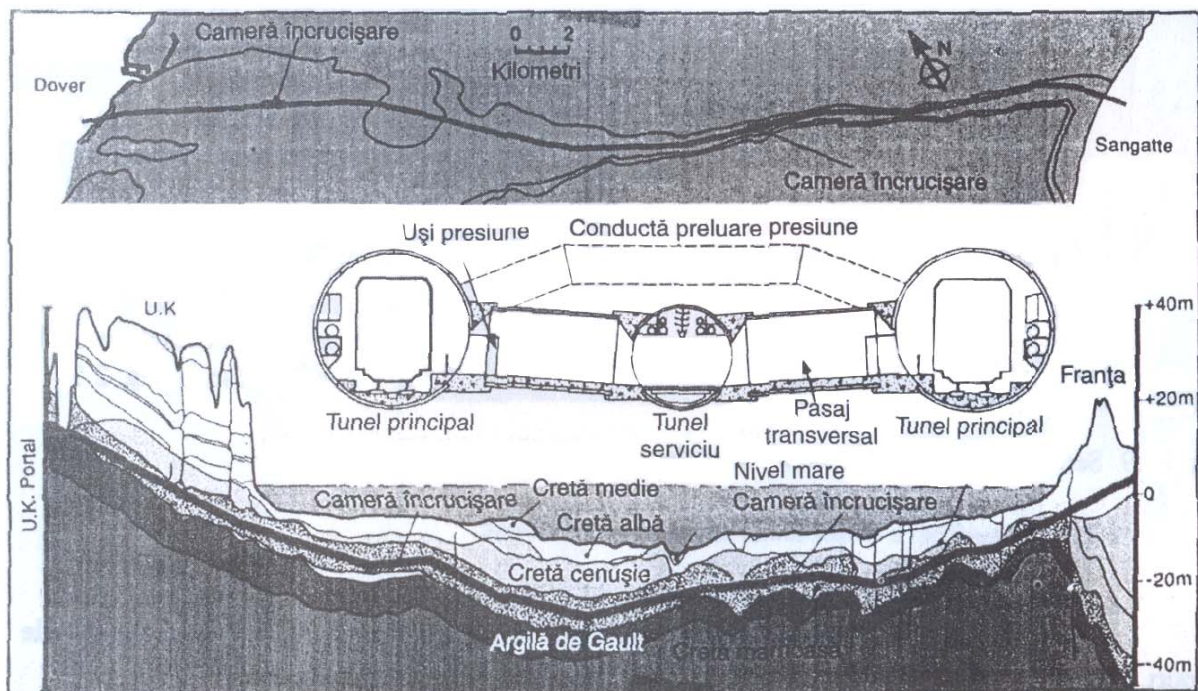


Fig. 2.11 Tunelul pe sub canalul Minecii (Plan de situatie, sectiune transversala, profil in lung)

Cel mai celebru tunel din aceasta categorie este tunelul sub canalul Minecii, construit între 1986 - 1992 de 52 km lungime cu doua tuneluri principale feroviare de 7.8 m diametru si un tunel de serviciu de 4.3 m diametru (Fig. 2.11).

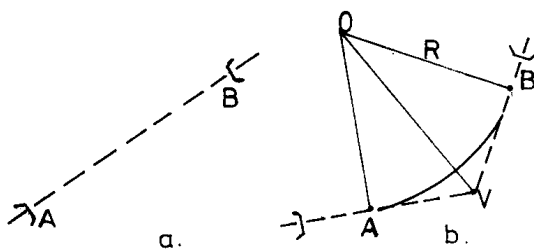
Performantele realizate la acest tunel il recomanda ca o realizare de virf in domeniu.

2.2.3. Clasificare dupa modul de dezvoltare in plan de situatie si pozitia in profil in lung si profile transversale.

a. *Dupa forma traseului in plan, avem:*

- tuneluri in aliniament sau curba (Fig.2.12);
- tuneluri in bucla sau spirala (Fig. 2.13).

Executia tunelurilor in aliniament este indicata atat din punct de vedere al executiei, cit si al exploatarii. Realizarea tunelurilor in curba este dictata de conditiile topografice sau geologice si prezinta dezavantaje atat la executie, cit si in exploatare.



Tunelurile cu traseul in bucla sau spirala sunt mai rare si se adopta cind este necesara cistigarea unei diferente de nivel mare între cele doua portaluri.

Fig.2.12 Tuneluri in aliniament (a) si in curba (b).

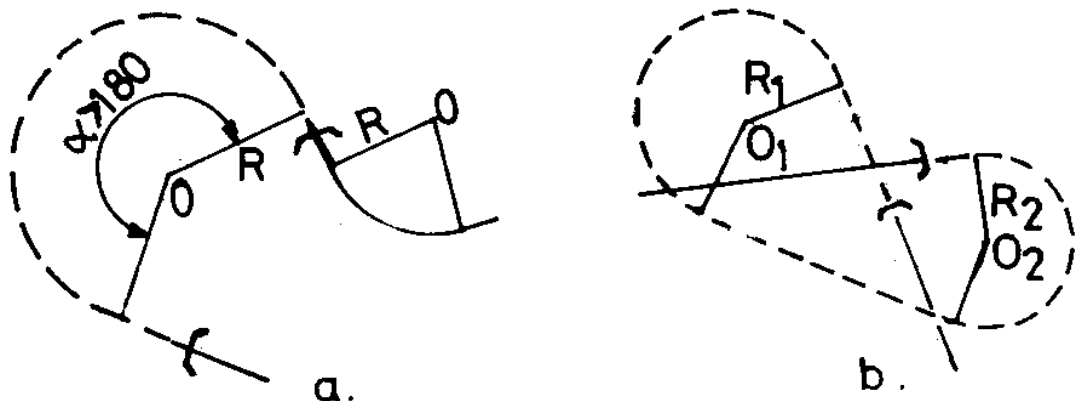


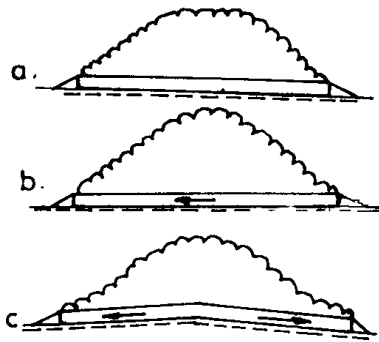
Fig. 2.13 Tuneluri cu traseu in bucla (a) si spirala (b).

b. *Dupa pozitia in profil longitudinal, putem avea:*

- tuneluri in palier cu o declivitate sau mai multe declivitati (Fig. 2.14);
- tuneluri de virf (creasta) si de baza (Fig. 2.15)

Realizarea tunelurilor in palier prezinta avantajul unei rezistente la tractiune reduse, dar necesita executarea canalelor de scurgere a apei cu pante de min.2‰ din mijlocul tunelului spre capete, limitind lungimea unor astfel de tuneluri.

Realizarea tunelurilor cu o panta sau mai multe pante este impusa de conditiile de traseu si de necesitatea cistigarii de inaltime, iar executia este indicat sa se faca in rampa pentru asigurarea scurgerii apelor.



Tunelurile realizate cu pante opuse (*spinare de magar*) sînt mai rare si sînt impuse de necesitatea atacarii de la ambele capete in scopul reducerii duratei de executie. Daca in profil longitudinal tinem cont de pozitia fata de creasta muntelui, vom avea tuneluri de virf sau de creasta si tuneluri de baza.

Fig.2.14. Tuneluri in palier (a), cu o declivitate (b) si cu doua declivitati (c).

Tunelurile de virf sau de creasta strapung muntele aproape de creasta si au lungimi mici in comparatie cu traseul de acces care este lung si sinuos, cu raze mici, declivitati mari si numeroase alte lucrari (poduri, podete, ziduri de sprijin).

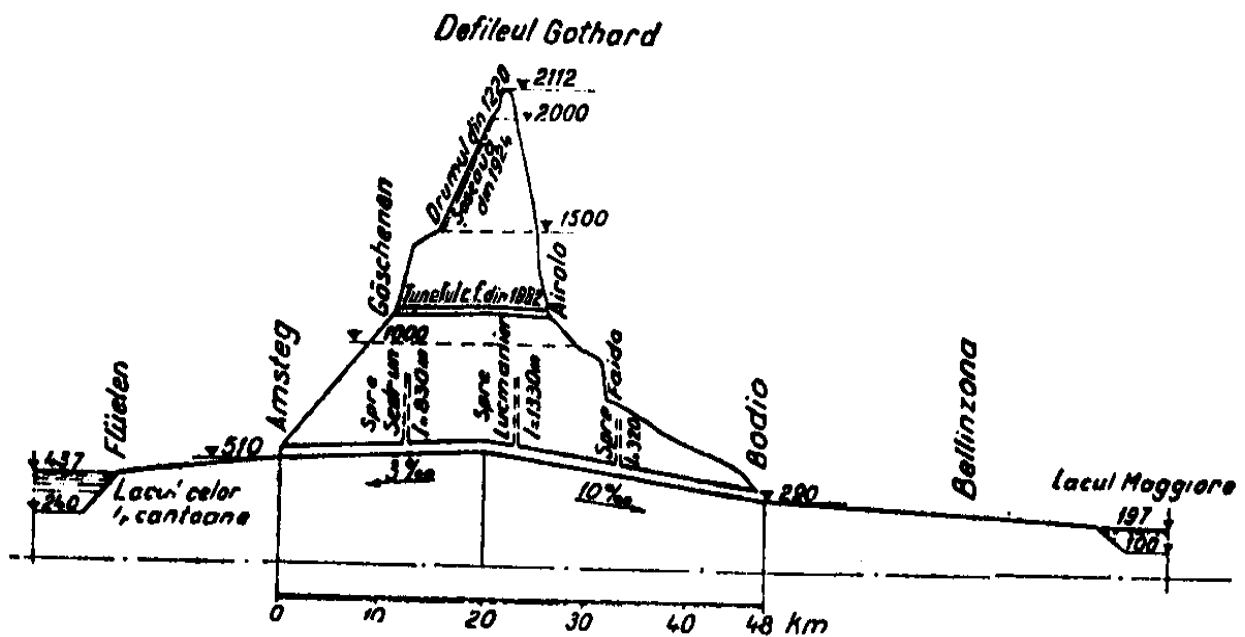


Fig. 2.15 Tuneluri de baza si de creasta (St. Gothard)

Astfel de tuneluri se intilnesc in general pe liniile secundare, care pot fi inchise pe perioada iernii datorita inzapezirii portiunilor de acces si dificultatilor de intretinere in astfel de situatii. Tunelurile de baza sînt amplasate la baza muntelui, la adincimi mari si au lungimi mari. Astfel de tuneluri se realizeaza pe caile principale feroviare sau rutiere (c.f. pentru viteze mari sau autorute) unde conditiile de circulatie impun caracteristici geometrice atit in plan, cit si in profil in lung imbunatatite.

Adoptarea variantei cu tunel de baza sau de creasta se va face intotdeauna pe baza unui studiu tehnico-economic comparativ, analizindu-se in special costurile de executie vizavi de cheltuielile de exploatare si intretinere a celor doua variante.

c. Dupa pozitia in profil transversal, avem:

- tuneluri de adincime (Fig. 2.16a) ;
- tuneluri de coasta (Fig. 2.16b);
- tuneluri in profil mixt (Fig. 2.16c);
- tuneluri de protectie Fig. 2.16d).

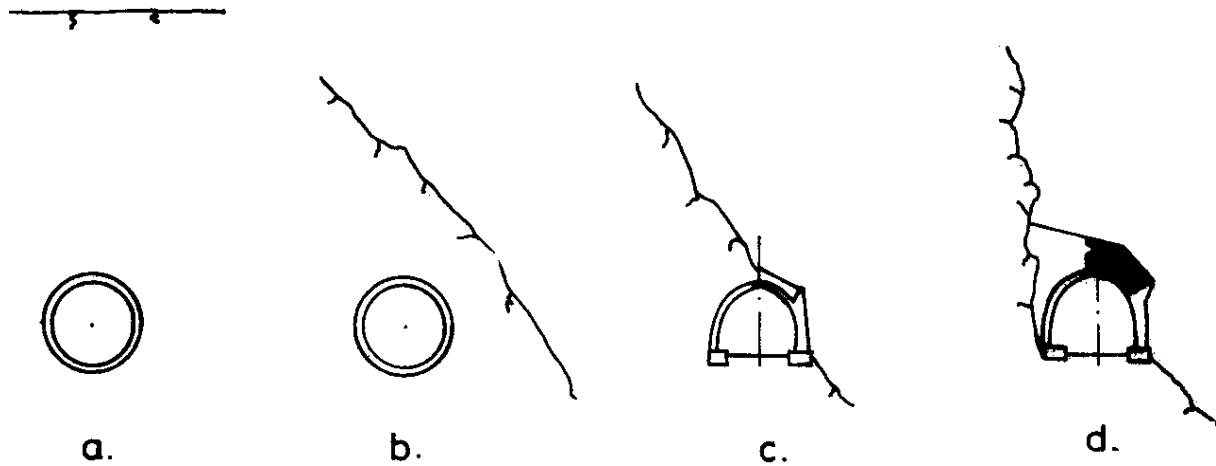


Fig. 2.16 Reprezentare tuneluri dupa pozitia in profil transversal.

Tunelurile de adincime sint cele mai indicate din punct de vedere al executiei, dar sint mai lungi.

Tunelurile de coasta si in profil mixt apar pe zone de traseu desfasurat in lungul unei vai, unde conditiile topo si geologice nu permit realizarea la suprafata.

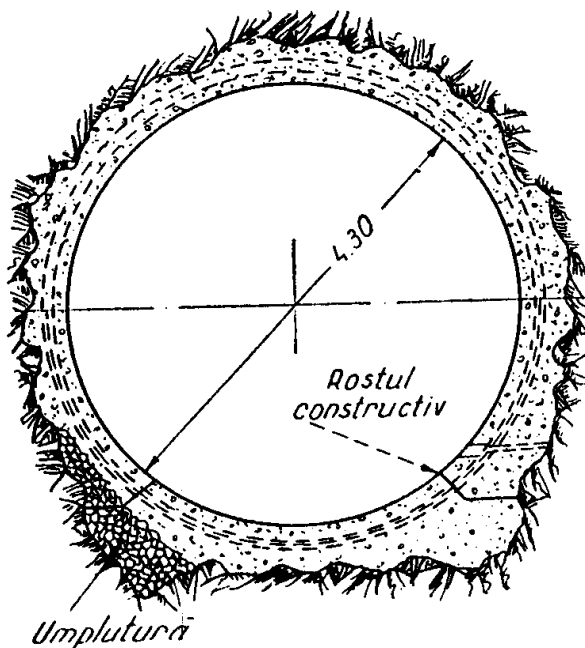
Executia unor astfel de tuneluri este dificila datorita impingerilor nesimetrice dezvoltate de versantul inclinat.

Tunelurile in profil mixt au si o executie mixta, zidul oval se executa la zi, iar bolta si piciorul armate se executa in subteran.

Pentru tuneluri de protectie vezi 2.2.1.f.

2.3. Tuneluri pentru transport (galerii).

2.3.1. Tuneluri (galerii) pentru amenajari hidroelectrice.



In aceasta categorie intra tunelurile din cadrul amenajarilor centralelor hidroelectrice.

Aceste galerii sint de doua tipuri: galerii de aductiune si galerii sub presiune.

Galeriile de aductiune conduc apele dintr-o vale in alta sau din lacul de acumulare la conducta sub presiune prin curgere libera. (Fig. 2.17)

Fig. 2.17 Sectiune transversala galerie de aductiune.

Forma sectiunii transversale este ovoidala sau potcoava.

Galeriile sub presiune conduc apele direct catre turbine, avind intreaga sectiune ocupata si forma circulara. Presiunea apei interioare poate depasi presiunile exterioare geologice sau hidraulice, necesitind un inel interior de beton armat sau chiar un blindaj metalic. Si aici trebuie evidentiata existenta cavernelor ce adapostesc centrale hidroelectrice subterane.

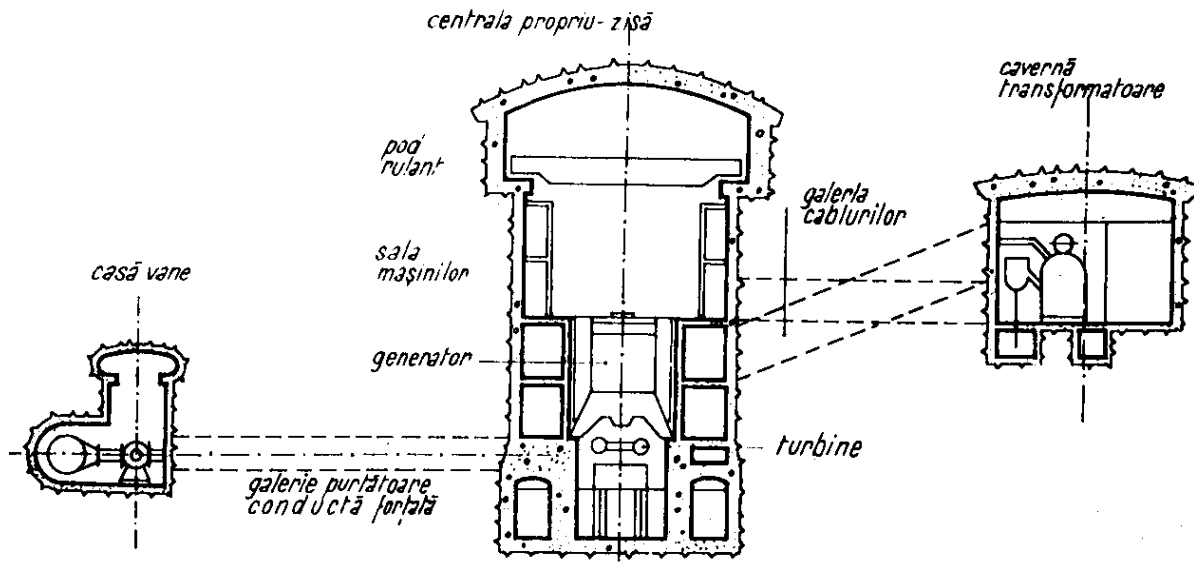
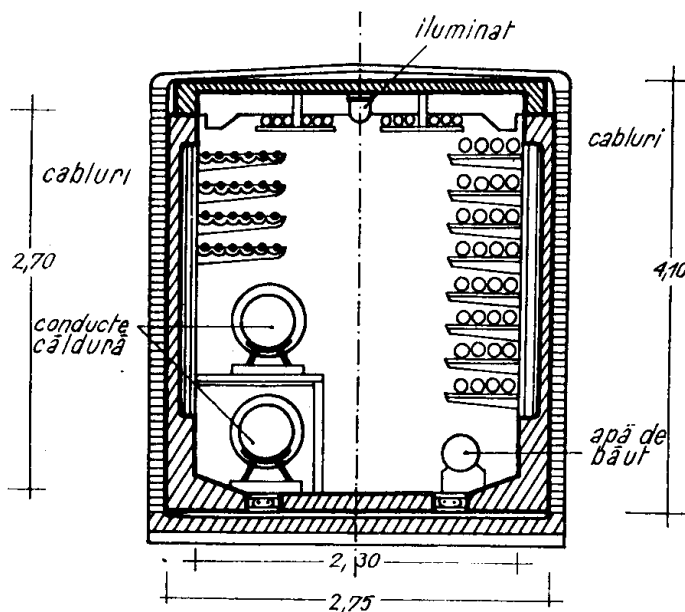


Fig. 2.18 Sectiune transversala hidrocentrala subterana (Lotru).

2.3.2. Tuneluri pentru aductiunea apei (apeducte).

Aceste tuneluri sint asemenea celor pentru amenajari hidroelectrice, cu deosebirea ca pot fi construite si in terenuri slabe.

2.3.3. Tuneluri (galerii) edilitare.



Aceste tuneluri sint specifice aglomerarilor urbane, avind forma si dimensiunile sectiunii transversale, functie de scopul si adincimea la care se construiesc. Cele mai intilnite si cunoscute sint galeriile pentru scurgerea apelor uzate (canalizari) care au forma ovoidala sau circulara. Diversele retele subterane din centrele urbane (cabluri, conducte) pot fi concentrate in galerii multifunctionale care sa permita accesul si circulatia personalului de intretinere. (Fig.2.19)

Fig. 2.19 Sectiune transversala galerie multifunctionala.

2.4. Elementele caracteristice ale unui tunel.

Analiza unui tunel în plan de situație, profil în lung și secțiune transversală va scoate în evidență elementele caracteristice ale unui tunel.

2.4.1. Elemente caracteristice în plan de situație și profil în lung (Fig. 2.20).

Accesul căii de comunicație către tunel se face prin intermediul unor tranșee de acces, care pot fi mai lungi și deci marginite de ziduri de sprijin sau mai scurte și susținute de aripi (1).

La capetele tunelului se realizează două elemente constructive numite portaluri (2), care au atât rol constructiv de a prelua împingerea masivului în sens longitudinal, cât și rol estetic, având o realizare arhitectonică care se încadrează armonios mediului înconjurător.

Tunelul propriu-zis este alcătuit din elemente constructive numite inele (3) a căror lungime depinde de natura rocilor străbătute și metoda de execuție utilizată.

Tunelurile feroviare au prevăzute în peretii inelelor locașuri numite nișe (4) care au rol de a adăposti personalul de întreținere surprins de tren în tunel și care sînt amplasate la 25 m de o parte și de alta a axului tunelului.

Pentru tunelurile mai lungi de 500 m se prevăd și nișe mari (5) cu rol de adăpostire a utilajelor și materialelor de întreținere și care se amplasează la 250 m una de alta.

Tunelurile lungi pot fi, de asemenea, prevăzute cu puturi de aerisire (6) pentru îmbunătățirea ventilației în tunel.

