

Löveltbetonos alagútépítés

**Négyszemeszteres
Mérnöktovábbképzés**

Első Szemeszter Előadásvázlata

- Alagútépítésről általában: Német, Belga módszerek
- A lövelltbetonos alagútépítés kialakulása, elve:
 - régi, újabb, új és legújabb osztrák alagútépítési mód (Rabcewicz, Lepold Müller)
 - a lövelltbetonos alagútépítés megnevezése más országokban (Németország, Norvégia, Anglia)
 - a lövelltbetonos falazat tönkremeneteli elmélete
- Fejtési osztályok bevezetés a kőzetosztályok alapján:
 - Kőzet és talaj mint geológiai fogalmak rövid ismertetése
 - fejtési osztályba sorolások története
 - különböző országok fejtési osztályra vonatkozó előírásai.
 - a túlfejtés fogalmának ismertetése.
- Fejtési módszerek kőzetben és talajban.
 - fejtési keresztmetszetek formái kőzetben és talajban.
 - kis és nagy átmérőjű keresztmetszetek rész keresztmetszetre való osztásának módjai (oldaltárós, függőleges, illetve vízszintes osztású, ideiglenes főtetalp-boltozat, stb.)

- többvágatos és egymásba metsződő vágatos állomás építési módszerek.
- egyéb speciális építési módok: Kärntnerdeckel Bw., nyitott boltíves építkezés (Luftbogen Bw.).
- fejtési portál kialakítás, felbővítés és oldal irányú kitörések lépései.
- Talaj-, ill. kőzetjövésztés módja: kotróval, marófejjel, robbantással.
- Elsődleges és másodlagos biztosítási elemek:
 - Elsődleges biztosítási elemek ismertetése:
 - lövelltbeton: alkalmazás, felhordás módja (röviden), alkalmazott rétegek, felhordási sorrend, lövelltbetonnal szemben támasztott követelmények (szilárdulásainak időbeli lefolyása az első 24 órában).
 - lövelltbetonhéz vasalása: hegesztett háló, acélívek, speciális acélívek (gyűrődő zónák).
 - Másodlagos biztosítási elemek:
 - - horgonyok: injektált, súrlódásos horgonyok

- Előbiztosítási elemek:
 - nyársak
 - acéllemezek
 - injektált ernyők (jet-grouting)
 - víztelenítő csápok
 - injektált, fagyasztásos talajkondicionálás
- Az elsődleges biztosítási elemek méretezése:
 - Közelítő méretezés grafikonokkal
 - Alagút méretezés analitikus és numerikus módszerrel (röviden) - FEM DEM, BEM, FDM
- Belső falazat:
 - Falazat kialakítása: egy rétegű, kétrétegű falazat
 - Falazat vasalása: vasalt, vasalatlan, acélszál erősítésű falazat,

- Falazattal szemben támasztott követelmények:
 - tartósság, fagyállósága, korrózióvédelme, tűzállósága
 - esztétikai megjelenése
 - zsugorodási, repedéstágasság követelmények
- Falazat betonozása, betonozási blokkok, betonnal szemben támasztott követelmények, eszközei.
- Falazat szigetelése, szigetelési csomópontok, blokkosztások, szigeteléssel szemben támasztott követelmények.

- Alagutak víztelenítése:
 - Építés közbeni víztelenítési
 - Víztelenítés végleges állapotban, természetes vizek és üzemi vizek összegyűjtése, elvezetése, kezelése.

- Monitoring:
 - Alakváltozások és deformációk mérése:
 - Konvergencia mérés az alagútban.
 - Süllyedésmérés
 - Deformáció mérések a talaj környezetben.

- Feszültségmérések:
 - Betonfeszültségek mérése.
 - Talajfeszültségek mérése:

"Az igazi művészet az alagútépítésben a nagy kőzetnyomások megelőzése, ami sokkal eredményesebb tudomány, mint a már fellépő kőzetnyomások felvétele. Az elsőt a szellemi, a másodikat pedig a durva fizikai munkával lehetne összehasonlítani."