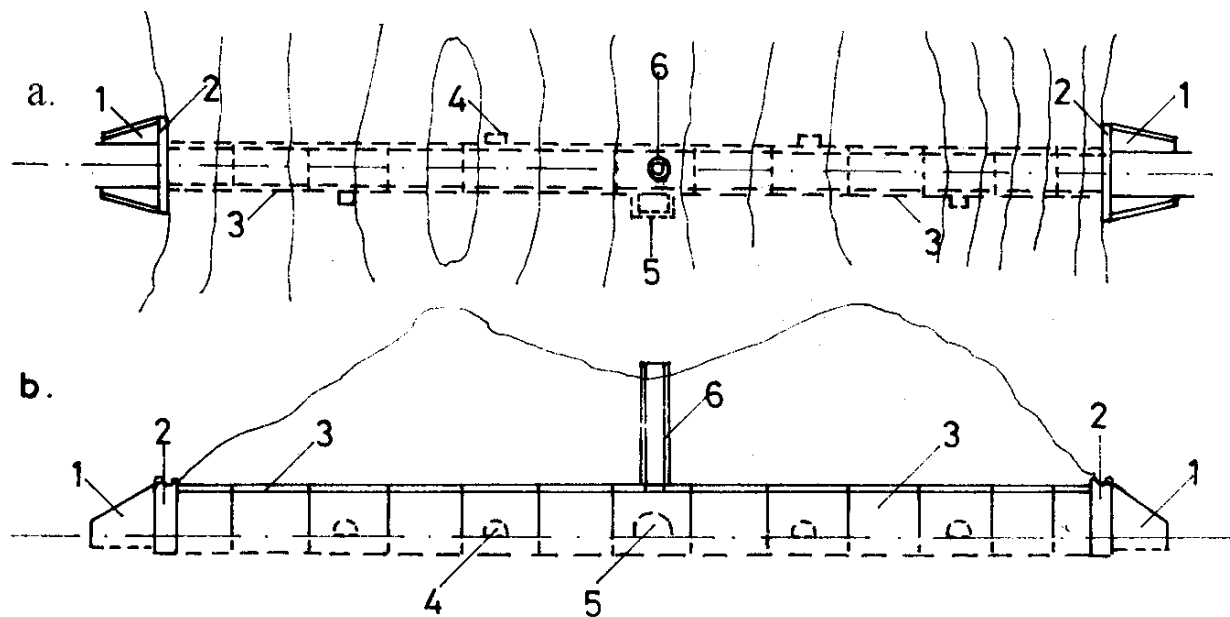


Fig. 2.20 Elemente caracteristice tunel. Plan de situație (a), profil în lung (b).

1 - aripa; 2 - portal; 3 - inel; 4 - nișă mică; 5 - nișă mare; 6 - put ventilatie.

Alegerea traseului unui tunel, în plan de situație și profil în lung, se face în concordanță cu elementele caracteristice ale căii de comunicație (cale ferată sau drum) pe care este implantat și în funcție de condițiile topografice, geologice și hidrogeologice ale terenului.

Stabilirea traseului în plan se face respectând regulile de bază ale căii de comunicație din exterior, astfel încât caracteristicile funcționale ale liniei să rămână neschimbate.

Este de preferat un tunel drept (în aliniament) datorită: lungimii mai mici, construcției mai ușoare și vizibilității și ventilației mai bune.

In cazurile cind conditiile topografice sau geologice impun un traseu in curba, curbele trebuie astfel adoptate incit sa nu se depaseasca rezistenta caracteristica admisa a liniei.

Stabilirea profilului in lung pe zona tunelului trebuie sa tina cont de anumite particularitati specifice tunelurilor.

Acestea sint: aderenta diminuată datorită umidității sporite, rezistența aerului sporită datorită secțiunii închise și efectului de “piston”.

Aceste particularități conduc la diminuarea forței de tracțiune în tunel, ceea ce determină o reducere a declivității în tunel cu 3-8‰, funcție de declivitatea în exterior.

În anumite cazuri declivitatea în tunel, deci profilul în lung, poate fi stabilită de necesitatea scurgerii apelor. Această condiție impune adoptarea unei pante minime de 2‰.

La stabilirea traseului în plan de situație și în profil longitudinal, o deosebită importanță o are alegerea punctelor de intrare și ieșire din tunel.

Adâncimea maximă a tranșei în dreptul peretelui poate fi între 10-20 m, în funcție de natura terenului și înclinarea terenului și a stratelor, atât în sens longitudinal, cât și transversal.

2.4.2. Secțiunea transversală a tunelurilor. (Elemente caracteristice și mod de alegere)

Tunelurile se disting în cadrul construcțiilor subterane și prin multitudinea de tipuri de secțiuni transversale.

Alegerea judicioasă a unui anumit tip de secțiune transversală se face pe baza următoarelor elemente:

1. Alegerea formei și dimensiunilor secțiunii transversale:

- 1.a. Convoaiele care vor circula prin tunel;
- 1.b. Natura terenului în care se execută;
- 1.c. Metoda de execuție utilizată;
- 1.d. Materialele întrebuintate pentru captuseala.

2. Alegerea sistemului de captuseala (soluții constructive):

2.1. Cu o captuseala:

- a. Monolită;
- b. Prefabricată.

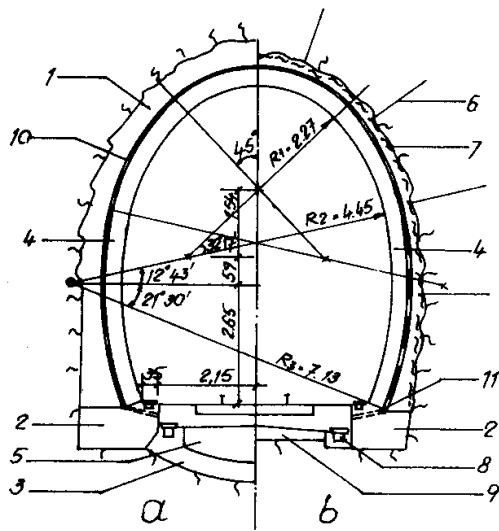
2.2. Cu două captuseli:

- a. Captuseala exterioară prefabricată și captuseala interioară monolită;
- b. Ambele captuseli monolite.

2.4.2.1. Alegerea formei și dimensiunilor secțiunii transversale.

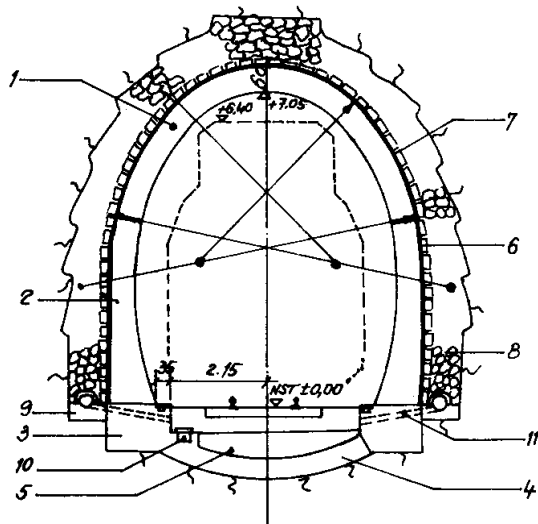
- 1.a. În funcție de convoaiele care vor circula, tunelurile vor fi:
 - . de cale ferată (simplă sau dublă)
 - . rutiere
 - . orășenești (metrou)

Tunelurile de cale ferată simplă au cel mai des secțiunea în forma de potcoavă (Fig.2.21 și Fig.2.22). În cazul execuției cu metoda - scutului, secțiunea este circulară (Fig. 2.23), iar în cazul execuției la zi, cu pereți mulți secțiunea poate fi dreptunghiulară (Fig.2.24).



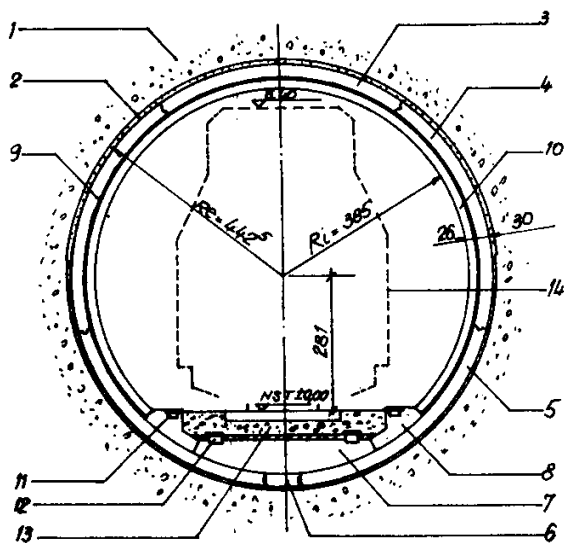
- a. Executie cu metode clasice.
- b. Executie cu Noua Metoda Austriaca.
- 1. Captuseala exterioara din beton B200
- 2. Fundatie din beton B150
- 3. Radier de rezistenta din B200
- 4. Captuseala interioara din B200
- 5. Beton de umplutura B50
- 6. Ancora metalica
- 7. Captuseala exterioara din beton torcretat cu plasa de sirma
- 8. Canal de scurgere ape
- 9. Radier de protectie din B100
- 10 Hidroizolatie intermediara
- 11. Barbacana.

Fig.2.21 Tunel de CF simpla cu sectiune potcoava si 2 captuseli



- 1. Bolta din beton B200
- 2. Picior drept din beton B200
- 3. Fundatie B150
- 4. Radier rezistenta B200
- 5. Beton de umplutura B50
- 6. Hidroizolatie exterioara
- 7. Sapa de protectie din caramizi de beton prefabricate
- 8. Saltea drenanta din piatra bruta
- 9. Rigola colectare ape
- 10. Canal evacuare ape
- 11. Barbacana

Fig.2.22 Tunel de CF simpla cu sectiune potcoava si o captuseala.



- 1. Teren strabatut
- 2. Material injectat
- 3. Boltar de cheie tip K
- 4. Boltar lateral tip L
- 5. Boltar de baza tip M
- 6. Boltar de inchidere tip I
- 7. Boltar de radier tip R
- 8. Boltar banchina tip B
- 9. Hidroizolatie intermediara
- 10. Captuseala interioara B300
- 11. Canal cable
- 12. Canal evacuare ape
- 13. Prism piatra sparta
- 14. Gabarit electrificare

Fig.2.23 Tunel de CF simpla cu sectiune circulara.

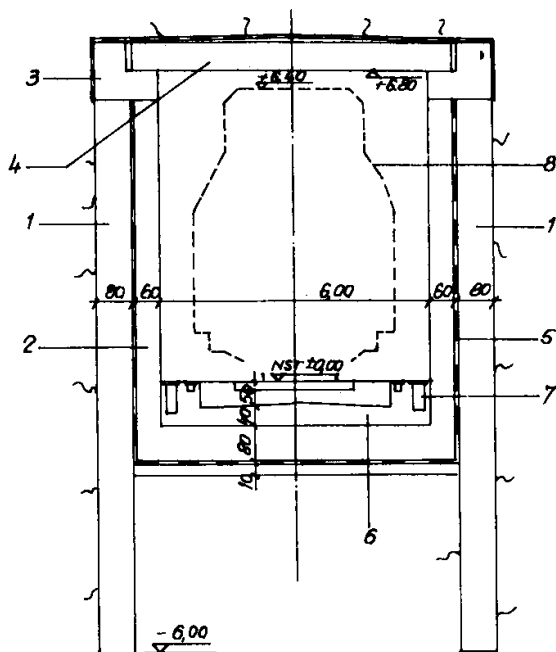


Fig. 2.24 Tunel de Cf simpla cu sectiune dreptunghiulara

1. Pereti mulati din beton B200
2. Captuseala (cadru) interioara din beton armat B200
3. Cuzinet din beton armat B200
4. Dala prefabricata din beton armat B400
5. Hidroizolatie intermediara
6. Beton de umplutura B50
7. Canal evacuare ape
8. Gabarit electrificare

Tunelurile pentru C.F.dubla pot fi executate cu o singura bolta de forma circulara (Fig. 2.25) sau in miner de cos, respectiv cu doua bolti gemene (Fig. 2.26).

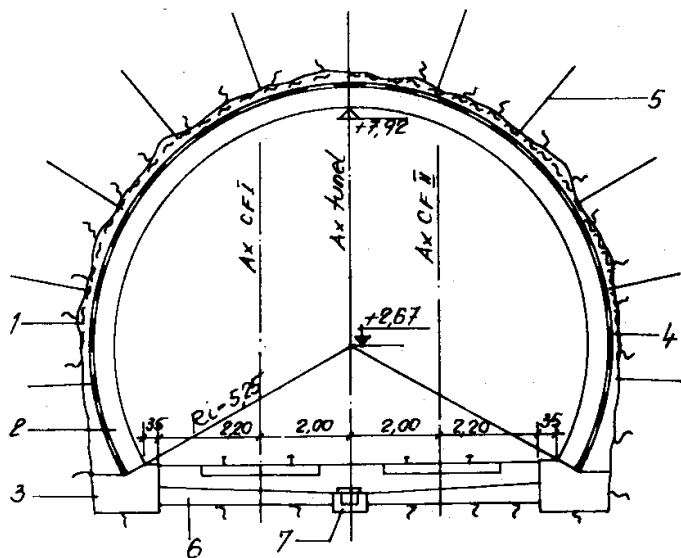
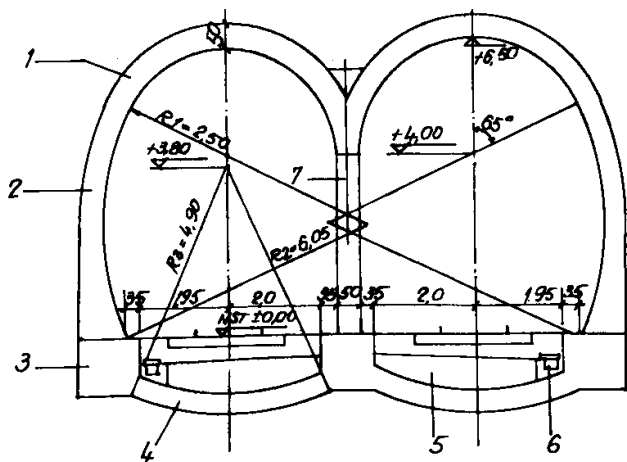


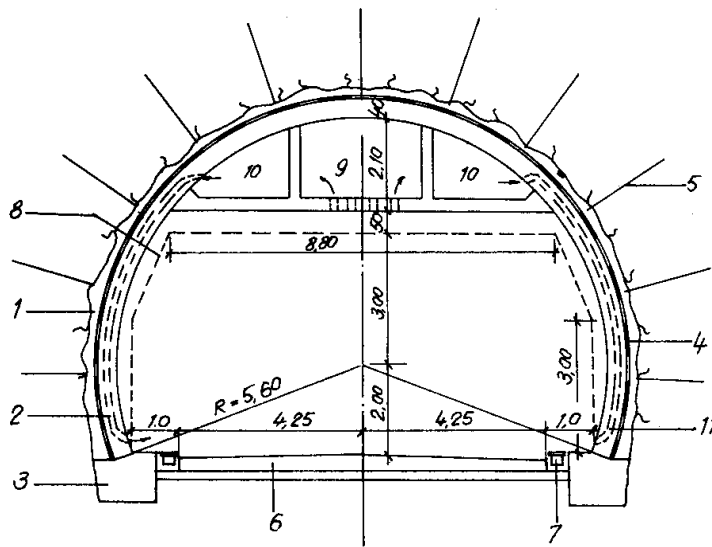
Fig. 2.25 Tunel de CF dubla

1. Captuseala exterioara din beton torcretat
2. Captuseala interioara din beton armat B200
3. Fundatie din beton B150
4. Hidroizolatie intermediara
5. Ancora metalica betonata
6. Radier de protectie B100
7. Canal central de scurgere a apelor



1. Bolta din beton B200
2. Picior drept din beton B200
3. Fundatie B150
4. Radier de rezistenta B200
5. Beton de umplutura B50
6. Rigola colectare ape
7. Perete central

Fig. 2.26 Tunel de CF dubla cu bolti gemene



1. Captuseala exterioara din beton torcretat
2. captuseala interioara din beton armat B200
3. Fundatie din beton B150
4. Hidroizolatie intermediara
5. Ancora metalica betonata
6. Imbracaminte rutiera
7. Canal scurgere ape
8. Gabarit rutier
9. Canal aer viciat
10. Canal aer curat
11. Canal transversal de ventilatie

Fig. 2.27 Tunel rutier

Tunelurile rutiere pentru cai simple (Fig. 2.27) sînt asemanatoare ca forma si dimensiuni cu tunelurile de C.F. dubla. Pentru autostrazi se poate adapta solutia cu bolti gemene.

Metrouirile pot avea sectiunea dreptunghiulara cind se executa la mica adincime sau sectiunea circulara (Fig. 2.28) cind se executa la adincime mare.

Sectiunea utila interioara sau gabaritul de circulatie al tunelurilor se stabileste luind in considerare urmatoarele aspecte:

- gabaritul vehiculelor care circula prin tunel (trenuri, autovehicule rutiere, metrou);
- spatiul pentru diverse instalatii (de ventilatie, electrice, pentru conducte, canalizare, etc.);
- spatiul de siguranta care sa acopere eventualele imprecizii de executie, deformatii ale captuselii, etc.;
- spatiul suplimentar pentru inscrierea vehiculelor in curba, la tunelurile in curba.

Pentru tunelurile de C.F. se vor respecta prescriptiile din STAS-4392 privind gabaritele pentru tuneluri. La tunelurile in curba, axul tunelului se deplaseaza fata de axul C.F. spre interiorul curbei cu o cantitate " Δ " care se calculeaza in functie de inclinarea gabaritului datorita suprainaltarii caii, cit si a pozitiei gabaritului, fata de suprainaltare, Fig. 2.29.

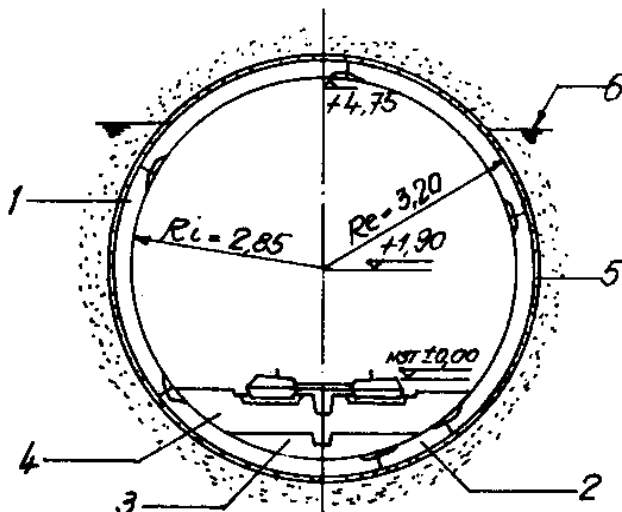


Fig. 2.28 Tunel pentru metrou sectiune circulara

1. Boltar crenit prefabricat din B500
2. Boltar de inchidere prefabricat B500
3. Radier provizoriu B200
4. Fundatia caii directe din B200
5. Material injectat
6. Nivel pinza freatica

În timpul reparațiilor, la tunelurile în curbă se poate desființa supraînălțarea în condițiile circulației cu viteze foarte mici). Pentru trasarea gabariturii la tunelurile în curbă se vor folosi și tabelele nr. 2.3 și 2.4 .

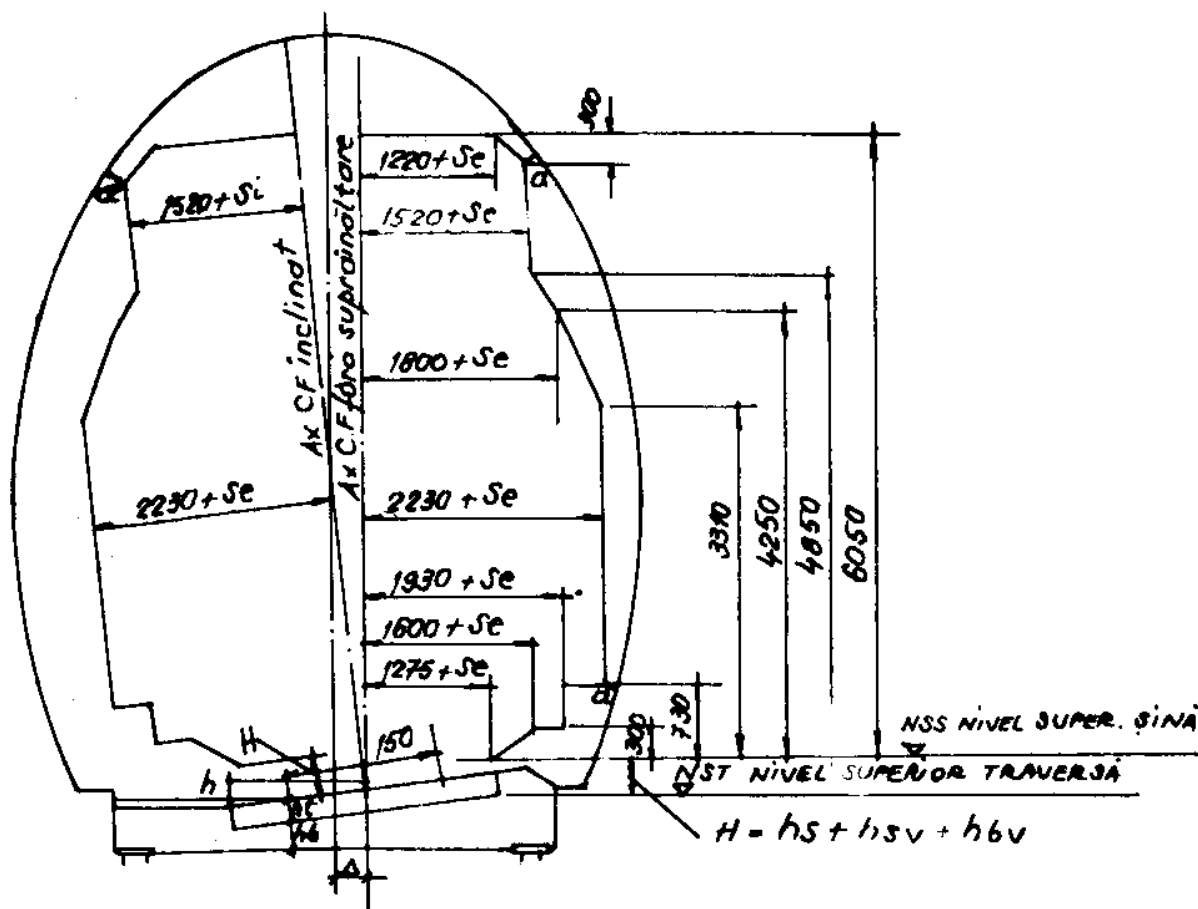


Fig. 2.29 Gabarit pentru tuneluri Cf în curbă

La tunelurile rutiere se vor respecta gabariturile cuprinse în STAS-2924 luând însă în considerare un spațiu de siguranță mai mare având în vedere deplasarea liberă a vehiculelor rutiere și necesitatea unei ventilații mai intense (Fig. 2.30 și tabelul 2.5).

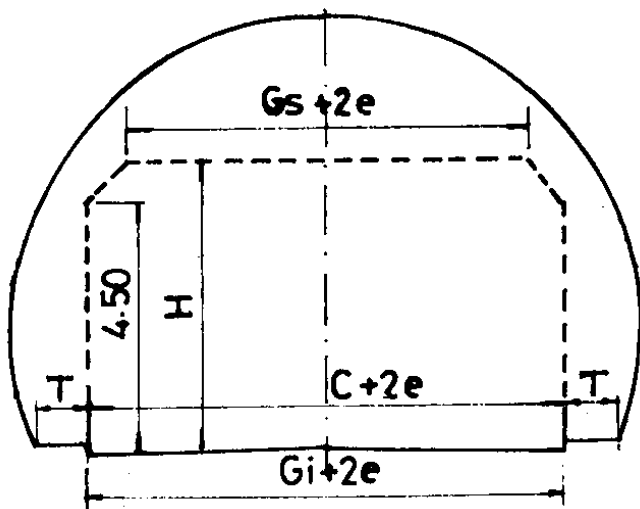


Fig. 2.30 Gabarit pentru tuneluri rutiere cu două benzi de circulație

În cazul tunelurilor rutiere în curbă la lățimea părții carosabile se adaugă supralargirile "s" = 2e (tabel 2.6) prevăzute în STAS-863/1 . De regulă supralargirile "s" se aplică la interiorul curbei. În tabelul 2.7 este prezentată procedura generală a stabilirii secțiunii transversale pentru un tunel rutier

Tabelul 2.3. Elemente necesare trasarii gabaritudului pentru tuneluri de CF in curba.

Raza curbei (m)	4000	3500	3000	2000	1800	1500	1200	1000	800	700	600	500	400	350	300	250	200	180	150
h (mm)	50	55	65	100	110	135	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	145	110
Se=Si (mm)	10	10	15	20	20	25	30	35	45	50	60	75	90	105	120	145	180	200	240
Sc (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	10	10	15	20	25	25	25

Tabelul 2.4

Nr. crt.	Inaltimea elementului suprastructurii in mm			Rezerva de inaltime pentru viitor in mm	
	Sina inclusiv placa suport si placutele (hs)	Traversa normala (ht)	Patul de balast sub traversa (hb)	datorita inlocuirii elementelor suprastructurii (hav)	datorita burajelor repetate (hbv)
1	200	200	300	100	50

Tabelul 2.5

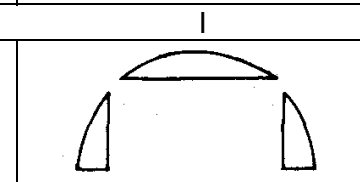
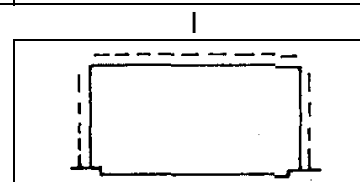
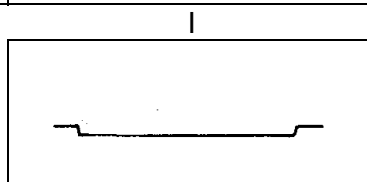
Nr. crt.	Dimensiunea	Simbol conform Fig. 2.30	Elemente de gabarit	
			DN si DJ clasa III si IV	Strazi categ. I cu tramvai
1	Latimea partii carosabile	c	7.0	7.0
2	Latimea trotuarului	T	1.0	1.0
3	Latimea gabaritului la partea inferioara	Gi	9.0	7.0
4	Latimea gabaritului la partea superioara	Gs	8.0	6.0
5	Latimea gabaritului in axul tunelului	H	5.0	5.5

Tabelul 2.6

Nr. crt.	Viteza km/h	Supralargirea "e" (m) a unei benzi pentru curbe cu R (m)					
		225 - 210	200 - 150	140 - 125	120 - 110	100	90
1	80	0.25	-	-	-	-	-
2	60	0.25	0.25	0.30	0.35	-	-
3	40	0.25	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
4	25	0.25	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45

Tabel 2.7 Schema de principiu pentru stabilirea secțiunii transversale la un tunel rutier.

- Date trafic. - Date geometrice (profil in lung) - Diverse (2 trotuare)	-Numar de cai. - Cale suplimentara in rampa. - Pista biciclete.	- Inaltime libera minima. - Toleranta pentru constructie si intretinere	- Inaltime libera fata de captuseala.	- Spatii superioare pentru echipamente de iluminat si semnalizare.
- Examinare cazuri de incidenta. - Influenta strategiei de exploatare. - Omogenitate traseu.	- Latime rulabila.	- Toleranta laterala.	- Spatiu de circulatie fata de tunel.	- Necesitati de ventilatie: - acceleratori; - conducte; - plafon fals.
- Influenta traseului in plan.	- Supralargire cale. - Studiere vizibilitate (supralargire).	- Prezenta echipamente la partea superioara. - Toleranta de protectie la partea superioara.	- Inaltime libera fata de echipamente	- Spatii laterale (semnalizare, iluminare).
- Latimea trotuarului functie de nevoile pe si sub trotuar.	- Latime intre picioarele drepte la nivel banchina.	- Prezenta echipamente laterale. - Toleranta laterala de protectie.	- Spatiu de circulatie fata de echipamente.	



- Considerarea inclinații - Influenta diverselor metode de executie.	- Forma profilului	
---	--------------------	--

1.b. Natura terenului are o influență deosebită asupra concepției profilurilor de tunel.

În funcție de natura terenului înconjurător se disting:

- tuneluri în roci;
- tuneluri în pământuri (nisip, argilă, pietriș, etc.).

Încărcările exterioare ce acționează asupra tunelurilor determinând forma și dimensiunile captuselor depind de caracteristicile de rezistență ale terenului străbătut.

În practică, forma eliptică a secțiunii tunelului se înlocuiește cu cea în miner de cos construit din mai multe raze (Fig. 2.21).

Pe măsură ce terenul este tot mai slab și presiunea laterală crește, introducerea secțiunii circulare devine avantajoasă.

Avantajul incontestabil al secțiunii eliptice față de cea circulară este reducerea efortului de întindere de la cheie.

Natura terenului poate fi definită cu ajutorul studiilor geologice prin:

- determinarea originii și stării stratificației străbătute;
- determinarea condițiilor hidrogeologice;
- determinarea proprietăților fizico-mecanice ale rocilor.

Dintre factorii enumerați mai sus proprietățile fizico-mecanice ale rocilor străbătute de tunel intervin în mod direct la determinarea încărcărilor ce acționează asupra structurii subterane, influențând forma și dimensiunile acestora.

Determinarea acestor caracteristici se face prin încercări de laborator sau “in situ”. În lipsa acestor determinări se pot utiliza și valorile din tabelele existente în literatura de specialitate.

1.c. Rolul metodei de execuție

Alegerea metodei de execuție este în primul rând influențată de condițiile de teren și apoi de utilajul sau materialele disponibile.

Metodele de execuție clasice pot fi utilizate atât în roci, cât și în pământuri cu realizarea de secțiuni sub forma de: potcoavă, boltă circulară sau bolti gemene.

Metoda scutului conduce cel mai des la forma circulară și este recomandabilă în terenuri slabe.

Metoda execuției la zi permite execuția de secțiuni dreptunghiulare boltite sau potcoavă.

În roci dure adaptarea metodei de execuție cu frontul liber permite adoptarea oricărei forme de tunel.

1.d. Influența materialelor utilizate.

Tunelurile executate sub forma de boltă sau miner de cos, utilizau ca materiale piatră sau caramizile rezistente la compresiune dar lipsite de rezistență la întindere (secțiuni groase, atât la cheie, cât și mai ales în zona zidurilor drepte).

Utilizarea betonului armat monolit permite realizarea oricăror forme de tunel conducând și la dimensiuni mult reduse ale captuselor. Odată cu metoda scutului au fost introduse la execuția tunelurilor elementele prefabricate (boltari) care au fost realizați la început din fontă sau oțel și apoi din beton armat. Avantajele indiscutabile ale boltarilor (usurinta și viteza de execuție, dimensiuni reduse și realizarea de structuri elastice) i-au impus tot mai mult în domeniul construcției de tuneluri.

2.4.3. Sisteme de captuseli. Soluții constructive.

Cunoscând destinația tunelului, natura terenului, metoda de execuție și materialul ales și odată aleasă forma se poate trece la stabilirea sistemului de captuseala corespunzător, luând în considerare și alți factori cum ar fi: costul lucrării, viteza de execuție, exploatarea ușoară, tipul de hidroizolație, etc.

O caracteristică a tunelurilor este asigurarea unor condiții de exploatare care limitează pătrunderea apei în spațiul interior, prin prevederea unui sistem de hidroizolație. Există deci o interdependență între sistemul de captuseala și cel de hidroizolație.

2.4.3.1. Sisteme cu o singură captuseala

2.4.3.1.a. Tunelurile cu o singură captuseala monolită (Fig. 2.22) se întâlnesc tot mai rar ținând de metodele de execuție clasice, de execuție la zi sau de soluții speciale (bolti gemene). Adaptarea unor secțiuni groase cu saltea drenantă și hidroizolație la extrados sunt specifice acestui sistem de captuseala.

2.4.3.1.b. Tunelurile cu o singură captuseala prefabricată (Fig. 2.29) se întâlnesc mai ales la cele tip metrou, secțiunea caracteristică fiind de formă circulară.

Soluțiile constructive de captuseli prefabricate din beton armat sunt extrem de variate. Există captuseli din elemente cu secțiune transversală dreptunghiulară (boltari) sau cu nervuri (turbinguri), cu legătură sau fără legături, la rosturi continue sau cu rosturi întretesute, cu elementul de închidere la partea de sus sau la partea de jos, etc.

Numărul de elemente care compun inelele captuseli variază foarte mult de la inelul complet închis, la inelul format din maxim 30 de boltari.

Realizarea îmbinărilor dintre elementele captuseli, (Fig. 2.31) sunt de asemenea extrem de variate:

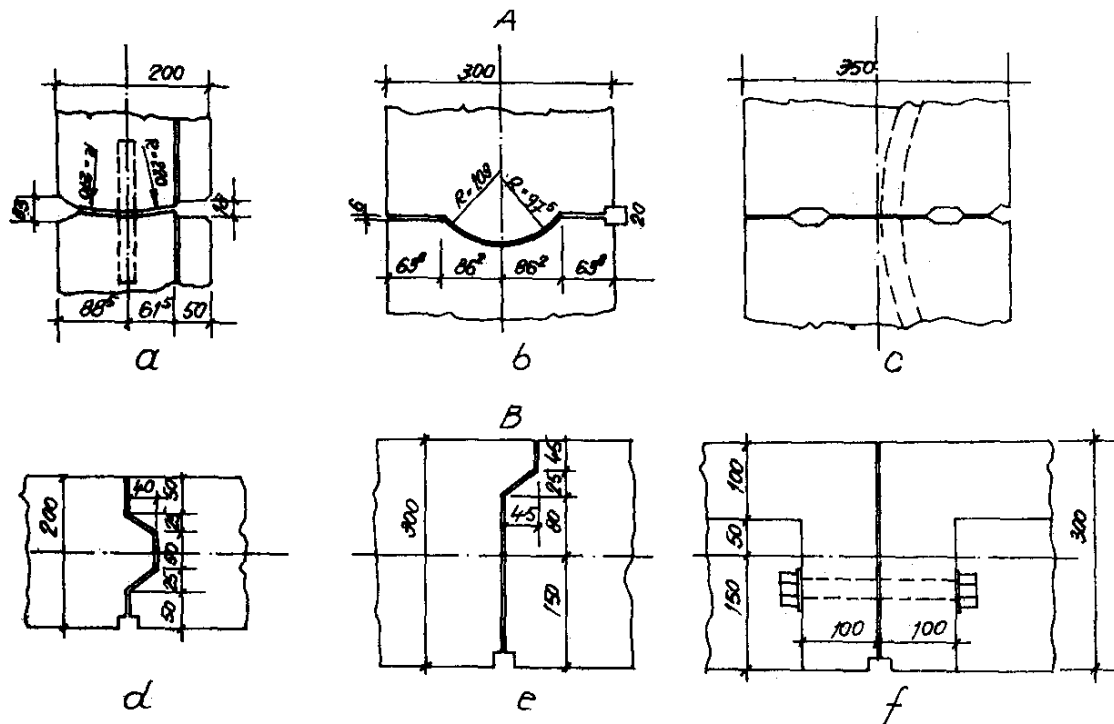


Fig. 2.31 Tipuri de îmbinări. A - Îmbinări transversale: a - Articulație totală cu bulon central; b - Articulație parțială; c - Îmbinare plană cu bulon de legătură curb; B - Îmbinări longitudinale: d - Îmbinare cu nut și feder central; e - Îmbinare cu nut și feder la extrados; f - Îmbinare plană cu bulon (boltar casetat).

- rosturi plane (cu sau fără legătură);

- rosturi cilindrice, cu rotire partiala sau totala cu bulon central sau fara;
- rosturi in nut si feder.

Dezavantajul principal al utilizarii tunelurilor cu o singura captuseala prefabricata consta in dificultatea realizarii unui sistem de etansare sigur in conditiile unui teren cu apa.

Dintre numeroasele sisteme de etansare propuse si aplicate prezentam sistemul prevazut la metroul din Bucuresti compus din trei bariere de etansare exterioara, mijlocie si interioara. (Fig. 2.32)

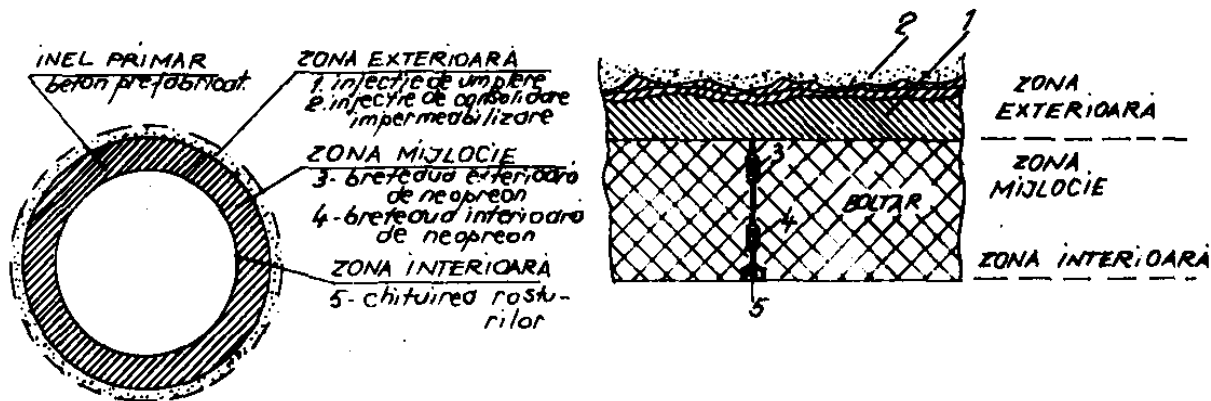


Fig. 2.32 Sistem etansare metrou.

2.4.3.2. Sisteme cu doua captuseli

2.4.3.2.a. Tuneluri cu 2 captuseli una prefabricata exterioara si una monolita interioara (Fig. 2.23) se utilizeaza la tunelurile de C.F. executate cu scutul.

Captuseala exterioara prefabricata prezinta toate caracteristicile captuseliilor prefabricate de la punctul 2.1.b. considerind ca se preia integral incarcările date de teren pina la introducerea captuseliilor interioare.

Pe intradosul captuseliilor exterioare se aplica hidroizolatia intermediara compusa din folie de aluminiu intre 2 straturi de bitum si carton sfaltat.

Captuseala interioara putind fi in intregime monolita sau prezentind si elemente prefabricate, preia acea parte a incarcărilor, care incep sa actioneze asupra tunelului dupa executarea captuseliilor interioare, incarcări care ar putea fi de ordinul a 30% din incarcările totale si care trebuie repartizate in raportul rigiditatilor asupra captuseliilor exterioare si interioare, care conlucreaza ca un sistem cuplat elastic.

2.4.3.2.b. Tuneluri cu doua captuseli monolite si o hidroizolatie intermediara, sint specifice "Noii Metode Austriece de executie" (Fig. 2.21b).

Captuseala exterioara este compusa din ancore, plasa de sirma si beton torcretat si in unele cazuri arce metalice sau cintre metalice.

Ancorele au rolul creierii unui arc de roca portant care sa preia o parte din eforturi, restul fiind preluate de betonul torcretat sau cintrele ajutatoare.

Captuseala interioara este un arc interior din beton monolit care in general poate conlucrea intr-un anumit procent cu captuseala exterioara.

Hidroizolatia intermediara adoptata este de tipul celei de la pct.2.2.a. sau de alte tipuri (ex.folie PVC).

In situatiile in care datorita calitatii rocii si adincimii la care se executa tunelul nu se dezvoltă eforturi mari se poate renunța la ancore si la torcret in favoarea unei captuseli de beton armat turnat monolit in cofraje (Fig. 2.21a).

2.5. Elemente generale pentru proiectarea unui tunel.

2.5.1. Procedura generala a proiectarii unui tunel

În studierea, analizarea, proiectarea și detalierea unei structuri subterane este necesară participarea interdependentă a următoarelor discipline: geologie, geotehnica, tehnologii de execuție, proiectarea elementelor structurale de susținere și legi contractuale.

Expertii în fiecare din aceste discipline sunt responsabili numai pentru aria de cunoștințe specifică, decizia finală de proiectare fiind rezultatul cooperării integrate a tuturor disciplinelor pentru dezvoltarea unui proiect unitar. În schema din Fig.2.33 sunt prezentate principalele elemente implicate în procedura de proiectare a unui tunel [12].

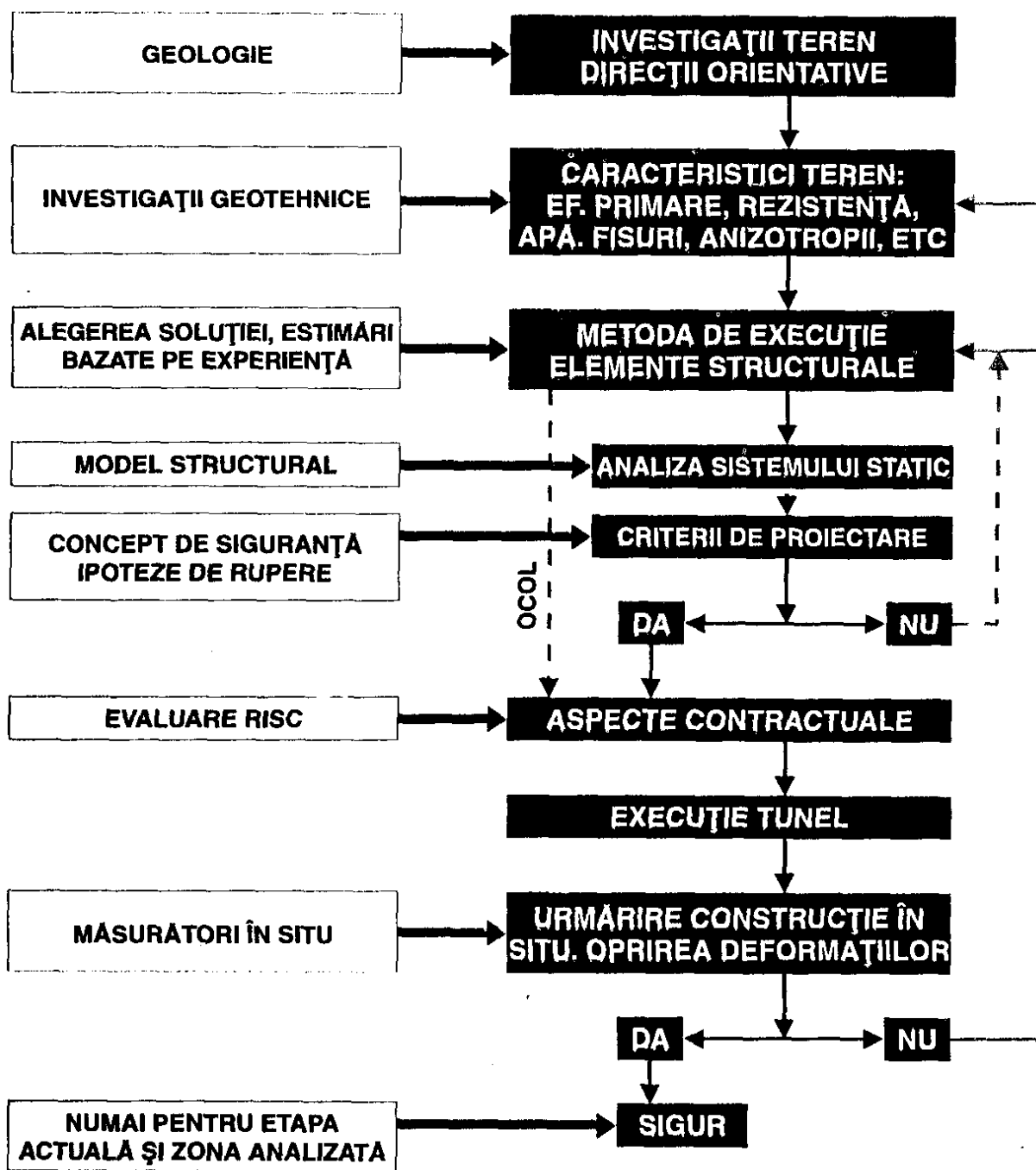


Fig.2.33 Schema procesului de proiectare pentru tuneluri

Incepind cu etapa a 3-a intervine inginerul tunelist care, bazandu-se pe experienta si calcule preliminare, stabileste solutia pentru tunel, alegind principalele elemente: elemente geometrice, metoda de executie, sistemul de sustinere si cel de etansare.

Dupa rezolvarea etapelor 1-3, inginerul tunelist trebuie sa stabileasca sau chiar sa inventeze un model structural si sa stabileasca criteriile si factorii de siguranta pentru constructie. Diferite modele pot fi utilizate pentru fiecare faza de executie sau pentru captuseala primara sau secundara, cu diferite comportari ale terenului.

Un concept de siguranta, plecind de la ipoteze de rupere, poate fi bazat pe criteriile cum ar fi: deformatii specifice, eforturi, deformatii sau moduri de rupere.

Saltul din Fig. 2.33 indica ca pentru multe structuri subterane, in roci tari in special, nu se mai aplica modelarea structurala, experienta anterioara fiind suficienta.

Evaluarea riscului de catre antreprenor si beneficiar este obligatorie in faza negocierii contractului. Aceasta implica posibilitatea producerii unor ruperi structurale ale sprijinirii sau captusealii tunelului, dupa realizarea lucrarii sau in timpul executiei.