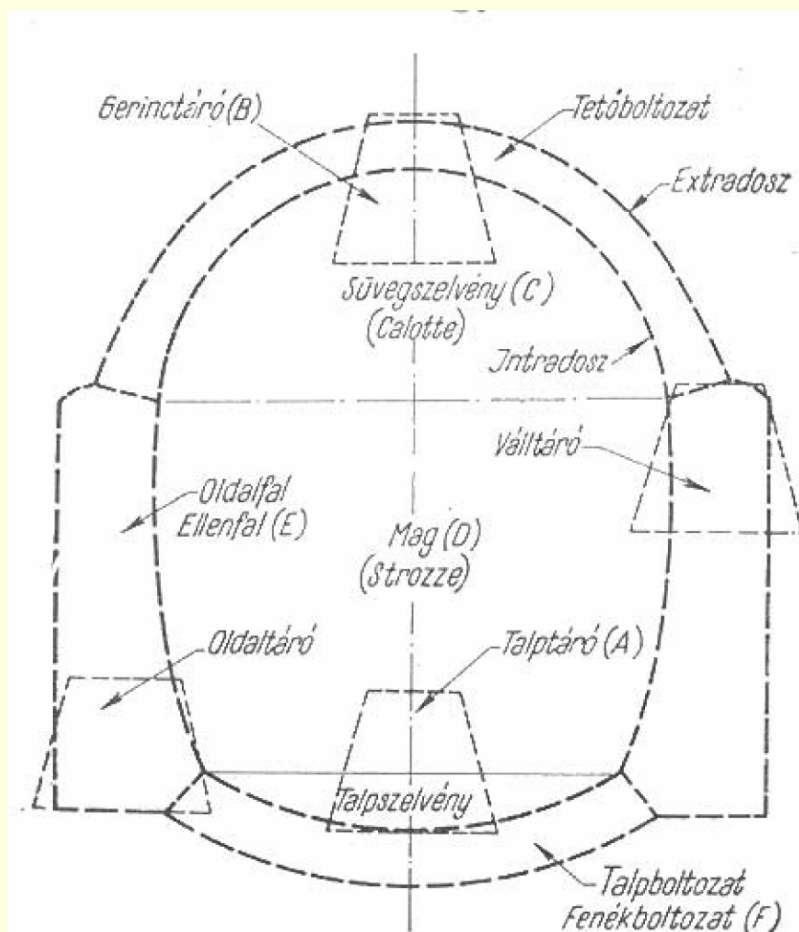
Ržiha

Alagútépítésről általában

Alagutak építési módjai

- alagútépítés szilárd kőzetben
 - fejtés eszközei
 - ❖ mechanikus bontással, fúrással
 - ❖ marófejjel
 - ❖ robantással
 - biztosítás módja
 - ❖ alagútépítés szabad homlokfejtéssel megtámasztás nélkül
 - ❖ alagútépítés szabad homlokfejtéssel, de megtámasztással
- alagútépítés közepes, vagy alacsony szilárdságú kőzetekben, talajokban
 - szelvény részletekben kifejtő és kifalazó módszer
 - ❖ alátámasztó (belga) módszer
 - ❖ maghagyó (német) módszer
 - ❖ fenékboltozatos (olasz) módszer
 - ❖ kombinált módszer
 - szelvényt részletekben kifejtő, de egyben kifalazó módszer
 - ❖ hossztartós (angol) módszer
 - ❖ szaruzatos (osztrák) módszer
 - ❖ gyűrűs építési módszerek (Kuncz, Bernold, kölni)

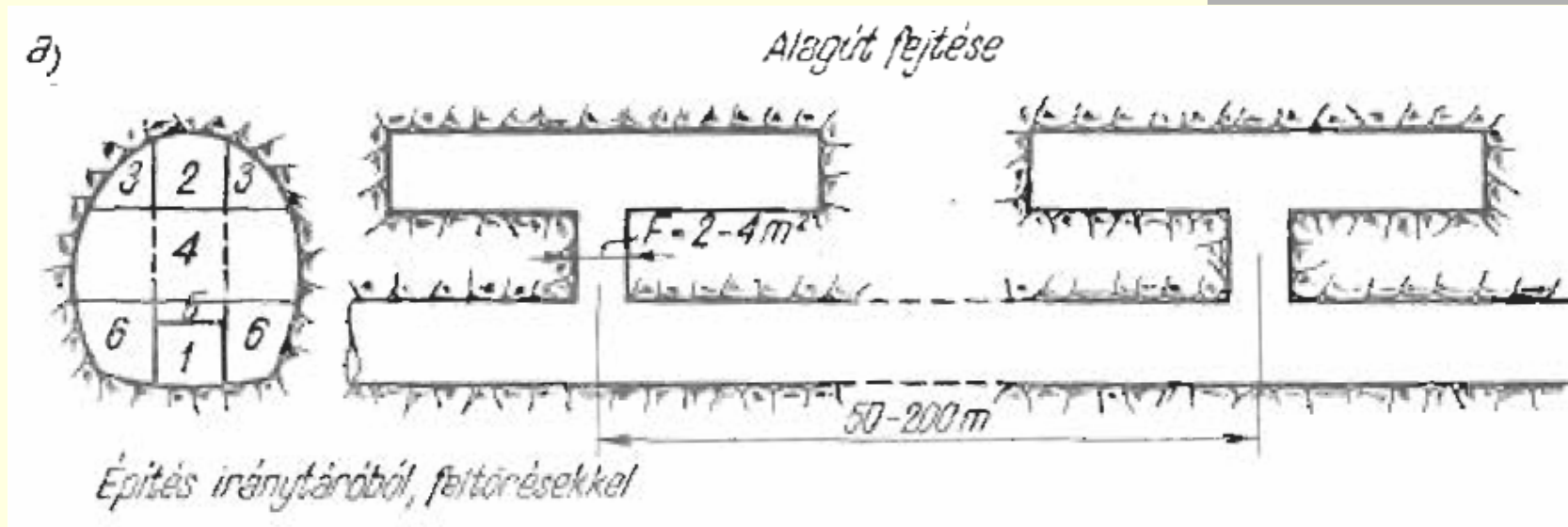
Alagútépítésről általában



Alagút részeinek megnevezése

- A – talptárho (talpszelvény)
- B – gerinctárho
- C – kalott (sűvegszelvény)
- D – Mag (strozze)
- E – Oldalfal, ellenfal
- F – talpboltozat, fenékboltozat, ellenboltozat