Aspectele contractuale includ de asemenea impartirea riscului si responsabilitatile tehnice si financiare ale riscului.

Urmarirea comportarii constructiei in situ incepe dupa inceperea executiei.

Daca deplasările se opresc dupa un timp, se poate in general presupune ca structura este sigura. Rezultatele masuratorilor si experienta castigata in timpul executiei poate conduce pe proiectant la schimbarea modelului de proiectare adaptandu-l la conditiile reale de comportare.

Rezulta ca pentru structuri subterane este caracteristic acest proces iterativ, de adaptare, bazat pe experienta din timpul executiei si pe interpretarea masuratorilor in situ.

Toate etapele procesului de proiectare trebuie considerate intr-o unitate interactiva. Se recomanda adoptarea aceluasi grad de simplificare sau rafinament pentru toate etapele acestui proces. De exemplu, este inadecvat sa se aplice un model matematic sofisticat simultan cu date aproximative ale caracteristicilor terenului.

Procedura generala a proiectarii unui tunel ofera elementele generale, globale ale proiectarii si legatura dintre acestea.

Proiectarea propriu-zisa a unui tunel trebuie totdeauna sa cuprinda o serie de studii si etape, mai mult sau mai putin dezvoltate, functie de faza proiectarii si importanta proiectului.

Cu titlu informativ, in Tabelul 2.8 este prezentata o diagrama cuprinzind etapele si studiile necesare in faza de analizare a variantelor si alegere a solutiei, preluata dupa documentele Centrului de studii pentru Tunele (CETU) Franta.

Se poate observa ca studiile progresa odata cu etapele si comporta o serie de demersuri care in final converg catre decizia finala, alegerea unei solutii.

Un rol important in aceste studii poate avea analiza factorilor care influenteaza mediul inconjurator la executia unui tunel.

O astfel de analiza, preluata tot din documentatiile intocmite de CETU este prezentat in Tabelul 2.9

Concluziile unei astfel de analize scoate in evidenta minimizarea consecintelor si impactelor posibile, in cazul executiei unui tunel, comparativ cu solutia cu transee deschisa.

Tabel 2.8. Etape proiectare si studii necesare

STUDII	INVENTARIERE DATE SI EVALUARE CONSECINTE MAJORE	EXAMINAREA TUTUROR SOLUTIILOR POSIBILE	VERIFICARE TEMEINICA SOLUTII SI STABILIREA UNUI PRIM CLASAMENT	ESTIMARE SI COMPARARE SOLUTII
DATE PROIECT	Zona deservita. Topografie. Trafic. Itinerare si viteze			
GEOMETRIE	Raze Rampe Latime platforma	Definirea tuturor variantelor Definire geometrica sumara	Alegere sectiune transversala. Stabilirea precisa a capetelor.	Estimare: - exproprii; - lucrari in afara; - lucrari in tunel.
GEOLOGIE	Geologia zonei. Accidente.	Recunoasteri geologice si hidrogeologice sumare. Reperare zone dificile.	Recunoasteri suplimentare. Studii specifice pentru zonele dificile.	
CONSTRUCTIA		Tip lucrare subterana (tunel, transee, tunel imersat). Tip acces.	Posibilitati de executie. Hidroizolare. Tip captuseala.	Esrimare cheltuieli exploatare.
VENTILATIE		Definire grosiera necesitati si prima dimensionare sectiuni transversale.	Alegere sistem ventilatie. incidenta asupra sectiunii transversale.	Estimare termene de executie.
ECHIPAMENTE			Rezervare spatii necesare	
EXPLOATARE	Importanta itinerar, pene si debite orare trafic.		Apreciere dificultati exploatare.	
IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI	Incadrare in peisaj. Poluare acustica. Poluare atmosferica.			Calcul de rentabilitate.
SINTEZA	Definire generala proiect. - Tip itinerar si dificultati previzibile. Puncte obligate. - Zone de evitat. - Caracteristici geometrice necesare.	Solutii cu tunel. - Definitivare plan de situatie, profil in lung si sectiune transversala. - Apreciere dificultati. Solutii fara tunel.	Definirea precisa a fiecarei solutii.	Pentru fiecare solutie. Cost investitie. Cheltuieli exploatare. Apreciere dificultati si termene de realizare. Alegerea solutiei.

Tabel 2.9. Analiza factorilor care influenteaza mediul inconjurator la executia unui tunel.

ELEMENTE DE LUAT IN CONSIDERARE	JUSTIFICAREA LUARII IN CONSIDERARE A FACTORILOR DE RISC	APRECIEREA ACESTOR RISCURI FUNCTIE DE MEDIU	ASPECTE POZITIVE ALE SOLUTIEI CU TUNEL
ELEMENTE FIZICE SI BIOLOGICE GEOLOGIE	Riscuri de instabilitate si alunecari la capete sau hornuri in subteran	Determinant pentru alegerea traseului. Se trateaza la nivel de studiu tehnic .	Tunelul poate asigura o protectie contra instabilitatilor de la suprafata.
GEOMORFOLOGIE	Dificultati de refacere a vegetatiei si riscul de eroziune.	Importanta in cazul transeelor deschise.	Foarte limitate si localizat la capete.
HIDROGEOLOGIE SI HIDROLOGIE DE SUPRAFATA	Riscul de poluare a pinzei freatice. Efectul de dren. Efectul de baraj.	Necesitatea localizarii circulatiei, rezervelor de apa subterana, captari. Sensibilitate locala pentru lacuri, riuri. Poluare in caz de tratare a solului.	Asanarea zonelor mlastinoase. Protejare subsol. Evitarea circulatiei de suprafata.
CLIMAT	Posibilitatea formarii de curenti de aer si de gheturi iarna.	Conditii create de ventilatie si limitate la capete.	Mentinerea conditiilor hibernale este facilitata.
FAUNA SI FLORA	Atentie la tritoriiile speciilor animale si la pastrarea echilibrului ecologic.		Efectul de taietura dat de traseu este anulat in subteran.
ELEMENTE UMANE SI SOCIO- CULTURALE UTILIZAREA SOLULUI	Agricultura, silvicultura si alte resurse naturale.		Ocuparea spatiului agricol si perturbarea activitatii foarte limitata.
HABITAT	Habitatul existent se suprima sau se protejeaza. Efectele vibratiilor. Echipamente si msuri pentru protectia riveranilor	Impact slab in mediu interurban, dar important in mediu urban: - ocupare spatiu; - poluare fonica; - schimbare obiceiuri. Riscurile sint localizate la capete.	Diminuarea locala a tuturor problemelor legate de traficul de suprafata suprimat: circulatie, zgomot, poluare. Posibilitati de recreere si de alte operatii urbanistice conjugate cu tunelul.
PEISAJ	Impact vizual si sociopsihologic.	Necesitatea inscrierii vizuale in peisaj. Probleme de urbanism.	Permite crearea de lucrari arhitectonice. In mediu urban poate fi conjugat cu operatii de urbanism.
PATRIMONIUL CULTURAL SI STIINTIFIC	Protejarea elementelor rare de pe teritoriu: zone arheologice, monumente etc.	Descoperite in timpul executiei unui tunel ele trebuie sa fie protejate.	Impactul drumului asupra zonelor privilegiate este suprimat de tunel.
TURISM SI RECREERE	Pescuit, vinatoare, excursii.	Efecte inexistente sau foarte localizate	Tunelul limiteaza efectul de bariera. Posibilitatea de a crea spatii de recreere deasupra tunelului.

2.5.2. Studii preliminare necesare proiectării unui tunel

Proiectarea unui tunel, cuprinde mai multe faze (studiu de fezabilitate, ante-proiect, proiect de execuție și detalii de execuție) cu etapele și studiile corespunzătoare.

Dintre studiile necesare proiectării unui tunel se disting: studiul traseului, studiile economice și studiile geologice, hidrogeologice și geotehnice.

2.5.2.1. Studiul traseului unui tunel.

Introducerea unui tunel în cadrul traseului unei cai de comunicație, presupune realizarea unor studii suplimentare, cu respectarea unor condiții specifice tunelurilor și tipului cailor.

Studierea mai multor variante, de amplasament și compararea acestora pe criterii economice și tehnice, raportate atât la faza de execuție cât și la cea de exploatare, poate conduce la obținerea unei soluții optime.

Stabilirea amplasamentului tunelului se face în funcție de condițiile topografice, hidrometeorologice și climatice și cele geologice, hidrogeologice și geotehnice ale masivului strabatut.

Condițiile topografice intervin direct asupra stabilirii amplasamentului unui tunel influențând zona de traversare în plan sau în profil longitudinal sau transversal, cât și poziția portalurilor.

Analiza profilului longitudinal, funcție de poziția față de creastă, poate conduce la soluții diferite, cuprinse între tunelul de bază și cel de creastă.

Compararea variantelor se face ținând cont și de porțiunile de traseu adiacente tunelului, atât din punct de vedere al cheltuielilor de execuție, cât și al celor de exploatare.

Alegerea poziției portalurilor influențează lungimea și costul tunelului dar și condițiile de exploatare ale traseelor de la capete.

Ideal ar fi ca traseul să fie cât mai aproape de perpendiculară pe curbele de nivel din plan, ceea ce conduce la lucrări minime la capete.

Amplasarea portalurilor trebuie, de asemenea, să evite zonele cu avalanșe și căderi de stânci.

Dacă acest lucru nu poate fi respectat, tranșeele de acces la tunel vor fi protejate cu galerii de protecție (polate).

Condițiile hidrometeorologice și climatice (cantitatea de precipitații, variația temperaturii și direcția vinturilor dominante) influențează indirect alegerea amplasamentului unui tunel.

Cantitatea de precipitații (maximă sau medie anuală) vor influența volumul infiltrațiilor din tunel și stabilitatea versanților de la capete.

Temperaturile scăzute, suprapuse infiltrațiilor puternice, pot conduce la turturi și blocuri de gheață, care deranjează circulația.

Direcția vinturilor dominante poate influența pozitiv ventilația tunelului, când coincide cu axa tunelului, dar și negativ favorizând formarea turturilor pe timp de iarnă.

Condițiile geologice, hidrogeologice și geotehnice ale masivului strabatut de tunel au o influență majoră asupra stabilirii traseului unui tunel, determinând metoda de execuție și costul, dar și comportarea în exploatare.

Stabilitatea generală a masivului, natura, gradul de tectonizare și stratificarea rocilor strabatute, regimul și natura apelor subterane, gazele și temperatura întâlnite în subteran, influențează deciziv amplasamentul unui tunel în cadrul traseului unei cai de comunicație.

Pierderea stabilității poate apărea la capete în sens longitudinal (Fig. 2.34c) sau în sens transversal la tunele de coastă (Fig. 2.34b).

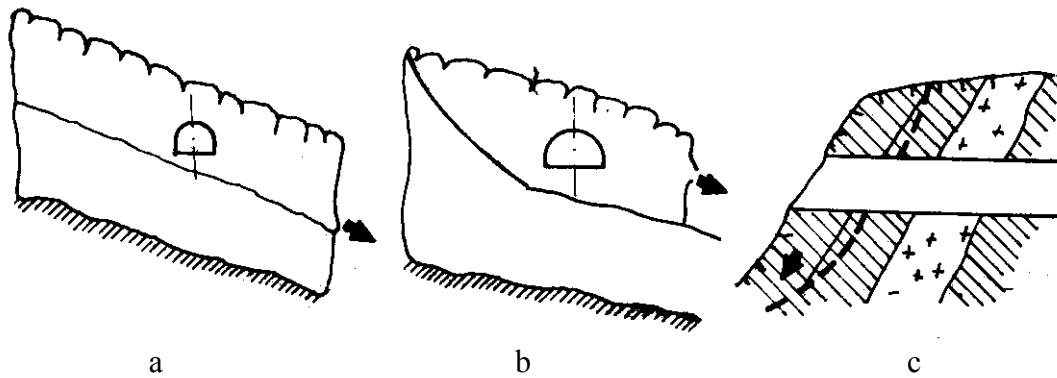


Fig. 2.34 Posibilitati de pierdere a stabilitatii unui masiv
 a. de-a lungul planului de contact cu stratul de baza
 b. dupa o suprafata de rupere in sens transversal
 c. dupa o suprafata de rupere in sens longitudinal

Zonele predispușe unor alunecari generale trebuie depistate și evitate prin mutarea traseului pe un amplasament stabil.

Prezența apelor subterane pe traseul tunelului produce dificultăți, atât la execuție, cât și în exploatare, funcție de nivelul, debitul și agresivitatea acestora, fiind deci indicată evitarea traversării unor astfel de zone. Dacă acest lucru nu este posibil trebuie luate măsuri de colectare și îndepărtare a apelor sau trebuie realizate lucrări de drenare și hidroizolare.

La execuția unui tunel pot fi întâlnite și gaze nocive inflamabile și chiar explozive sau care acționează defavorabil asupra materialelor de construcție.

Dintre gazele nocive pentru om cele mai întâlnite sunt: bioxidul de carbon (CO_2) în concentrație de 0,5% pe unitatea de volum și oxidul de carbon (CO) în concentrație de 0,0016%.

Gazul metan (CH_4) este inflamabil, iar la o concentrație de 1 la 5(10) poate da naștere la explozii.

Depistarea unor astfel de gaze în fazele preliminare de alegere a variației este dificilă și puțin probabilă, astfel că, toate măsurile de combatere revin constructorului pe perioada execuției.

2.5.2.2. Studii economice

Orice fază de proiectare a unui tunel este însoțită și de calcule economice.

Tunelurile fac parte din categoria lucrărilor cu un cost foarte ridicat, astfel că studiile economice au o importanță deosebită.

Pentru impunerea variantei cu tunel a unei cai de comunicație este necesar ca investiția specifică acesteia să poată fi acoperită prin economii realizate în exterior, din:

- micșorarea lungimii traseului în exterior;
- diminuarea costurilor de exploatare;
- asigurarea unui trafic intens.

O analiză simplistă a rentabilității unui proiect se poate face comparând cele două variante cu și fără tunel, din punctul de vedere al costului construcției și al cheltuielilor de exploatare.

Notind:

- I_1 - costul construcției variantei cu tunel;
- I_2 - costul construcției variantei fără tunel;
- E_1 - cheltuielile de exploatare pentru varianta cu tunel;
- E_2 - cheltuielile de exploatare pentru varianta fără tunel,

se poate determina timpul de amortizare "t" al costului suplimentar investit in tunel.

$$t = (I_1 - I_2) / (E_2 - E_1)$$

Daca $t < 10$ ani, constructia tunelului poate fi considerata ca justificata.

Estimarea costului unui tunel este o operatiune dificila datorita multitudinii si incertitudinii factorilor ce intervin, evidentiindu-se in special cei legati de natura terenului si prezenta apei.

O imagine sugestiva a etapelor si factorilor care intervin in alegerea si costul unei solutii este prezentata in Fig. 2.35.

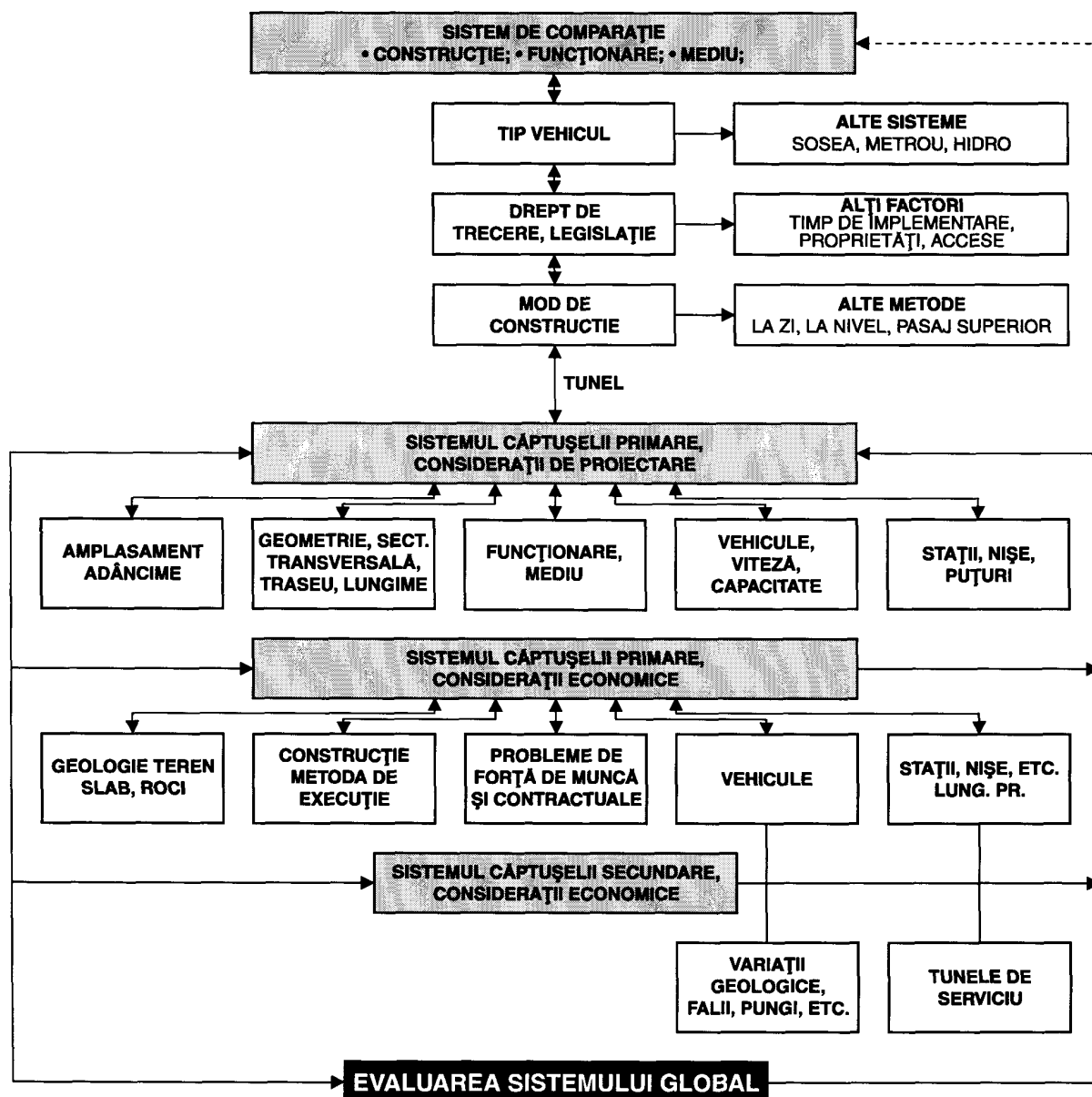


Fig. 2.35 Diagrama factorilor care influenteaza proiectarea si costul unui tunel

Se poate observa ca in prima faza alegerea solutiei si stabilirea unui prim cost orientativ se bazeaza pe comparatia cu lucrari executate de acelasi tip sau alte sisteme, in aceleasi conditii sau in conditii diferite, sau cu alte metode.

In aceasta faza se face o analiza economica a ansamblului investitiei, prin aproximari succesive, pentru a selectiona 2-3 variante tehnice posibile.

In faza a doua se analizeaza cele 2-3 variante alese pe baza urmatoarelor criterii:

- securitatea lucrării pe timpul executiei și in exploatare;
- uniformitatea metodei pe toata lungimea tunelului;
- supletea de adaptare la dificultati imprevizibile;
- limitarea perturbarilor mediului inconjurator, in special in mediul urban.

In faza a treia pentru alegerea definitiva a solutiei intervin noi criterii legate de:

- conjunctura economica generala și importanta lucrării de tunel in aceasta conjunctura;

- nivelul tehnic al antreprizelor concurente (personal specializat, experienta acumulata, lucrari executate);

- costul solutiei și riscurile posibile;
- influenta termenului de executie in planificarea generala.

Pe baza experientei acumulate in timp se pot face unele observatii relativ la costul constructiei unui tunel:

- tunelurile in roci vor fi, in general, mai ieftine decit cel in paminturi;

- cresterea diametrului tunelurilor intr-un domeniu limitat conduce la cresteri mici de cost (10-15%), daca conditiile de teren se presupun bune;

- variatia conditiilor de teren de la o roca stabila la un teren slab, influenteaza mult mai mult costul decit o crestere mica a diametrului;

- introducerea de curbe in traseul tunelului, conduce la sporirea costului;

- cresterea pantei in tunel conduce, de asemenea, la sporirea costului prin inrautatarea conditiilor de transport al materialelor și sterilului;

- reducerea duratei de executie, micsoreaza costul general al tunelului;

- utilizarea unor utilaje performante la executia tunelurilor (scuturi, foreze, haveze), presupune o mare capitalizarea, sporind costul investitiei, care trebuie sa fie mare pentru a permite amortizarea echipamentului;

- influenta sectiunii transversale (circulara, potcoava, dreptunghiulara) asupra pretului de cost depinde de natura terenului și metoda de executie;

- proiectarea sistemului de captuseala trebuie atent facuta, aceasta reprezentind componenta principala in costul unui tunel (20-40%).

Factorii netehnici care influenteaza costul sint:

- timpul de ofertare;
- selectarea celui mai bun echipament;
- prevederea factorilor de risc pentru conditii de teren neasteptate.

2.5.2.3. Studii geologice, hidrogeologice și geotehnice.

Conditiiile geologice, hidrogeologice și geotehnice reprezinta factorii determinanti in stabilirea gradului de dificultate și a costului unui tunel.

Aceste conditii au o mare influenta asupra alegerii metodei de executie, sustinerii provizorii și captuselii definitive și in plus pot pune probleme neprevazute, ca traversarea unui accident geologic cu apa sub presiune, care poate bloca lucrarea și periclita siguranta oamenilor.

Se impune, deci, prevederea tuturor mijloacelor necesare pentru obtinerea unei imagini cit mai complete posibil, a caracteristicilor masivului traversat: materiale și tehnici adecvate, oameni competenti (geologi, hidrogeologi, geotehnicieni), termene suficiente pentru realizarea lucrărilor de recunoastere. Nivelul și profunzimea recunoasterilor, investigatiilor și studiilor geologice este functie de faza de proiectare sau executie a tunelului.

Obiectivele și mijloacele unei companii de recunoastere geologica, precum și corelarea acestor studii cu fazele de proiectare și executie, este prezentata sugestiv in Tabelul 2.10, avind totusi un caracter orientativ.

Tabel 2.10.