Alagútépítésről általában

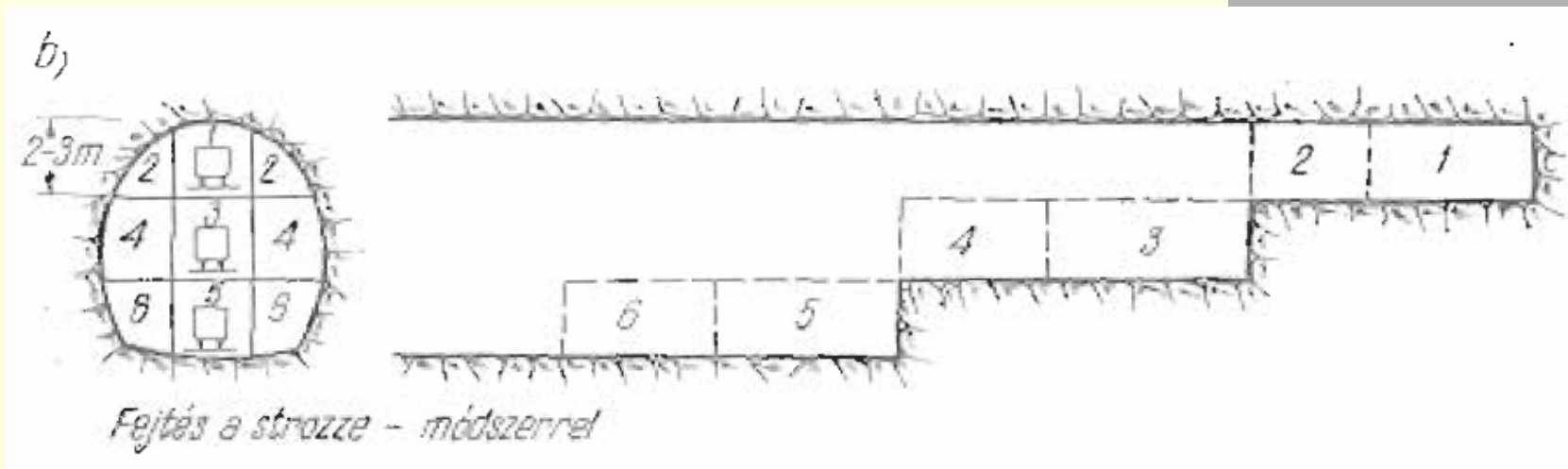


a. - Talptáróból való feltörés

1. tároból a szállítás; 2. tároból a munkavégzés

Egymástól független munkavégzés; a szelvény a vázolt részletekben való kifejtése, a végleges falazat alulról felfelé haladva folyamatosan készül. Előnyei tágas munkatér, nagy haladási sebesség.

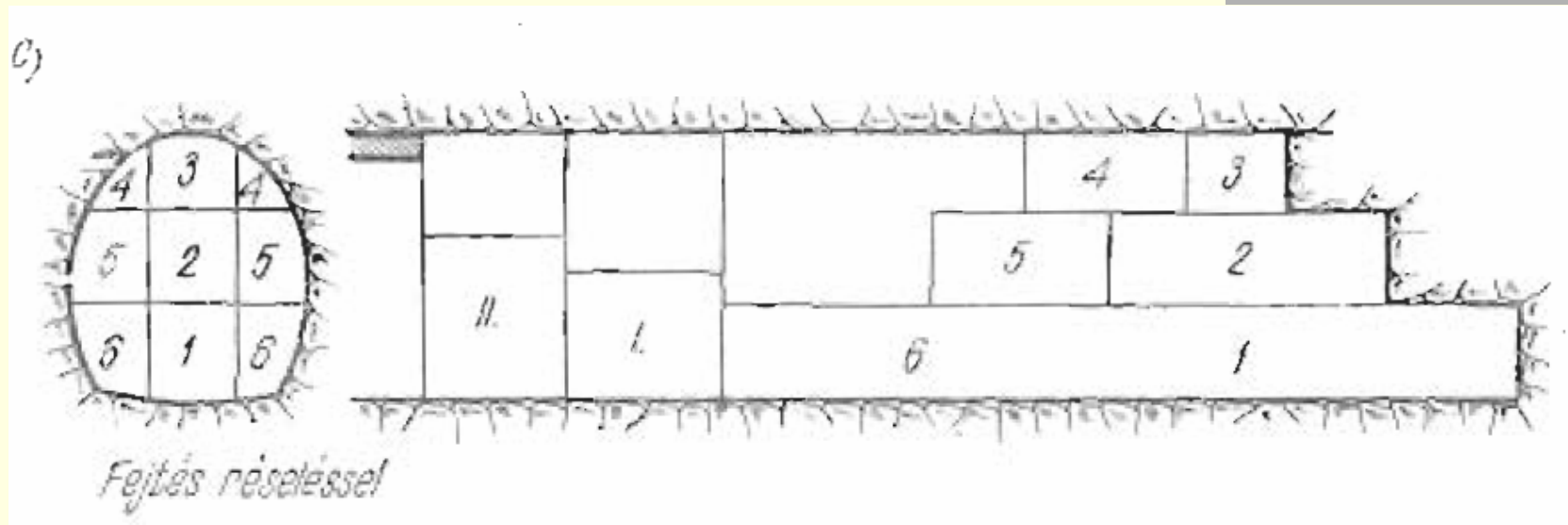
Alagútépítésről általában



b. Magfejtéses (strozze) módszerrel

Fejtés felülről lefelé, adott sorrendben. A fejtés, szállítás nincs különválasztva, szállítási útvonal állandó áthelyezése. Előnyei jó szellőzés, áttekinthető, összefüggő munkavégzés.