FAZE PROIECTARE SI EXECUTIE	OBIECTIVE CERCETARE	MIJLOACE INVESTIGARE
<p>STUDII DE PREFEZABILITATE SI FEZABILITATE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Studiul geometric al solutiei de baza si a variantelor posibile. - Recunoasteri geologice, hidrogeologice si geotehnice ale masivului. - Studiul sumar al lucrarii. <p>-Definirea precisa a traseului sau amplasamentului ales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Alegerea celui mai bun amplasament sau traseu. - Plan de situatie si profil in lung sumare. - Identificarea generala a pinzelor acvifere. - Identificarea generala a terenurilor traversate. - Natura dificultatilor potentiale si descrierea dificultatilor majore. - Studiu preliminar capete si accese. - Definitie preliminara metode de executie posibile. - Estimare cost. 	<ul style="list-style-type: none"> - Examinarea datelor existente. - Studiul unor eventuale cazuri analoage. - Releveul geologic sumar de suprafata. - Studiul hidrogeologic sumar. - Citeva sondaje.
<p>PROIECT DE EXECUTIE SI DETALII DE EXECUTIE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investigatii geologice si hidrogeologice detaliate ale masivului si ale capetelor. - Studiul detaliat al lucrarii inclusiv al capetelor. - Studiul metodelor de executie si al conditiilor de santier. - Proiect definitiv si detalii de executie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plan de situatie, profil in lung si profile transversale geologice ipotetice. - Profil in lung geotehnic ipotetic cu identificarea rocilor. - Dimensionarea sustinerilor si captuselilor. - Definirea metodei de executie si a eventualelor tratamente speciale. - Estimare costuri si termene. 	<ul style="list-style-type: none"> - Releveu geologic detaliat. - Studiu hidrologic detaliat. - Teledetectie. Geofizica. - Sondaje carotate. - Sondaje nedistructive cu inregistrarea parametrilor forajelor. - Incercari de laborator pe probe. - Galerie de recunoastere. - Incercari si masuratori in situ si sondaje in galerie. - Incercarea in situ la scara naturala. - Sondaje suplimentare si urmarirea comportarii.
<p>EXECUTIE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Verificarea previziunilor si adaptarea la eventualele accidente geologice. - Adaptarea metodelor si a dimensionarii la conditiile reale. - Punerea la punct a documentatiei conform cu executia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sondaje la avansare. - Galerie pilot eventual. - Releveul geologic al peretilor excavatiei. - Urmarirea comportarii.

Doua concluzii se pot desprinde din analiza acestui tablou:

In primul rind trebuie evidentiat ca studiile geologice, hidrogeologice si geotehnice sint trei aspecte complementare ale studiului masivului strabatut de tunel si trebuie abordate separat.

In al doilea rind se poate observa ca aceste studii se pot imparti, in functie de faza corespunzatoare, in trei grupe:

a. - Studii cu caracter general, realizate in faza preliminara a proiectarii de un geolog competent, pe baza experientei, a hartilor geologice existente si a recunoasterilor pe teren si care furnizeaza proiectantului idei generale asupra conditiilor morfologice, petrografice, stratigrafice si hidrologice a regiunii si masivului strabatut.

b. - Studii mai detaliate, efectuate in faza principala a proiectarii si inainte de inceperea executiei, bazate pe mijoace geofizice, sondaje, puturi, galerii de recunoastere si incercari in situ si care vor furniza proiectantului caracteristicile fizice, mecanice si chimice ale rocilor, starea masivului traversat (consistenta, fisurare, dezagregare) pozitia eventualelor accidente tectonice (cute, falii, etc.) si prezenta apei sau gazelor subterane;

c. - Studii efectuate pe tot timpul executiei tunelului, constind in sondaje, galerii pilot, relevee geologice, masuratori, care furnizeaza proiectantului elemente noi, care pot conduce la schimbarea metodei de avansare sau la redimensionarea sistemului de sustinere si captusire.

2.5.2.3.1. Studii geologice

Studiile geologice sint prezentate intr-un raport geologic, care este sinteza datelor provenind din analiza documentelor existente si a rezultatelor studiilor specifice si care cuprinde:

- geologia regiunii;
- istoria geologica si tectonica a masivului;
- structura si virsta formatiunilor de roca din masiv;
- localizarea si inventarierea accidentelor tectonice (falii, cute, zone fracturate);
- descrierea fenomenelor superficiale (surpari, alunecari, doline, etc.) in special in zonele de capete;
- descrierea rocilor intilnite dupa natura lor petrografica-litologica si mineralogica, dupa calitate si discontinuitati;
- starea de alterare a rocilor din masiv.

Rezultatele studiilor geologice sint reprezentate in plan de situatie profil longitudinal si in profile transversale, care constituie principalele elemente de lucru ale proiectantului.

In Fig. 2.36 este prezentat un astfel de profil geologic longitudinal care cuprinde o gama larga de fenomene geologice (anticlinal si sindinal, cute drepte, inclinate si culcate, falii verticale si inclinate, etc.), precum si diverse mijloace de investigare (sondaje geofizice, sondaje carotate, puturi, galerii de recunoastere).

Unele observatii pot fi formulate in legatura cu influenta accidentelor tectonice asupra executiei unui tunel.

Astfel, pe zona sinclinalului pot apare impingeri mai mari decit pe zona anticlinalului, pe zona faliilor pot apare infiltratii si alterari ale rocii care pun mari probleme la executie, iar pe zonele cutate roca poate fi puternic fracturata si fisurata favorizind prabusirile.

Analiza profilelor transversale geologice poate furniza elemente importante privind amplasamentul tunelului, comportarea in timpul executiei sau modul de solicitare a captuselii.

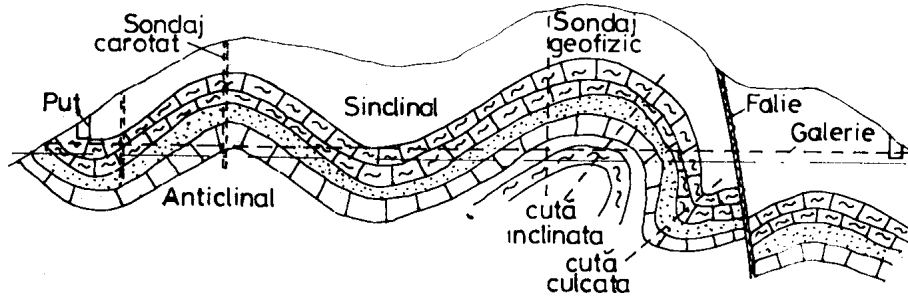


Fig. 2.36 Profil geologic longitudinal

In Fig. 2.37 se poate observa cum natura terenului (a) sau existenta unor sinclinale sau anticlinale (b), pot determina mutarea traseului.

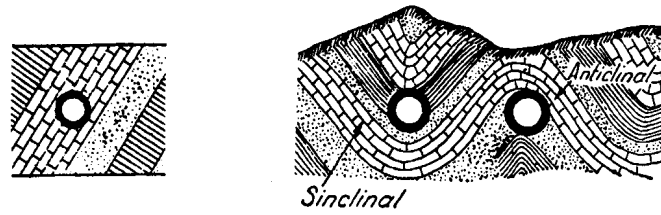


Fig. 2.37 Influenta naturii terenului, a stratificatiei si a cutarilor asupra amplasarii unui tunel.

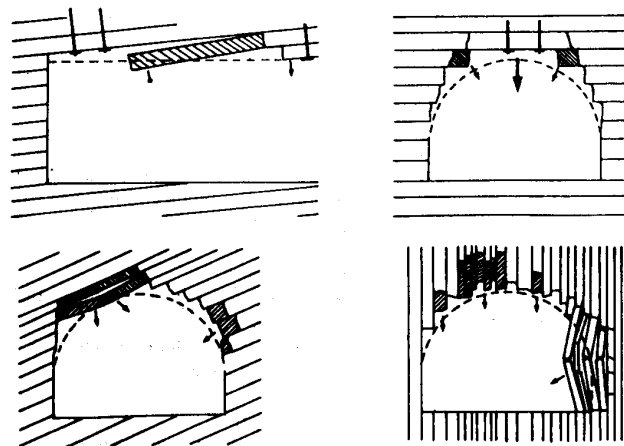


Fig. 2.38 Influenta orientarii si a stratificatiei asupra stabilitatii peretilor galeriei

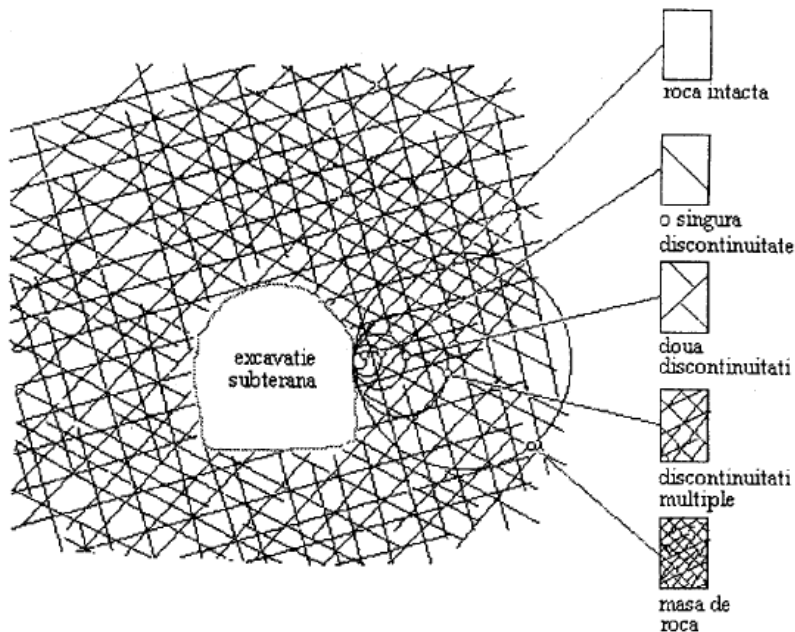


Fig. 2.38' Diagramă idealizată a tranziției de la roca intactă la cea puternic fracturată

In Fig. 2.38 sint prezentate citeva situatii de inclinare a stratelor de roca in sens longitudinal si transversal, evidentiind influenta acestor orientari asupra stabilitatii peretilor galeriei. Prezentarea si interpretarea unor date geologice cum sint discontinuitatile, se bazeaza pe o serie de conventii si reguli generalizate pe plan international.

Termenul de “discontinuitate” este utilizat in mecanica rocilor intr-un sens foarte general pentru a desemna orice intrerupere fizica a continuitatii masivului (fracturi, falii, diaclaze, plane de stratificatie, sistuoizitati).

Pentru descrierea completa a unei discontinuitati trebuie definita orientarea si densitatea in masiv. Orientarea planului unei discontinuitati este data de urmatoarele elemente (Fig.2.39):

- p - vectorul inclinare - orientat pe linia de cea mai mare panta;
- n - vectorul normal pe plan;
- (u) - urma lasata de planul de discontinuitate in plan orizontal;
- θ - directia urmei fata de Nord (spre Est sau Vest) $0 \leq \theta \leq 180$;
- α - azimut - unghiul dintre proiectia lui p pe planul orizontal si Nord
 $0 \leq \alpha \leq 360^0 \quad \alpha = \beta + 90^0$;
- β - altazimut - unghiul dintre p si orizontala $0 \leq \beta \leq 90^0$;
- δ - unghiul dintre proiectia lui p pe planul orizontal si directia de avans a excavatiei A.

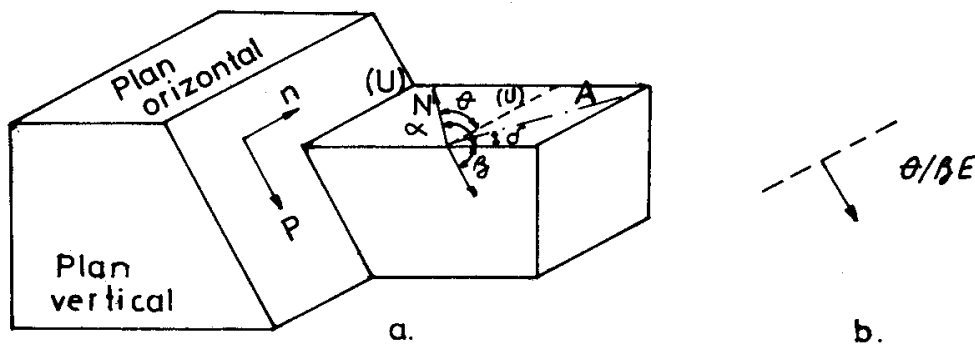
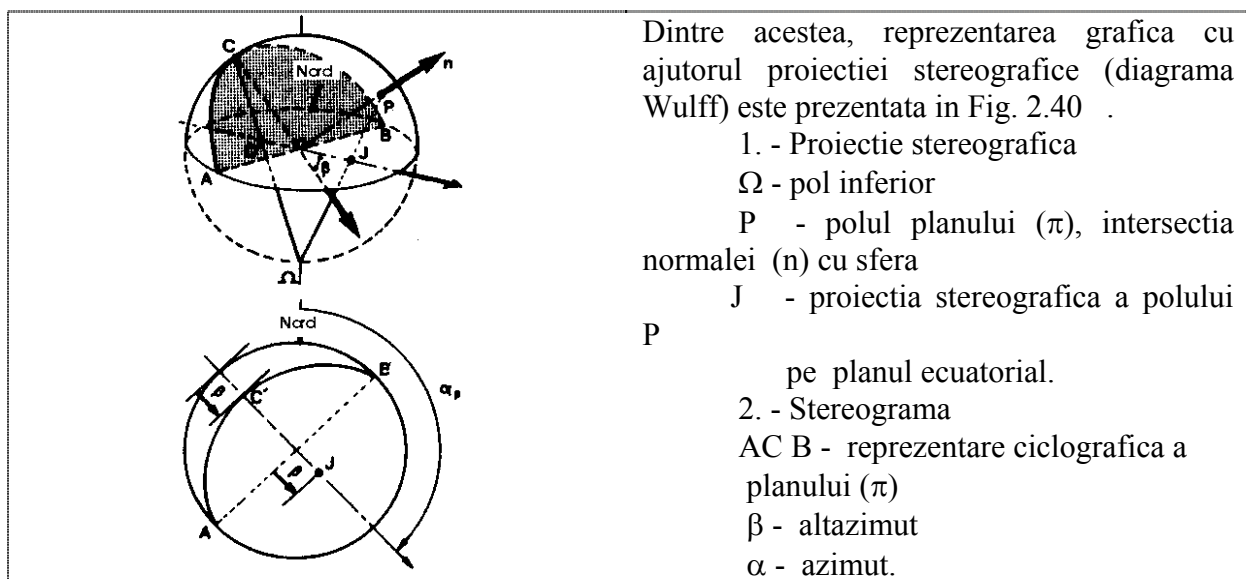


Fig. 2.39 Reperarea orientarii unui plan in spatiu (a) si plan de situatie (b)

Exista mai multe reprezentari grafice in plan ale elementelor descrise mai sus.



Dintre acestea, reprezentarea grafica cu ajutorul proiectiei stereografice (diagrama Wulff) este prezentata in Fig. 2.40 .

1. - Proiectie stereografica
 Ω - pol inferior
 P - polul planului (π), intersectia normalei (n) cu sfera
 J - proiectia stereografica a polului P pe planul ecuatorial.
2. - Stereograma
 ACB - reprezentare ciclografica a planului (π)
 β - altazimut
 α - azimut.

Fig. 2.40 Reprezentarea grafica a unui plan de discontinuitate cu ajutorul proiectiei

stereografice

Orice tip de discontinuitati se pot organiza in familii care au elemente comune.

Analiza statistica a orientarilor diverselor discontinuitati se poate face direct pe diagramele polare stabilind:

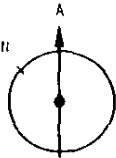
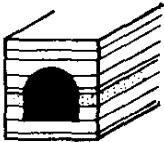
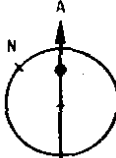

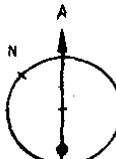
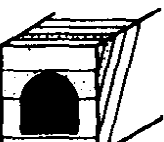
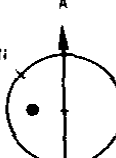

- numarul de familii principale de discontinuitati;
- spatiul mediu dintre discontinuitatile fiecarei familii.

Orientarea discontinuitatilor, in special pentru familiile principale, trebuie considerata in raport cu directia de avans a excavatiei.

Se pot stabili astfel clase de discontinuitati.

In Tabelul 2.11 este prezentata clasificarea AFTES.

Tabel 2.11

ORIENTAREA DISCONTINUITATII			CONDITII DE EXCAVARE		REPREZENTARE		
CLASA	Unghiul δ	β			STEREOGRAME	PERSPECTIVE	
OR1	Oarecare	0 - 20	In strate suborizontale				
OR2	a	0 - 30°	20- 90	In strate inclinate in lung	In panta		
	b				In contrapanta		
OR3	30 - 65	20- 90	Conditii intermediare				
OR4	a	65 - 90	20- 60	In strate inclinate transversal	Panta medie		
	b				Panta mare		

Exista multe metode de descriere si clasificare a rocilor specifice constructiilor subterane, dezvoltate in special in ultimii ani. Aceste metode vor fi prezentate in capitolul urmator.

Mijloace de investigare geologica.

a. Inventarul datelor geologice existente:

- harti geologice;
- fotografii aeriene;
- documente si studii geologice din diverse banci de date;
- documente climatice si meteorologice;
- arhivele unor constructii subterane din zona sau executate in conditii similare.

b. Recunoasteri geologice de suprafata:

- relevarea formatiunilor topografice existente si a genurilor de vegetatie si a surselor de apa;
- depistarea elementelor tectonice (cute, falii);
- inventarierea si descrierea accidentelor de suprafata: alunecari, alterari, prabusiri, etc.;
- studierea atenta a capetelor si a acceselor.

c. Prospectiuni geofizice.

Acest tip de investigatii dau o imagine globala asupra grosimii zonelor alterate, structurii masivului, pozitiei si geometriei unui accident geologic si trebuie sistematic etalonate prin sondaje.

Technicile de prospectare geofizice utilizate la lucrarile subterane sint: gravimetrice, magnetometrice, electrorezistive, electromagnetice, seismice de refractie si de reflexie.

Metodele cele mai utilizate sint cele electrorezistive si seismice de refractie.

Metodele electrorezistive masoara conductivitatea electrica relativa a rocilor, realizind o prospectare liniara pe distante scurte (max.1000 m) cu rezultate adesea ambigui.

Metodele seismice de refractie masoara propagarea undelor elastice emise prin soc

(ex. exploziv) realizind o prospectare liniara de max.200 m, cu cercetarea grosimilor si alterarii stratelor de roca si detectarea accidentelor majore.

d. Sondaje

Din punct de vedere geologic sondajele servesc direct pentru determinarea naturii solului sau rocii, dar informatiile sint punctuale si in general insuficiente. Numarul de sondaje este limitat de costul ridicat si de grosimea stratului de acoperire, astfel ca prevederea acestora este bine sa se faca in legatura directa cu prospectiunile geofizice.

Sondajele permit prelevarea de probe pentru incercari de laborator si efectuarea unor incercari in situ (masurarea permeabilitatii, a unor moduli sau eforturi).

Sondajele pot fi clasificate astfel:

- dupa natura acestora:
 - . carotate si destructive;
- dupa inclinare:
 - . verticale, orizontale si inclinate
- dupa tipul utilajului:
 - . prin percutie, rotatie si rotopercutie
- dupa modul de realizare:
 - . uscate si cu circuit de apa.

Cele mai importante sînt cel carotate, care permit prelevare de probe pentru incercari.

e. Puturi de recunoastere

Acestea pot avea cele mai variate dimensiuni, putînd fi sprijinite sau nu in functie de natura terenului si adincime, si permit: determinarea naturii terenului si a stratificatiei, recoltarea de probe si realizarea unor masuratori sau incercari in situ.

Puturile de recunoastere sînt utile in zonele de la capete, dar au inconvenientul unor costuri ridicate.

f. Galerii de recunoastere

Galeria de recunoastere permite obtinerea tuturor datelor geologice, hidrogeologice si geotehnice necesare realizarii unui proiect.

Datorita costului ridicat, astfel de galerii se executa mai rar, pentru lucrari importante, amplasate la mare adincime si necesitînd foraje foarte lungi cu costuri apropiate de cel al galeriei.

Galeria de recunoastere permite:

- observarea vizuala a terenului si stabilirea unui releveu geologic detaliat;
- urmarirea conditiilor hidrogeologice, infiltratii punctuale sau difuze, debite, permeabilitate, agresivitate;
- incercari si masuratori geotehnice in situ;
- prelevarea de probe pentru incercari de laborator;
- masurarea deformatiilor.

2.5.2.3.2. Studii hidrogeologice

Aceste studii trebuie efectuate in paralel cu cele geologice si au drept scop determinarea formatiunilor acvifere, a permeabilitatii terenurilor, a regimului hidraulic si retelelor carstice, permitînd definirea naturii infiltratiilor, debitului, compozitie chimica, agresivitate, dar si a masurilor posibile (drenaje, etansari, etc.)

In masivul strabatut de tunel apa se poate gasi sub diverse forme:

- apa legata chimic (apa de hidratare, in mineralele argiloase);
- apa legata fizic (apa higroscopica) retinuta de particulele solide prin forte de natura electromoleculara;
- apa capilara ce apare in porii rocilor cu dimensiuni subcapilare;
- apa subterana libera, care umple complet golurile dintre fragmentele si particulele solide ale rocilor, putînd circula liber printre acestea.
- depozite de apa subterana cu nivel liber, in zonele carstice din masive calcaroase.

O importanta deosebita prezinta chimismul si agresivitatea apei subterane in special asupra captuselii tunelului.

Cel mai des apa subterana contine bioxid de carbon (CO_2) care ataca toate materialele de constructie si, in special, cele ce contin calciu, cum sînt mortarele si betoanele.

Sulfatii (SO_3) reactioneaza cu calcarul (Ca), rezultînd gipsul sau cu aluminatii de calciu, rezultînd sulfoaluminatii de claciu, avînd loc si o marire de volum, care conduce la distrugerea prin exfoliere a captuselii.

Agresivitatea apei se stabileste pe baza urmatoarelor criterii: compozitia chimica a apei, presiunea apei asupra constructiei, masivitatea constructiei, modul de contact cu betonul, gradul de impermeabilitate al betonului si caracteristicile cimentului utilizat.

Clasificari ale rocilor pot fi facute si dupa conditiile hidrogeologice (sarcina hidraulica, permeabilitate).

O astfel de clasificare, dupa *permeabilitate* este prezentata in Tabelul nr. 2.12

Tabel 2.12

Tipul pamintului	K (m/s)	Permeabilitate
Pietris	$> 10^{-3}$	Mare
Pietris cu nisip mare si mijlociu	$10^{-3} - 10^{-7}$	Medie
Nisip fin, praf nisipos, praf argilos, argila nisipoasa.	$10^{-7} - 10^{-10}$	Mica
Argila compacta	$< 10^{-10}$	F. Mica

Mijloacele de investigare hidrogeologica sint similare cu cele geologice si cuprind in mare aceleasi elemente cu mici diferente.

Astfel, releveul hidrogeologic de suprafata va cuprinde:

- releveul surselor (puturi, izvoare), al zonelor de infiltratii, masurarea debitelor, urmarirea traseelor apelor subterane.

Sondajele de orice tip permit efectuarea de observatii si masuratori in situ:

- depistarea apei si a traseelor de circulatie in foraje sau carotaje;
- masurarea presiunii interstiale si a permeabilitatii si agresivitatii

Masurarea permeabilitatii se poate face prin injectie de apa (incercarea Lugeon sau Lefranc) sau prin pompaje.

Incercarea Lefranc consta in masurarea debitului de apa injectata in teren, printr-un foraj tubat, prevazut cu o cavitate la baza, in functie de presiunea de injectie.

Incercarea Lugeon consta in izolarea unei parti din foraj, cu un obturator si masurarea debitului de injectie a apei, necesar pentru mentinerea presiunii constante. Rezultatele sint masurate in unitati Lugeon, care reprezinta numarul de litri de apa absorbiti pe minut si pe metru liniar de foraj sub presiunea de 1MPa.

Unitatea Lugeon (1 litru/metru/ minut) corespunde cu aproximatie lui $K=10^{-7}$ m/s.

Prin incercari de pompaj (epuizante) se determina raza de actiune a pompajului, curba piezometrica si permeabilitatea.

Alegerea uneia din metodele prezentate mai sus se face in functie de:

- scopul urmarit (ex.: estimarea scurgerilor in roci, cercetarea etanseitatii unui masiv sau studiul curbei piezometrice);
- natura terenului (ex.: in roci cu fisurare omogena este indicata incercarea Lugeon);
- posibilitatile santierului.

2.5.2.3.3. Studii geotehnice

Studiile geotehnice completeaza pe cele geologice si hidrogeologice si permit:

- descrierea terenului traversat;
- definirea starii de eforturi initiale din masiv;
- prevederea comportamentului in timpul executiei si in exploatare;
- definirea metodei de executie;
- calculul si dimensionarea captuseli.

Studiile geotehnice se bazează pe mijloace asemănătoare studiilor geologice și hidrogeologice (inventarul datelor existente, prospecțiuni geofizice și sondaje), necesitând în plus și încercări de laborator.

Scopul principal al acestor studii este definirea caracteristicilor elastice și fizico-mecanice ale terenurilor (pământuri sau roci) strabatute, care servesc în principal la analiza structurală a lucrării și studiul deformațiilor terenului din jurul tunelului.

Unele dintre aceste caracteristici se obțin prin prospecțiuni geofizice, altele prin sondaje și cele mai multe prin încercări de laborator sau in situ.

Definirea acestor caracteristici și modul de determinare este funcție de natura terenurilor strabatute, pământuri și roci.

Pământuri.

Pământurile sunt din punct de vedere fizic sisteme disperse, alcătuite în principal din trei faze:

- faza solidă, din particule minerale cu goluri și pori între ele;
- faza lichidă, constituită din apă care umple spațiile dintre particole și în care sunt dizolvate diferite substanțe;
- faza gazoasă, constituită din aer și alte gaze.

Pământurile care cuprind cele trei faze sunt pământuri nesaturate. Când faza gazoasă lipsește pământurile sunt saturate (ex.: pământuri argiloase).

O altă împărțire a pământurilor, funcție de legătura între particole este în pământuri coezive și necozive.

Caracteristici fizice, de alcătuire și identificare a pământurilor:

- greutatea volumică γ (KN/mc) a pământului;
- γ_s a scheletului;
- γ_d în stare uscată;
- γ_{sat} în stare saturată.
- porozitate n (%) - raportul dintre volumul porilor și volumul total;
- indicele porilor e - raportul dintre volumul porilor și cel al părții solide;
- umiditatea w (%) - raportul dintre masa apei din pori și masa părții solide;
- limita de plasticitate inferioară (de framintare) - w_p (%) - umiditatea care corespunde trecerii pământului din stare tare în stare plastică;
- limita de plasticitate superioară (de curgere) - w_L (%) - umiditatea care corespunde trecerii pământului din stare plastică în stare curgătoare;
- indice de plasticitate $I_p = W_L - W_p$
- indice de consistență $I_c = W_L - W / I_p$
- coeficient de permeabilitate k (cm/s)
- granulozitatea - distribuția mărimii particulelor din pământuri;

Caracteristici mecanice (deformabilitate, compresibilitate, rupere):

- modul de deformare liniară E (daN/cm²) - tensiunea care îi corespunde o scurtare, respectiv o lungire egală cu unitatea (se determină prin încercări pe placă);
- modul de deformare edometric M (daN/cm²) - cotangenta unghiului pe care-l face curba de compresie cu orizontala;
- coeficient de compresibilitate a_v (cm²/daN) - raportul între variația indicelui porilor și variația corespunzătoare a efortului de compresie
- coeficient de compresibilitate volumică m_v (cm²/daN) - raportul între variația volumului unitar de pământ și variația corespunzătoare a efortului axial de compresie în edometru;
- coeficient de pat k_s (daN/cm³) - raportul între presiunea reactivă și deplasarea locală

dupa normala la suprafata de contact;

- rezistenta la forfecare τ_f (daN/cm²) - valoarea limita a rezistentei opuse unui efort de forfecare pentru care se produce ruperea prin alunecare;
- coeziunea c (daN/cm²) - forta de legatura dintre fragmentele solide ale unei roci sau pamint care se opune efectului de alunecare cauzat de o forta exterioara;
- unghiul de frecare interioara ϕ (°grade) - unghiul a carui tangenta este egala cu raportul dintre (rezistenta la forfecare) si (efortul unitar normal corespunzator);
- N (testul de penetrare standard) - numarul de lovituri necesare pentru patrunderea in teren a unor tije standardizate, la adincimea de 30cm, utilizind o masa de 60-70kg.

Roci

Rocile sint asociatii de minerale legate intre ele prin forte de coeziune sau direct prin intermediul unui liant.

Dupa natura mineralogica a particulelor componente, rocile pot fi monominerale (calcar, marmura, gips, etc.) si poliminerale (granit, porfir, gnais, micasist, etc.).

Exista diverse clasificari ale rocilor sau masivelor de roca realizate din punct de vedere al geologului, geotehnicianului sau constructorului si chiar al constructorului tunelist, dupa criterii genetice, geologico-tehnice, rezistenta la rupere sau alti parametri geotehnici.

Inginerul constructor (proiectant sau executant) va fi interesat in special de acele clasificari bazate pe parametri geotehnici, care servesc la dimensionarea lucrarilor.

Multi din acesti parametri sint identici ca la paminturi (k_s , τ_f , c , ϕ), altii sint specifici rocilor.

Caracteristici elastice:

- modulul de elasticitate E (daN/cm²) - tangenta geometrica la curba caracteristica a deformarii ($E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \text{const.}$)
 E_{static} - cind viteza de crestere a incarcarii eprubetei este relativ mica;
 E_{dinamic} - cind incarcarea eprubetelor se efectueaza intr-un timp foarte redus $E_{\text{din}} = 1,5 E_{\text{static}}$
- coeficientul lui Poisson μ - raportul dintre deformatia specifica transversala si deformatia specifica axiala, cind proba esete supusa la un efort simplu de compresiune sau tractiune cu deformare transversala libera.

Caracteristici mecanice:

- rezistenta la compresiune uniaxiala σ_{rc} (daN/cm²) - este rezistenta pe care o are eprubeta incarcata la compresiune simpla in momentul ruperii;
- rezistenta la intindere σ_{rt} (daN/cm²) - este rezistenta la rupere a unei eprubete cilindrice cind eforturile de compresiune se aplica pe cele doua generatoare (incercarea braziliana): $\sigma_{rt} = (1/8 - 1/60) \sigma_{rc}$
- coeficientul de tarie (duritate) f_t (f_{rez}) raportul dintre τ si σ
 $f_t = \text{tg } \phi$ pentru roci friabile;
 $f_t = \text{tg } \phi + c/\sigma$ pentru roci cu coeziune;
 $f_t = \sigma_{rc} / 100$ - pentru roci stincoase si semistincoase.

Tabel 2.13 Tabel orientativ cu principalele caracteristici fizico-mecanice ale rocilor și pământurilor.

Cate goria	Gradul de duritate	Roci și pământuri	Greutate volumica γ daN/m ³	Rezistența la rupere prin com- presiune σ_r (daN/cm ²)	Unghiul de frecare interioară ϕ grade	Coefficient de duritate frez	Coeziunea c daN/cm ²	Modulul de elasticitate E daN/cm ²	Coeffici- entul lui Poisson μ	Coeffici- entul de pat k daN/cm ³
I	Grad înalt de duritate	Cele mai dure, compacte și tenace cuarțite, precum și alte roci extrem de dure	2.800.... 3.000	2.000	87° (40°)	20	400	1.000.000	0.12	3.000
II	Roci foarte dure	Roci foarte dure de granit, porfir cuarțitic, granit foarte tare, sisturi silicioase, cuarțituri mai puțin dure ca cele de mai sus, precum și gresii și calcare din cele mai dure.	2.600.... 2.700	1.500	85° (35°)	15	300	900.000	0.16	2.000
III	Roci dure	Granit (compact) și roci granitice, gresii și calcăruri foarte dure, filoane și minereuri de cuarțita, conglomerate dure, minereuri foarte tari de fier.	2.500... 2.600	1.000	82° 30 (35°)	10	250	700.000	0.20	1.000
III-a	Roci dure	Calcaruri (dure), granituri mai slabe, gresie dura, marmora dura, dolomite pirite.	2500	800	80° (33°)	8	200	400.000	0.22	800
IV	Roci sufici- ent de dure	Gresii obisnuite, minereuri de fier.	2.400	600	75° (30°)	6	150	300.000	0.25	500
IV-a	Roci sufici- ent de dure	Sisturi nisipoase și gresie sistoasă.	2.500	500	72° 30 (30°)	5	100	250.000	0.28	300
V	Roci duri- tate mijlocie	Sisturi argiloase dure, gresii și calcăruri mai slabe, conglomerate slabe.	2.400... 2.800	400	70° (30°)	4	80	200.000	0.30	200
V-a	Roci duri- tate mijlocie	Diferite sisturi (slabe), marna compactă.	2400... 2600	300	70° (30°)	3	50	100.000	0.30	100
VI	Roci destul de slabe	Sisturi moi, calcăruri moi, creta, sare gemă, gips, pământ înghețat, antracit, marna obisnuită, gresii alterate, pietris cimentat și pământ pietros.	2.000... 2.600	200.. 150	65° (28°)	2	40	50.000	0.30	50 20

Categ oria	Gradul de duritate	Roci și paminturi	Greutate volumica γ daN/m ³	Rezistența la rupere prin com- presiune σ_r (daN/cm ³)	Unghiul de frecare interioară ϕ grade	Coefficient de duritate frez	Coeziunea c daN/cm ²	Modulul de elasticitate E daN/cm ²	Coeffici- entul lui Poisson μ	Coeffici- entul de pat k daN/cm ³
VI-a	Roci destul de slabe	Pietris de cariera (de mal), sisturi alterate, pietrisuri sedimentare, carbuni de piatra dura, argila intarita	2.200... 2.400	150	60° (25°)	1.5	30	5.000	0.33	20 10
VII	Roci slabe	Argila (compacta), carbuni de piatra de duritate mijlocie (frez=1...1.4), pamint argila, aluviuni tari.	2.000... 2.200	140 100	45° (20°)	1.0	20	2.000	0.35	7
VIIa	Roci slabe	Argila nisipoasa usoara, loess, pietris, carbune slab (frez=0.6...1.0)	1.800... 2.000	50	40° (15°)	0.8	0.2	1.000	0.38	4
VIII	Roci pamintoase	Nisip compact, prundis fin curat	1500	-	35°	0.7	-	600	0.40	3
VIIIa	Roci pamintoase	Pamint negru, turba, argila nisipoasa usoara, nisip.	1.600.. 1.800	-	30°	0.6	-	400	0.40	2
IX	Roci nisipoase (friabile)	Nisipuri, paminturi naruite, pietris marunt, paminturi de umplutura, carbune extras	1.400.. 1.600	-	25°	0.5	-	100	0.42	1.5
X	Paminturi imbibate cu apa (curga toare)	Paminturi imbibate cu apa (curgatoare), paminturi mlastinoase, loess rarefiat, alte paminturi imuiate (frez=0.1...1.3)	1.500.. 1800	-	9°	0.3	-	50	0.44	0.5 0.1

*) Valorile unghiului de frecare interioara sint trecute cu si fara coeziune.

Definirea și determinarea parametrilor geotehnici ai pământurilor sau rocilor, face obiectul disciplinelor de specialitate (mecanica pământurilor și mecanica rocilor).

Incercările și determinările de laborator cele mai utilizate pentru obținerea acestor parametri sunt:

- de identificare: masa volumică, conținutul în apă, indice de goluri, limite Atterberg, granulometrie, mineralogie, petrografie, porozitate etc.

- pentru determinarea caracteristicilor mecanice: încercări de compresiune simplă, de forfecare, oedometrică, triaxială, braziliană, de umflare, de alterabilitate, abrazivitate și forabilitate, pentru măsurarea modului de elasticitate și a coeficientului lui Poisson etc.

Trebuie subliniat că validitatea acestor încercări este legată de calitatea esanțioanelor prelevate și de reprezentativitatea lor.

În prezentul curs au fost prezentați pe scurt principalii parametri care pot fi utilizați la proiectarea lucrărilor subterane.

În Tabelul 2.13 este prezentată o imagine orientativă a principalilor parametri, recomandată pentru aplicațiile studentesti sau pentru studii preliminare.

Acești parametri trebuie evaluați cu deosebită grijă. Încercările în situ sunt în general mai semnificative decât cele din laborator pe probe mici, care trebuie ajustate la condițiile reale din teren, luând în considerare mărimea probei, deranjarea sau nederanjarea acesteia, efectul apei, inomogenitatea terenului și efectele imprastierii parametrilor.

Parametrii dintr-un set, care descriu comportarea terenului pentru un tunel, trebuie considerat într-o strânsă unitate, păstrând un echilibru în relația dintre aceștia.

De asemenea, o relație strânsă trebuie să existe între investigațiile terenului și proiectarea tunelului și între cantitatea și rafinamentul încercărilor și riscurile construcției unui tunel.

2.5.3. Clasificarea masivelor de roci și predimensionarea tunelurilor

Există numeroase tentative pentru stabilirea corespondenței între caracteristicile terenului și metodele de execuție a tunelelor.

Scopul acestor încercări este de a ghida proiectantul în alegerea tipului de susținere potrivit pentru un tunel în faza de concepție.

O clasificare corespunzătoare a materialelor geologice (pământuri și roci) este un prim pas către o precizie reală a comportării acestor materiale.

Există diferite căi de clasificare a pământurilor și rocilor.

Sisteme de clasificare generală au fost dezvoltate pe baza proprietăților geotehnice ale pământurilor și rocilor. Asemenea sisteme permit o ușoară identificare și descriere a pământurilor și rocilor și sunt utilizate în toate proiectele de construcții, inclusiv cele de tuneluri. Distingem, astfel, o clasificare generală a pământurilor și o clasificare generală a rocilor.

Clasificarea poate fi orientată și către descrierea comportării pământului sau rocii sub circumstanțe de construcție specifice, cum ar fi execuția unui tunel.

Clasificarea solului și rocilor pentru tuneluri a fost, în general, legată de descrierea comportării terenului în jurul golului tunelului.

Asemenea clasificări bazate pe comportarea terenului sunt utile și aplicabile în timpul execuției, dar neaplicabile în proiectare, nefiind direct legate de proprietățile intrinseci ale terenului. O asemenea clasificare a pământurilor de tip comportamental a făcut Terzaghi

care s-a bazat pe descrierea comportării terenului în tunele făcute de tunelști și nu pe parametrii pământului ușor de măsurat. Terzaghi propune totuși și susținerea corespunzătoare diverselor clase, precum și încărcările date de teren.

Deere în 1969 și Brandt în 1970 au încercat să coreleze clasificarea lui Terzaghi cu clasificarea generală a pământurilor. (Fig.2.41)

Din nefericire, pînă acum nu a apărut un sistem sau metoda cantitativă de clasificare a pământurilor în situ pentru tuneluri.

Alte sisteme de clasificare au fost propuse pentru execuția tunelelor în roci, bazate pe elementele geologice și caracteristicile mecanice și structurale ale rocilor.

În 1950, Protodiaconov definește pentru rocile și pământurile din clasificările generale, un coeficient de rezistență funcție de caracteristicile materialului (σ_c) pe baza căruia se poate calcula o boltă de năruire în jurul tunelului și se poate dimensiona lucrarea subterană.

Această metodă utilizată și la noi în țară servește mai mult proiectării.

Lauffer (1958) propune o clasificare bazată pe două elemente noi: deschiderea activă și timpul de autoportanță pe această deschidere. Această clasificare intră în categoria celor care urmăresc comportarea rocii.

Deere (1969) propune un sistem de clasificare pentru roci bazat pe distanța dintre discontinuități (falii, rosturi, fisuri, etc.).

Pentru a ușura determinarea acestor distanțe, Deere propune un nou parametru pentru evaluarea calității rocii, R.Q.D. (Rock Quality Designation).

$$RQD = (\text{fragmente cu } l > 10 \text{ cm}) / (\text{lungimea carotei}) \times 100\%.$$

Acest parametru va sta la baza viitoarelor clasificări.

Dintre acestea, cele mai utilizate sînt:

- clasificarea lui Z.Bieniawski (1973, CSIR - Africa de Sud);
- clasificarea lui N.Barton (1974, N.G.I - Norvegia);
- clasificarea AFTES (1978 - Franța).

Z.BIENIAVSKI - utilizează cinci parametri pentru clasificarea rocilor:

1. R.Q.D.;
2. Rezistența la compresiune uniaxială;
3. Distanța între rosturi (discontinuități);
4. Natura rosturilor;
5. Influența apei.

Fiecare parametru primește o notă, care apoi se adună, dînd o notă globală (R.M.R. Rock Mass Ratio), care caracterizează calitatea rocii și care poate fi corectată funcție de orientarea discontinuităților.

Stabilirea clasei de roca se face funcție de notă globală, timpul de autoportanță și deschiderea golului (Fig.2.42.). Pentru fiecare clasă de roca Bieniawski face, de asemenea, recomandări de susținere.

Clasificare paminturi după tuneliști	Tare	Stabil	Lent degradabil	Rapid degradabil	Frământat	Cu umflare	Coeziv mobil	Mobil	F. slab frământat	Curgător	Cu blocuri
Clasificarea unificată a paminturilor											
Pietriș și bolovăniș											
Nisip							A				
Mâl		B							F		
Argilă	C	D			E	D			F		
Pietriș cu liant argilos	C	D									
Pietriș cu liant mâl											
Nisip cu liant argilos	C	D									
Nisip cu liant mâl											
Nisip cimentat și pietriș											
Sol cu materiale organice											

- A - Umed, deasupra nivelului apei
- B - Loess
- C - Vârtos la foarte tare
- D - Vârtos la tare
- E - Moale la mediu
- F - Foarte moale

Fig. 2.41. Corelarea clasificării unificate a paminturilor cu clasificarea tunelistilor (Brandt 1970)

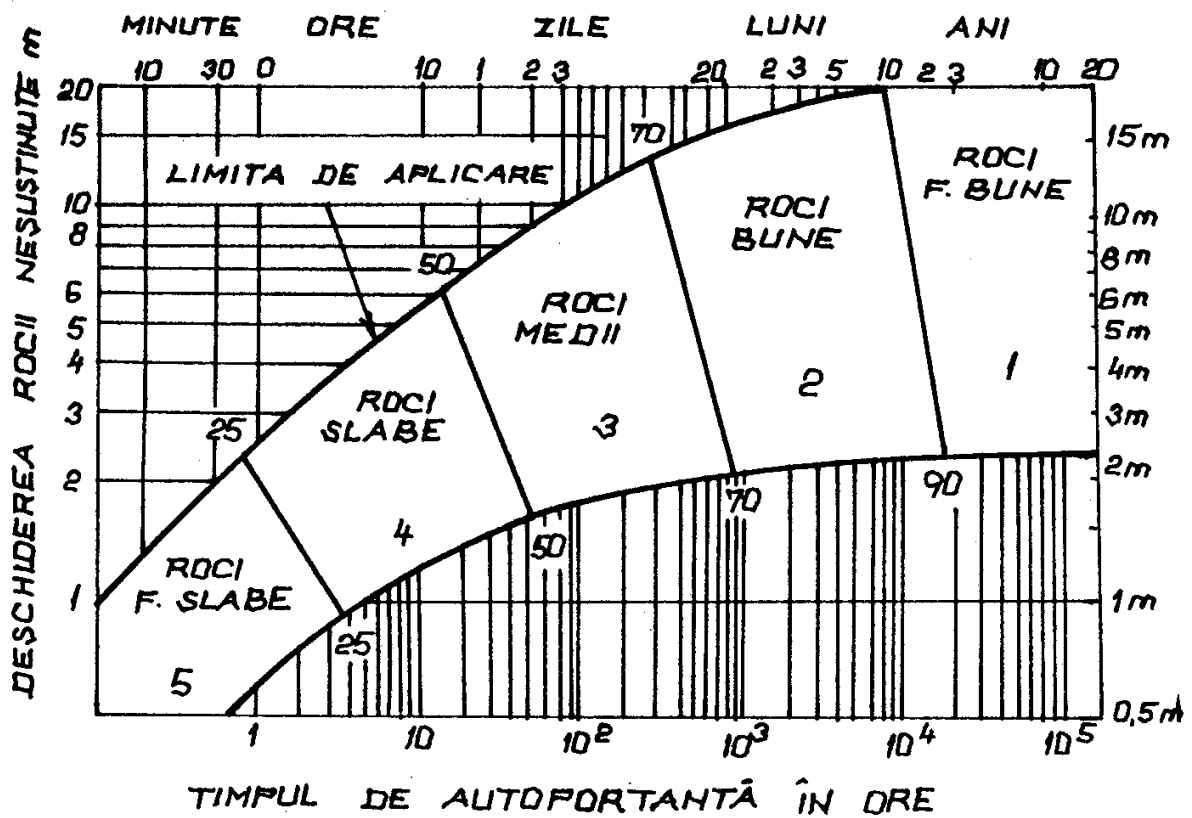


Fig.2.42 Clasificarea lui Z. Bienavski.