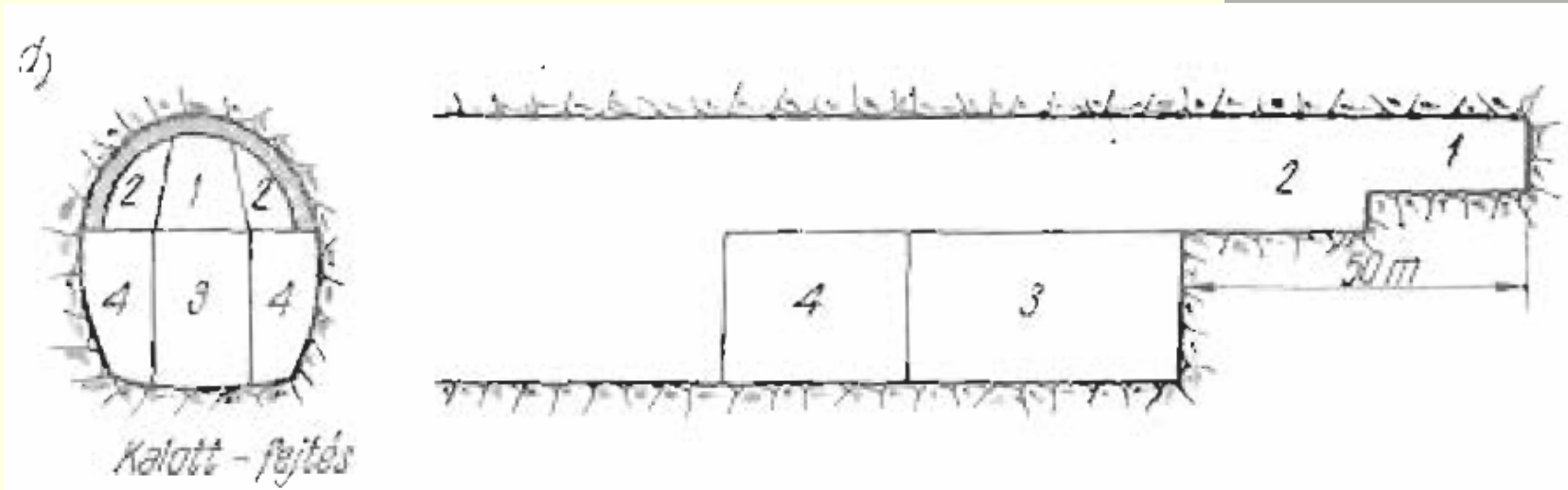
Alagútépítésről általában



c. Réseléses módszer

Alulról felfelé haladó réseléses fejtés. Állékony kemény sziklatalajban alkalmazható, ideiglenes megtámasztás nélkül is alkalmazható. Végleges falazat itt is alulról felfelé összefüggő egészben készül.