N.BARTON - propune un sistem de clasificare a rocilor, bazat pe un indice de calitate a masei de roca Q. Acest indice de calitate Q este calculat pe baza a 6 parametri geotehnici combinați în felul următor:

$$Q = RQD / I_n \times I_r / I_a \times I_w / SRF$$

unde:

- RQD - are valori între 10% și 100%;
- I_n - numărul sistemelor de fisuri ($0.5 < I_n < 20$);
- I_r - rugozitatea rosturilor ($1 < I_r < 4$);
- I_a - gradul de alterare a rosturilor sau caracteristicile materialului de umplere ($0.75 < I_a < 20$);
- I_w - factorul de reducere cauzat de prezența apei în discontinuități ($0.05 < I_w < 1$);
- SRF - factorul de reducere cauzat de modificarea stării de efort ($0.5 < SRF < 20$).

Factorii globali ai sistemului reprezintă:

- RQD/ I_n - dimensiunile blocurilor structurale;
- I_r/I_a - rezistența la forfecare interblocuri;
- I_w/SRF - influența eforturilor efective de interblocare.

Asociate acestui sistem de clasificare sînt tabelele, care definesc sistemul de sprijinire ce trebuie aplicat în execuție (Fig.2.43).

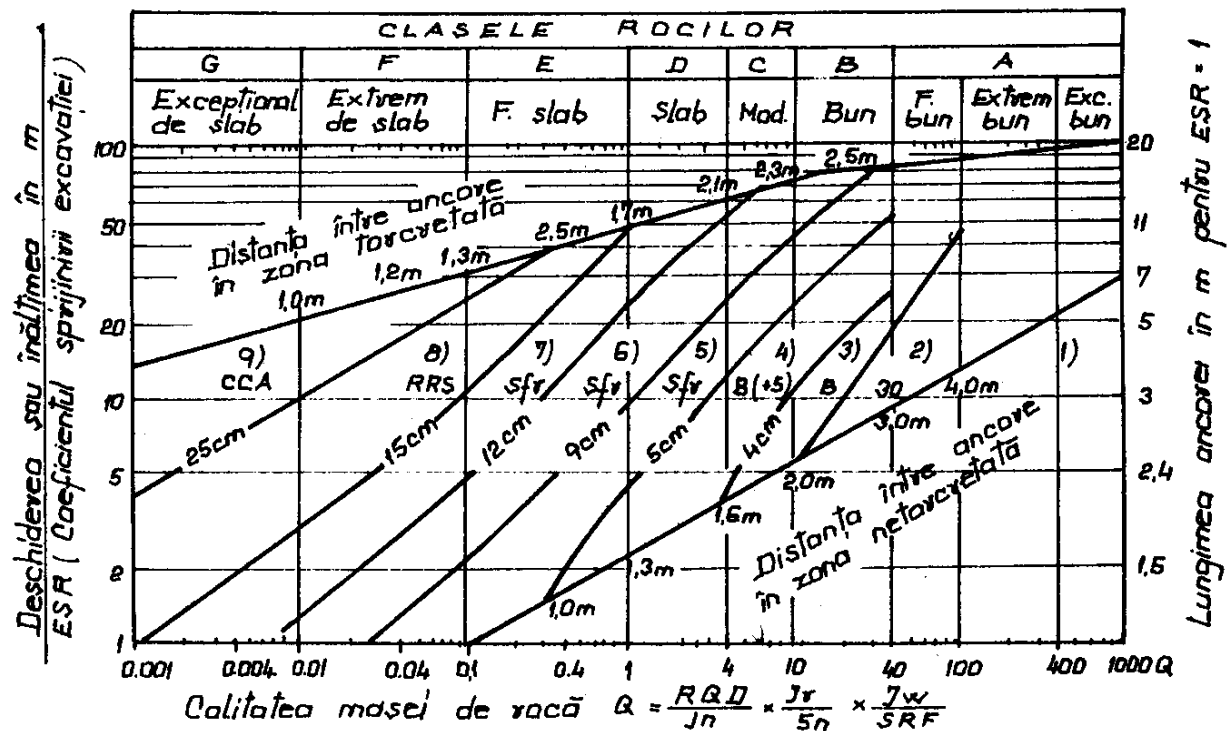


Fig. 2.43 Clasificarea lui N. Barton. Proiectarea sprijinirii cu sistemul Q.

Categoriile de sustineri:

1. nesrijinit
2. Ancorare locala, Sb
3. Ancorare sistematica, B
4. Ancorare sistematica si torcret nearmat, 4 - 10cm, B(+5)
5. Torcret armat cu fibre, 5 - 9cm si ancore
6. Torcret armat cu fibre, 9 - 12cm si ancore, Sfr + B
7. Torcret armat cu fibre, 12 - 15cm si ancore, Sfr + B
8. Torcret armat cu fibre > 15cm, ancore si cindre inglobate, Sfr, RRs + B
9. Captuseala de beton monolit, CCA.

AFTES - Asociatia Franceza de Lucrari in Subteran - a stabilit un text de recomandari pentru alegerea unui tip de sustinere in galerie, plecind de la descrierea masivului de roca propus de SIMR.

Criteriile utilizate in aceasta clasificare sint de doua feluri:

1. Criterii relative la teren:
 - rezistenta mecanica a rocii;
 - parametrii de fracturare (discontinuitatile);
 - starea de alterabilitate;
 - conditii hidrogeologice;
 - inaltimea acoperirii si eforturile naturale.
2. Criterii relative la lucrare:
 - dimensiunile si forma tunelului;
 - procedeul de realizare a excavatiei;
3. Criterii relativ la mediul inconjurator:
 - influenta mai mult sau mai putin periculoasa a tasarilor;
 - consecintele defavorabile ale unor procedee speciale de consolidare (injectii, congelare).

Pentru fiecare criteriu sint realizate tablouri care dau indicatii orientative asupra alegerii sustinerii.

Pentru fiecare tip de sustinere se indica in functie de valoarea parametrului care caracterizeaza criteriul respectiv, daca sustinerea considerata este:

recomandata (net favorabila)

posibila cu conditia ca si alte criterii sa fie favorabile

foarte slab adaptata pina la eventual posibila

in principiu imposibila (net defavorabila).

Dintre criteriile enumerate mai sus a fost ales pentru a fi prezentat aici criteriul comportarii mecanice a terenului.

Pentru definirea acestui comportament, terenurile au fost impartite in zece clase, cuprinzind rocile, paminturile si terenurile intermediare, ultimile doua fiind definite prin unghiul de frecare interna, indicele de plasticitate (I_p) si cel de consistenta (I_c). (Fig.2.43')

Analiza alegerii diferitelor sustineri in functie de aceste categorii de rezistenta mecanica este data in tabelul 2.14

Si pentru celelalte criterii sint date tablouri asemanatoare.

Suprapunerea rezultatelor relativ la fiecare criteriu trebuie sa permita selectionarea tipului de sustinere cel mai potrivit.

Cu titlu informativ sint date in tabelul 2.15 si un exemplu de utilizare a metodei AFTES.

Exemplul prezinta un tunel de diametru mediu executat sub apa in terenuri argiloase, mediu consolidate si slab permeabile, cu riscuri de incluziuni de gips si mediu sensibil la tasari.

Acest exemplu arata ca alegerea poate ramine in anumite cazuri deschisa unei analize suplimentare economice, functie de importanta santierului, termenele de executie si disponibilitatile de materiale.

Contrar metodelor Barton si Bieniawski, recomandarile AFTES ajung la alegerea unui tip de sustinere si nu la o dimensionare.

In concluzie, se poate spune ca avantajul principal al acestor metode este de a obliga geologul si proiectantul sa recenzeze si sa cuantifice toti parametrii geotehnici care pot influenta echilibrul lucrarii subterane.

Utilizarea oricarei metode trebuie judecata cu experienta proprie pentru validarea sustinerii recomandate.

Aceste metode pot fi utilizate simultan in stadiul de anteproiect, pentru a analiza diferentele si convergentele rezultatelor si a selectiona astfel sustinerea cea mai buna.

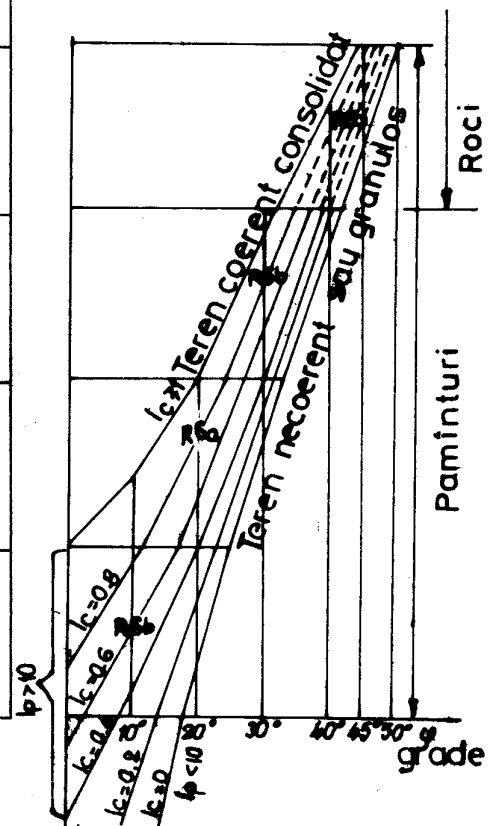
In aceasta etapa, pentru noi, cea mai potrivita alegere ar fi utilizarea recomandarilor AFTES din urmatoarele motive:

- clasificarea rocilor este cea utilizata si la noi in corelare cu coeficientul de tarie a rocii a lui Protodiaconov
- clasificarea acopera atit domeniul rocilor, cit si al paminturilor;
- metoda lasa utilizatorului libertatea alegerii unui sistem de sustinere din 2-3 variante, neimpunindu-i un sistem gata dimensionat.

Categorie	Denumire	Exemple	σ_c (MPa)
R1	Roci de rezistență foarte mare	Cuarțite și bazalte de rezistență mare.	>20 0
R2a	Roci de rezistență mare	Granite foarte rezistente, porfire, gresii și calcare de rezistență foarte mare.	200 la 120
R2b		Granite, gresii și calcare în foarte bună stare, marmore, dolomite, conglomerate compacte.	120 la 60
R3a	Roci de rezistență medie	Gresii ordinare, sisturi silicioase sau gresii sistoase, gneise.	60 la 40
R3b		Sisturi argiloase, gresii și calcare de rezistență medie, marne compacte, conglomerate puțin consistente.	40 la 20
R4	Roci de slabă rezistență	Sisturi sau calcare moi sau foarte fracturate, gipsuri, gresii foarte fracturate sau marnoase, creta, conglomerate.	20 la 6
R5a	Roci de f. slabă rezistență și pământuri coerente consolidate	Marne nisipoase sau argiloase, nisipuri marnoase, gipsuri sau creta alterată.	6 la 0.5
R5b		Pietrisuri aluvionare, nisip argilos normal consolidat.	< 0.5
R6a	Pământuri plastice sau puțin consolidate	Marne alterate, argile, nisipuri argiloase, prafuri fine.	-
R6b		Turbe și mături puțin consolidate, nisipuri fine fără coeziune	-

Fig. 2.43

I_p = Indice de plasticitate = $W_L - W_P$
 I_c = Indice de consistență
 $I_c = (W_L - W_P) / I_p$
 W_L și W_P = Limitele lui Atterberg
 W = Continutul în apă naturală



Tabel 2.14

Comportament mecanic	Fara sprijinare	Torcret	Ancore			Cintre		Boltari		Tevi perforate	Scut sau tub impas	Metode speciale		
			Punctif.	Reparti-zate	Infipite	Grele	Usoare culisante	Metal	Beton			Injecție	Aer compr.	Congel.
R1	•		•		×			×	×	×	×		×	×
R2a	•		•		×			×	×	×	×		×	×
R2b		•	•	•	×			×	×	×	×		×	×
R3a		•	•	•	×		•	×	×	×	×		×	
R3b		•		•	×		•		×	×	×			
R4	×	•	×			•	•							
R5a	×	•	×			•	•	•						
R5b	×		×	×		•	•	•	•	•	•	•		
R6a	×		×	×	×	•	•	•	•		•	•		
R6b	×		×	×	×	Enf	Enf	Enf	Bcl		•	•		•

Legenda Enf: cu sprijinire contur Blf: cu sprijinire front Bcl: cu scut

Tabel 2.15

Exemplu Tunel D=6m in argile cu gips sub 10m acoperire, din care 8m sub nivelul apei		Fara sprijinare	Torcret	Ancore			Cintre		Boltari		Tevi perforate	Scut sau tub impas	Metode speciale		
Criteria	Clase			Punctif.	Reparti-zate	Infipite	Grele	Usoare culisante	Metal	Beton			Injecție	Aer compr.	Congel.
1 Comp. Mec.	R5a	×	•	×		•	•	•							
3 Alterabilitate	Dizolvare	×	•	×	×	Bl	Bl	•	•						
4 Hidrologie	H1 K2	×	Df	×		•	•	•	•		•	×			
5 Acoperire	σ^p moderat	×		×				•	•						
7 Mediu	Sensibil		Ci	×	×	Act	×		Bcl		Ini				
Sinteza		×	×	×	×	Act, Bl	×	Enf	Bcl		Ini	×			

Concluzii - Cintre grele active + blindaj
 - Boltari metalici
 - Boltari beton armat prefabricati montati in scut

2.6. Trasarea tunelurilor.

Realizarea unui tunel pe o cale de comunicare necesita un studiu al traseului in doua etape:

- studiul pe harta care se incheie cu trasarea pe harta a variantelor de traseu;
- studii de teren care comporta:
 - ridicari topografice pentru intocmirea unor planuri la scari mari in scopul studierii in detaliu a variantelor;
 - trasarea pe teren, pichetarea si reperarea variantelor studiate in birou, cu nivelment longitudinal si transversal;
 - trasarea pe teren in subteran a axului tunelului in timpul executiei.

2.6.1. Trasarea axei tunelului in exterior

Trasarea axei tunelului in exterior se realizeaza prin urmatoarele procedee:

- trasarea directa, peste masiv pentru un tunel scurt si teren putin accidentat;
- trasare prin ocolirea masivului, cu ajutorul metodei poligonometriei;
- trasarea cu ajutorul metodei triangulatiei.

A. Trasarea directa a axei unui tunel.

Aceasta se poate face atat in cazul unui tunel in aliniament cit si a unui tunel in curba.

a. Trasarea axei unui tunel in aliniament.

In prima etapa se fixeaza locul reperilor de baza de la cele doua capete. Acestia sint reperi atat de cota cit si de axa si se amplaseaza cite trei la fiecare capat, la 20m unul de altul si la 40-100m de portal. Operatiunea de trasare completeaza axa tunelului intre reperii de la cele doua capete. Concomitent cu trasarea se realizeaza si nivelmentul si kilometrajul. Masuratorile se repeta de cel putin trei ori.

In functie de configuratia terenului pe zona tunelului se pot intilni mai multe situatii de trasare a axei.

a.1. Cind dintr-un punct de pe creasta se pot viza direct reperii de baza de la cele doua capete (Fig. 2.45)

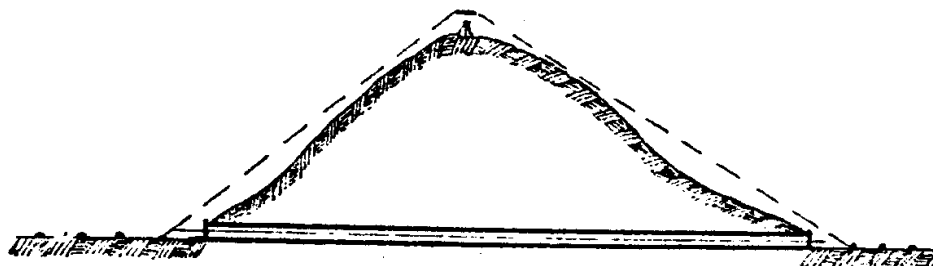


Fig. 2.45 Trasarea axei unui tunel caz a1

a.2. Cind masivul are doua creste si apare necesitatea unei statii suplimentare c (Fig. 2.46)

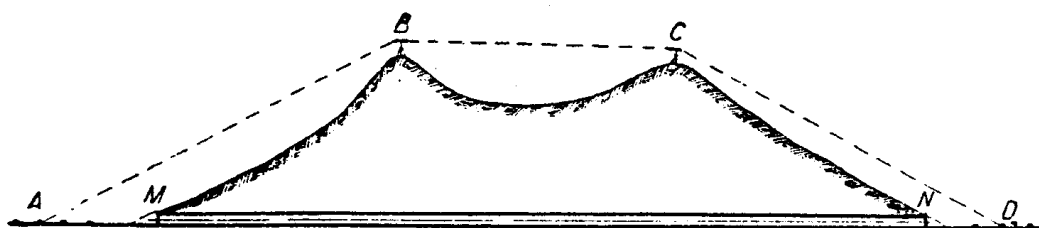


Fig.2.46 Trasarea axei unui tunel caz a2

a.3. Cind configuratia terenului nu permite vizarea reperilor de capat si sint necesare statii suplimentare C si F (Fig. 2.47) si vizari inapoi CA si FB.

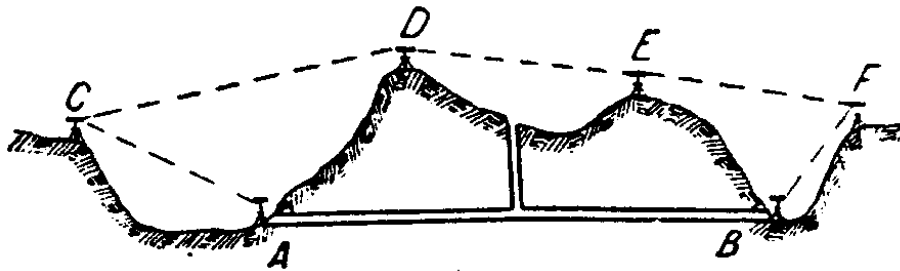


Fig.2.47 Trasarea axei unui tunel caz a3

b. Trasarea axei unui tunel in curba.

Trasarea curbelor, in plan sau in profil longitudinal, se poate realiza prin mai multe metode, dintre care amintim:

- metoda coordonatelor rectangulare pe tangente sau pe coarde;
- metoda coardelor succesive (poligonul coardelor);
- metoda tangentelor succesive;
- metoda secantelor etc.

Alegerea uneia dintre aceste metode depinde de conditiile locale, de precizia trasarii si preferinta topometrului.

Metoda coordonatelor rectangulare pe tangente prezinta doua variante:

- cu abscise egale (Fig. 2.48a), ordonatele y calculindu-se cu relatiile

$$y_1 = R - \sqrt{R^2 - X^2}$$

$$y_2 = R - \sqrt{R^2 - (2X)^2}$$

- cu arce egale (Fig. 2.48b), coordonatele y calculindu-se cu relatiile:

$$XE = R \sin \lambda ; \quad YE = R(1 - \cos \lambda)$$

$$XF = R \sin 2 \lambda ; \quad YF = R(1 - \cos 2 \lambda) \text{ etc.}$$

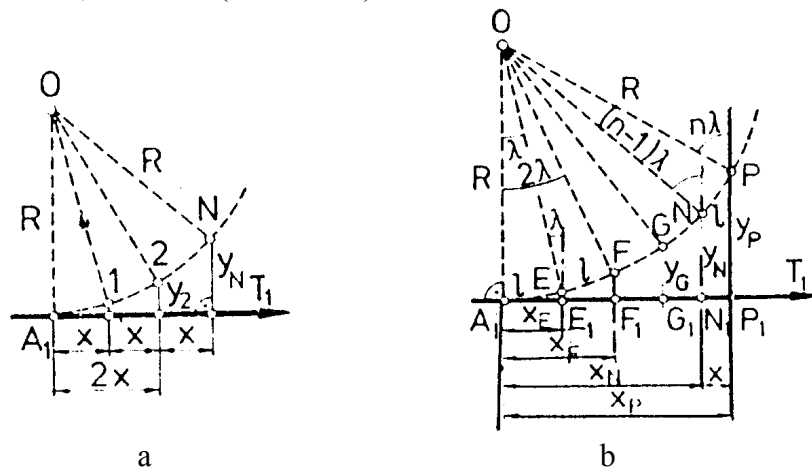


Fig. 2.48 Trasarea in curba. Metoda coordonatelor rectangulare pe tangente cu abscise egale (a) si cu arce egale (b).

B. Trasarea axei unui tunel prin metoda poligonometriei.

In cazul unui teren accidentat, la care trasarea directa nu poate fi utilizata se intrebuinteaza o drumuire poligonala (poligon inchis) , care se desfasoara lateral de axa tunelului, pe un culuar (vale, drum) existent. (Fig. 2.49)

Se alege un sistem de axe rectangulare yAx , cu prima latura pe axa x .

Masurind unghiurile si laturile poligonului se pot calcula coordonatele x si y ale virfurilor. Se determina apoi valoarea unghiului α , ($\text{tg } \alpha_1 = y/x$) si $\alpha_n = 180^\circ (n-2) - \sum \alpha_i - \alpha_1$ si distanta AB , $AB = \sqrt{x^2 + y^2}$

Lungimea optima a laturilor este de cca. 300m iar numarul lor < 30 .

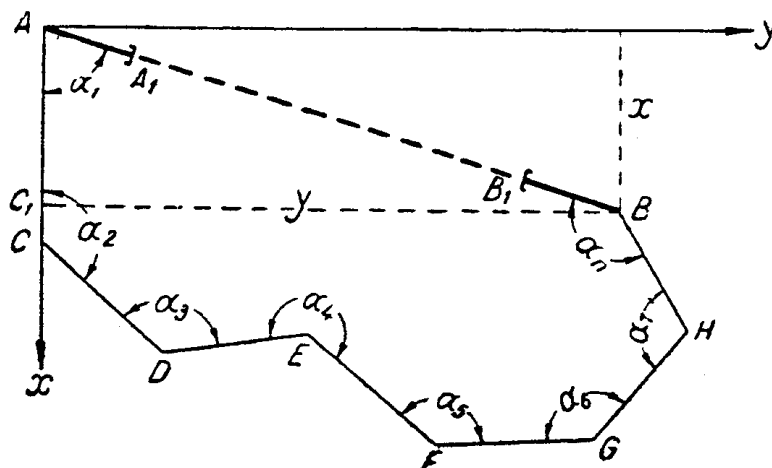


Fig. 2.49 Trasarea axei unui tunel cu ajutorul unei linii poligonale

Marirea preciziei acestei metode se face prin indesirea numarului de masuratori pentru unghiuri si laturi si prin trasarea a doua sau mai multe poligoane. Metoda este recomandabila la tunele de max 3km lungime.

C. Trasarea axei unui tunel cu ajutorul triangulatiei.

Metoda triangulatiei se foloseste ca baza de trasare la executarea tunelurilor f. lungi ($> 3\text{km}$), care strabat masive f. accidentate.

Reteaua de triangulatie denumita si canevas, se proiecteaza de regula sub forma unui lant de triunghiuri sau patrulatere cu diagonale observate.

Aceasta retea se poate dezvolta in doua trepte, ca retea principala cu lungimile laturilor de 3 - 7 km si ca retea secundara (care indeseste pe cea principala) cu lungimile laturilor de 0.3 - 3km. Precizia masurarii unghiurilor este determinata de precizia necesara la trasarea tunelului, de aparatura existenta pe santier, calificarea personalului, distantele mici intre puncte. Masurarea lungimilor bazelor se face prin diferite procedee, inclusiv cele foarte precise.

Trasarea propriuzisa a axei tunelului se face prin legarea in citeva puncte, in special la capete de retea de triangulatie si de reperele retea de nivelment. Un exemplu de trasare a axei unui tunel bazat pe o retea de triangulatie este dat in Fig. 2.50

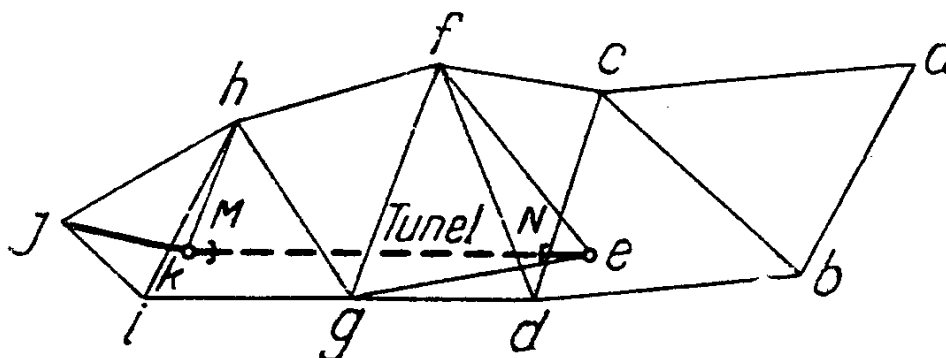


Fig. 2.50 Trasarea axei unui tunel folosind metoda triangulatiei.

2.6.2. Trasarea axei tunelului in subteran in timpul executiei.

La inceperea executiei unui tunel toate elementele necesare pentru trasarea axei in subteran (punctele de legare de rețeaua de triangulație sau drumuirea poligonală și reperii de axa și de cota de la cele două capete) trebuie să fie cunoscute și materializate pe teren.

Operațiile care intervin la trasarea unui tunel sînt:

- materializarea în galerie a axei și niveleței prin reperi de direcție (plan de situație) și de cota (profil în lung).
- determinarea profilelor transversale, în front pentru realizarea excavatiei și la inelele ce se execută pentru asigurarea înscrierii gabaritului.

1. Materializarea axei cailor și niveleței în tunel.

Proiectul de execuție al unui tunel trebuie să prezinte pentru realizarea trasării, axa tunelului în plan și niveleta în profil longitudinal.

Axa tunelului coincide cu axul traseului pentru un tunel în aliniament și prezintă o deplasare spre interiorul curbei, la tunele în curba. Niveleta cailor într-un tunel este amplasată față de axul ipotetic al acestuia, în funcție de forma secțiunii transversale.

Conducerea trasării unui tunel în subteran trebuie să țină seama de aceste elemente și deasemeni de metoda de execuție utilizată.

Pentru metodele clasice, trasarea se realizează în galeriile de înaintare (de bază sau de creștet), pe cînd la metoda scutului trasarea urmărește scutul și captuseala rămasă în urma acestuia. Masuratorile în subteran pornesc întotdeauna de la reperii de bază de la capete care sînt legați la rețeaua de triangulație și au coordonatele legate la cele mai apropiate semnale topografice din zonă. În timpul executiei, tunelistii verifică înainte de excavare cota și direcția galeriei cu ajutorul firului cu plumb fixat de tavan.

Trasarea axei în aliniament este ușor de executat, făcîndu-se cu semnale de vizare luminoase (firul cu plumb este luminat).

Poziția axei se materializează prin reperi fixați la o distanță de 50 - 100m.

Verificarea axei provizorii se face periodic, funcție de viteza de înaintare și numărul de schimburi.

La începerea verificării, se instalează teodolitul în punctul de plecare, se vizează spre reperul de bază de la capăt și apoi se îndreaptă luneta spre reperii din interiorul tunelului.

Semnalul luminos și firul cu plumb se deplasează pînă ce se suprapun cu firul reticular al aparatului. Atunci se marchează reperul de direcție.

La fiecare 1000m de galerie, topometrul verifică înaintarea frontului, axul și cota și da elemente de trasare noi.

Trasarea axei tunelelor în curba, este mai dificilă datorită deschiderii mici a galeriei și deci a distanței de vizare limitate.

Metoda cea mai utilizată pentru trasarea în curba a unui tunel, în subteran, este *metoda polara sau a unghiurilor succesive*.

Teodolitul se amplasează în punctul de tangență A1 și se transpune unghiul δ ($\sin\delta = s/2R$) pe direcția tangentei T1. Apoi cu ruleta se aplică pe direcția δ mărimea coardei s , obținîndu-se punctul 1 al curbei (Fig. 2.51).

Se trasează cu teodolitul unghiul 2δ față de direcția aceleiași tangente T1, iar cu ruleta se aplică coarda s din punctul 1 (astfel încît extremitatea segmentului s să se găsească pe linia de vizare corespunzătoare direcției 2δ) și se obține punctul 2.

Tot astfel se procedează și pentru trasarea celorlalte puncte 3,4,... ale curbei, pînă cînd vizarea este împiedicată de peretele galeriei, moment în care teodolitul se mută în punctul de tangență 4 și operațiunile se repetă.

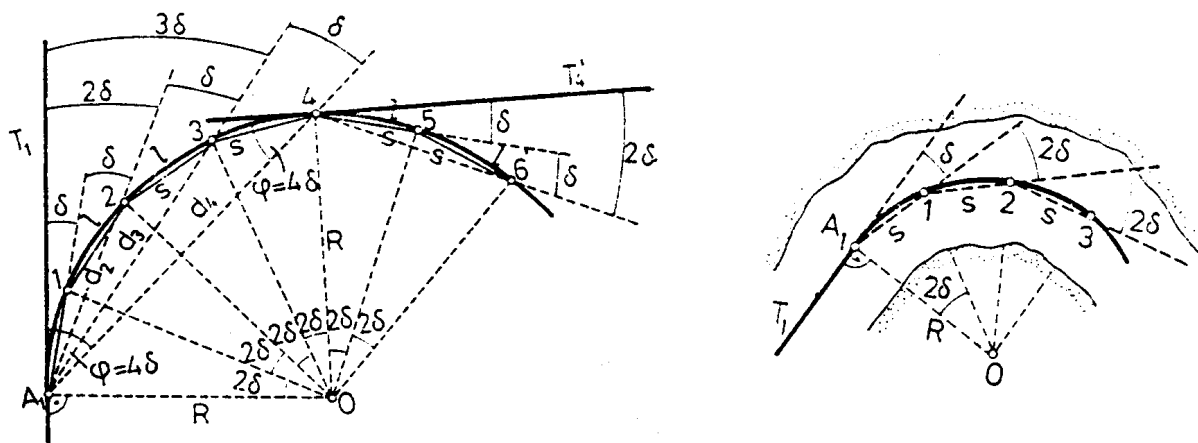


Fig. 2.51 Trasarea unui tunel in curba. Metoda polara.

2. Trasarea profilelor transversale.

In cadrul lucrarilor de trasare a unui tunel un rol important revine si urmaririi trasarii conturului excavatiei in front, a evolutiei deplasarilor spre interior a acestuia (masuratori de convergenta) si a formei profilelor transversale a inelelor executate.

Toate aceste masuratori sunt necesare in principal pentru o inscriere corecta si in siguranta a gabaritelor de circulatie a vehiculelor ce circula prin tunel. Tipul de masuratori adoptate depinde de metoda de executie utilizata si dotarea constructorului.

Metodele clasice de executie au avut asociate metode topografice traditionale de urmarire si trasare a profilelor excavate sau betonate.

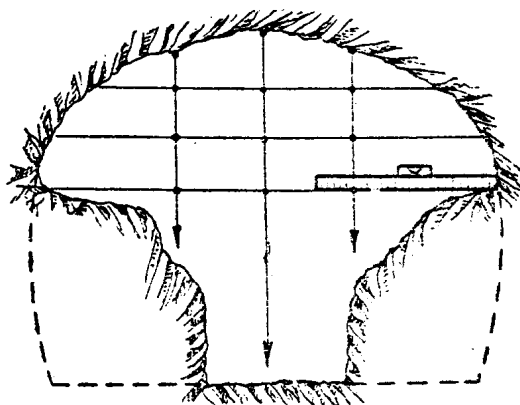


Fig. 2.52 Trasarea profilului transversal cu metoda coordonatelor rectangulare.

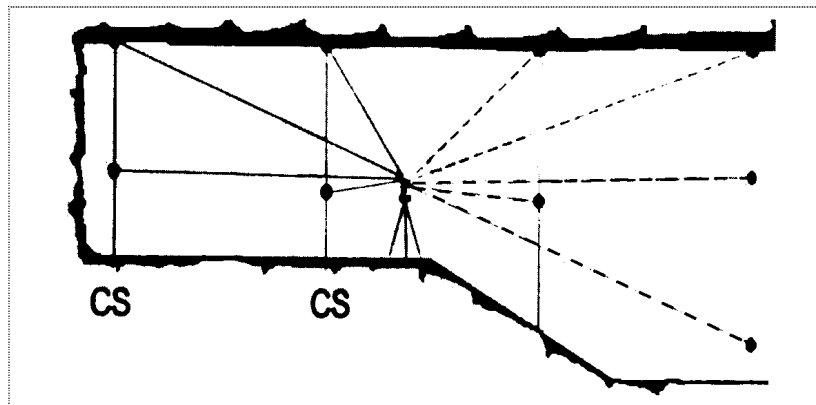
Noua Metoda Austriaca, utilizata mult in ultimele decenii, are drept parte integranta si indispensabila, masuratorile de convergenta in situ.

Aceste masuratori trebuie realizate foarte rapid si rezultatele trebuie sa fie disponibile pentru interpretare imediat dupa realizarea excavatiei sau a torcretarii.

Metodele traditionale de determinare a deformatiilor au fost nivelmentul in radier si chee si citirile de convergenta cu ajutorul extensometrelor. In multe cazuri aceste metode nu au dat insa rezultate suficient de corecte, pentru o buna reprezentare a deformatiilor tunelului, fiind deranjate si deranjind la rindul lor procesul de executie.

Inconvenientele metodelor traditionale au fost inlaturate prin utilizarea unor tehnici si instrumente noi, cum sunt statiile electronice totale si reperii reflectorizanti.

Bazate pe tehnici de masurare 3D optice, tehnologia de monitorizare a fost imbunatatita intr-un asemenea grad, incit urmarirea constructiei unui tunel in cele mai dificile conditii a devenit o rutina, accidentele fiind mai rare iar costul mai redus.

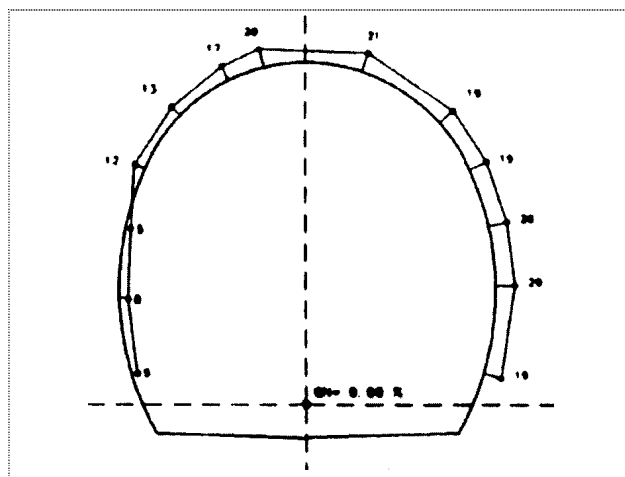


Cea mai favorabila procedura pentru colectarea de date este asa numita statie libera flexibila (Fig. 2.53) in care statia este amplasata in cea mai convenabila pozitie din punct de vedere al vizibilitatii si fara intreruperea activitatii in tunel.

Fig. 2.53 Statie libera flexibila pentru urmarirea optica a deplasarilor 3D.

Sezioniile de masurare sint uzual amplasate la 10 - 20m, fiecare sectiune continind 5 - 7 reperi reflectorizanti si permit interpretarea comportarii tunelului si in sectiune longitudinala.

Pentru tunele de CF sau rutiere, o zona de urmarire de 80m poate fi usor realizata.



Mai intii se stabilesc coordonatele 3D si orientarea statiei, utilizind un set de puncte de referinta stabile, apoi se vizeaza si se centreaza viza pe primul reper, inregistrind citirea.

Datele obtinute din masuratori sint convertite apoi in informatii adecvate inginerului tunelist, cu ajutorul unor programe specializate. Unul din produsele acestor programe il constituie reprezentarea profilelor transversale realizate ale tunelului si compararea cu cele proiectate (Fig. 2.54)

Fig. 2.54 Reprezentarea unui profil transversal

Datele obtinute din masuratorile de convergenta servesc la stabilirea momentului optim de introducere in opera a captuselii definitive iar profilele transversale stabilesc grosimile si volumele de beton din captuseala.

Metoda scutului, cea mai utilizata metoda de executie, prezinta trasaturi specifice in ceea ce priveste trasarea, date de particularitatile acestei metode.

Principala trasatura specifica o constituie dependenta de caracteristicile de inaintare ale scutului (controlabilitate si dirijare). Controlabilitatea scutului, care influenteaza inscrierea corecta a acestuia pe traseul proiectat, depinde de urmatorii factori si interactiunea lor:

- raportul diametru / lungime (D/L);
- evazarea cutitului;
- forta de impingere disponibila;
- rezistenta pe conturul cutitului;
- rezistenta la inaintare pe suprafata invelisului;

- calitatea captuselii exterioare de a rezista la forta de impingere.

Dirijarea scutului contine doua faze distincte:

- navigatia, operatia de reperare topograficaa scutului;
- pilotajul, operatia de conducere propriuzisa a scutului.

Reperarea topografica a scutului in timpul inaintarii, necesita verificarea cu grija a urmatoarelor elemente (Fig. 2.55) :

- a) planul niveletei Li, pentru asigurarea ca tunelul este in pozitie corecta in planul liniei;
- b) planul vertical Le, pentru asigurarea ca tunelul este in pozitie corecta in plan vertical;
- c) directia niveletei S, pentru asigurarea ca scutul este in directia liniei (nu are devieri stinga - dreapta);
- d) firul cu plumb P, pentru asigurarea ca tunelul este in pozitie corecta in directia verticala corecta (nu are ridicari sau coboriri);
- e) rasucirea, pentru asigurarea ca cheia este in pozitie corecta.
- f) forma, pentru asigurarea ca forma circulara (a scutului si a captuselii exterioare) nu a suferit modificari.

Determinarea acestor elemente se poate face prin diverse sisteme, printre care si cel prezentat in Fig.2.55 , care consta dintr-un sistem de oglinzi astfel pozitionate pe interiorul constructiei metalice a scutului, incit o raza laser este reflectata pe un ecran de control al inaintarii scutului, special gradat, care indica deviatii scutului in plan vertical si orizontal.

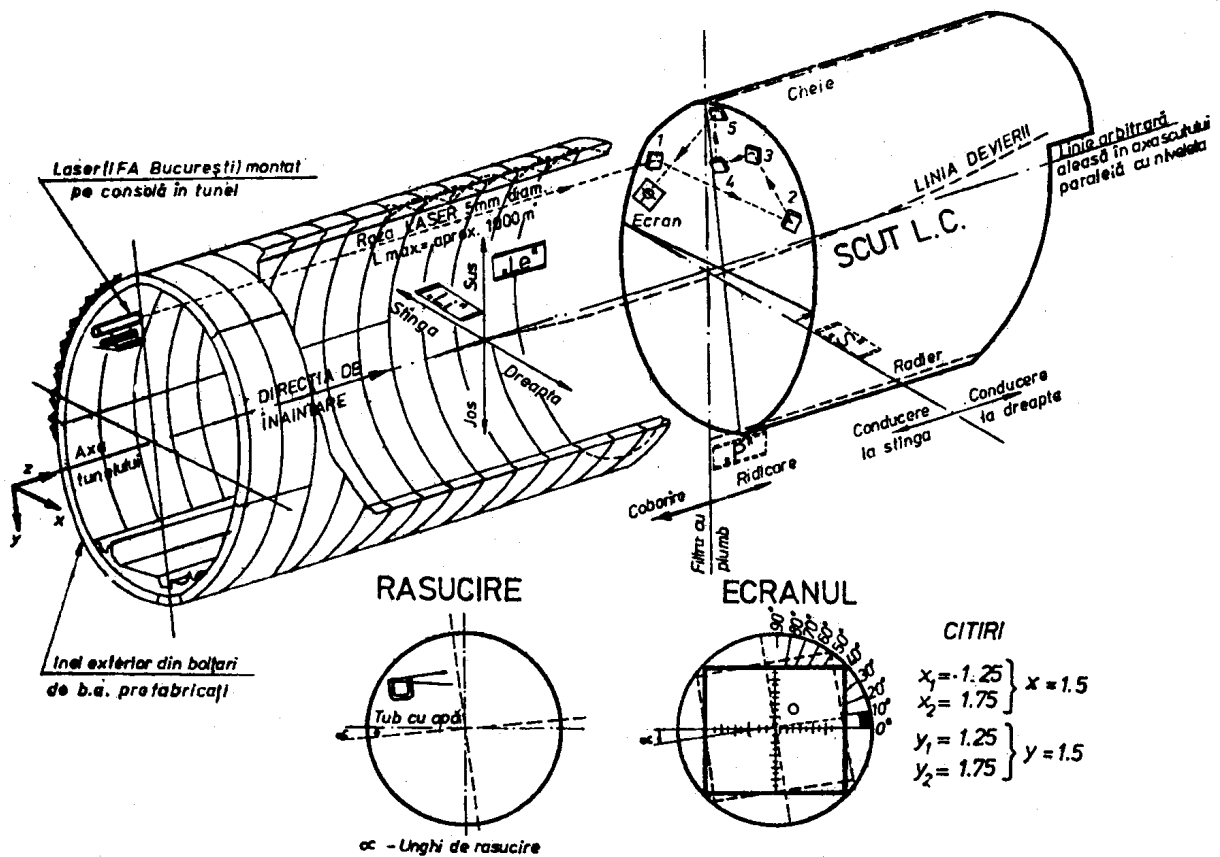


Fig. 2.55 Metoda scutului. Perspectiva si elemente de navigatie.

Faza de pilotaj consta in:

- a - inregistrarea diferentelor dintre pozitia teoretica si cea reala a scutului;
- b - actionarea preselor in timpul avansului functie de aceste diferente;
- c - montarea unor boltari speciali adaptati nevoilor dirijarii;

d - realizarea unei excavatii in extraprofil functie de nevoile dirijarii.

Obiectivul final al dirijarii scutului este obtinerea unei captuseli cit mai apropiata de pozitia proiectata. Realizarea profilelor transversale ale captuselii exterioare, in spatele scutului, se face cu aceleasi mijloace ca si la celelalte metode.

Realizarea acestor profile si compararea lor cu cele teoretice, permite analizarea inscrierii gabaritului de circulatie si stabilirea grosimii captuselii interioare.

In cazul unor abateri mai mari de la traseul proiectat, pot fi adoptate solutii de realiniere a niveletei in plan vertical sau retrasare a axului in plan de situatie.

BIBLIOGRAFIE

1. AFTES - Groupe de travail nr.1 Geologie - Geotechnique. Texte des recommandations pour unedescription des massifs rocheux utile a l'etude de la stabilite des ouvrages souterraines. Supplemen au TOS nr. 117, 1993
2. AFTES - Groupe de travail nr. 7. Soutenement et revetement. Texte des recommandations relative au chois d'un type de soutenement en galerie. Supplemen au TOS nr. 117, 1993
3. Antonescu I. Manual de laborator geotehnic ICB, 1978
4. Bancila I. etc. Geologie inginereasca, Editura tehnica, 1981
5. Bouvard Lecoanet A., Colombet G., Esteuille F. Ouvrages souterrains. Conception- Realisation - Entretien. Presses de ENPC, 1992
6. C ETU Dossier pilote des tunnels (Geometrie) 1990
7. Cristescu N. Topografie inginereasca, Editura didactica si pedagogica, Bucuresti, 1978
8. Dima A., Iftimie T. Tuneluri si metropolitane - Aplicatii, ICB, 1984
9. Duffaut P. Comment ouvrir un cours de tunnels ? TOS nr.135, 1996
10. Iftimie T. Elemente de trasare, gabarite, controlabilitate si dirijare a scuturilor la executia tunelurilor de cale ferata. RTTc nr.4, 1980
11. Iftimie T. Contributii la conceptia si calculul structurilor circulare prefabricate pentru tuneluri feroviare executate cu scutul. Teza de doctorat. Bucuresti, Feb. 1996
12. ITA - Working Group, 1988. Guidelines for the disign of tunnels. TUST nr.3
13. Mathivat J., Bougard J.F. Procedes generaux de construction, Eyrolles, Paris, 1985
14. Teodorescu Petre. Constructia tunelelor. Editura Cailor Ferate, 1958
15. Rabensteiner K. Advanced tunnel surveying and monitoring. Felsbau nr.2, 1996
16. Schein Tadeus. Tuneluri si metropolitane. Timisoara, 1990
17. Szechy Karoly. Traite de construction des tunnels. Dunod, Paris, 1970
18. STAS 2924 -91 Poduri de sosea. Gabarite
19. STAS 4392 - 91 Poduri de Cf. Gabarite
20. Vernescu D., Stoenescu L. Sistematizarea subterana. Editura tehnica, Bucuresti, 1976
21. ITA-AITES Special Issue 2002 - Why go underground