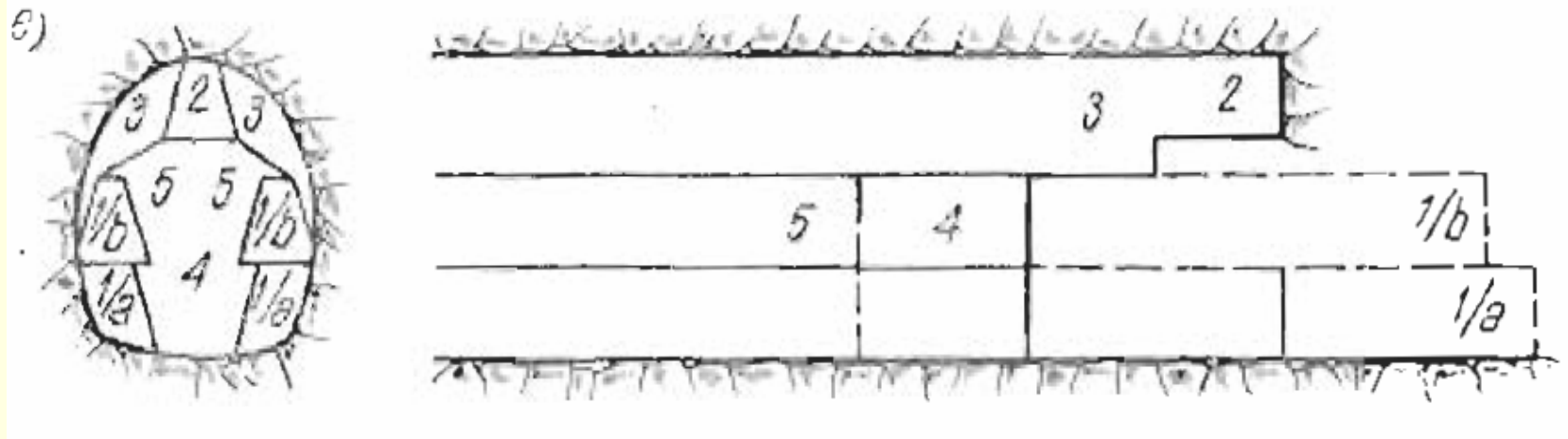
Alagútépítésről általában



d. Süvegszelvényfejtése (Kalott fejtés)

Gerinctárból kiindulva adott gyűrűhosszban kifejtik a süvegszelvényt, majd talajra állítva, vagy hosszirányú vállgerendára támasztva elkészül a tetőboltozat. Ezt követi a középső lemélyítésből felváltva kétoldalt kiágazva megépül az oldalfalazat.

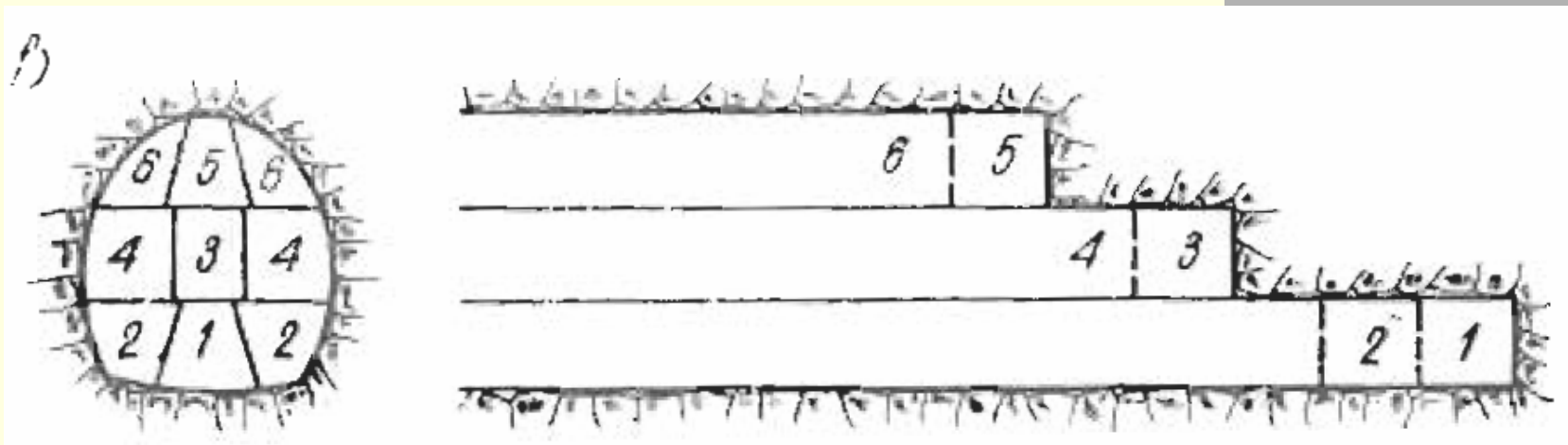
Alagútépítésről általában



e. Oldaltárós módszer

Alacsonyabb szilárdságú talajban, ahol a tetőboltozat ráállítását nem engedi meg. Először az oldal falak épülnek meg az oldaltárókban. Majd a gerinctáróból indulva kifejtik a süvegszelvényt és a kész oldalfalakra támaszkodva megépül a tetőboltozat. Legvégén fejtik ki a bennmaradt földmag részt.

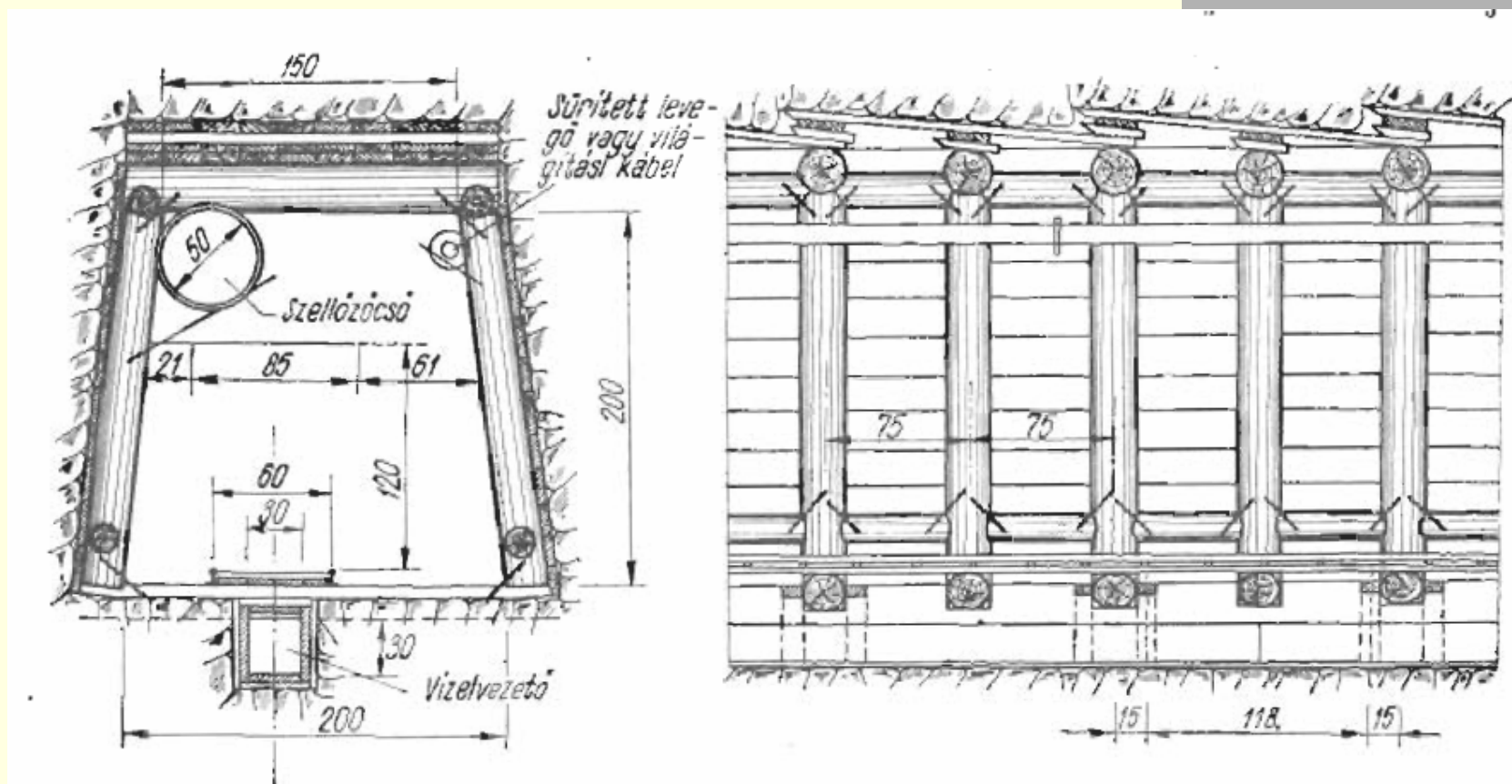
Alagútépítésről általában



f. Alulról felfelé építési módszer

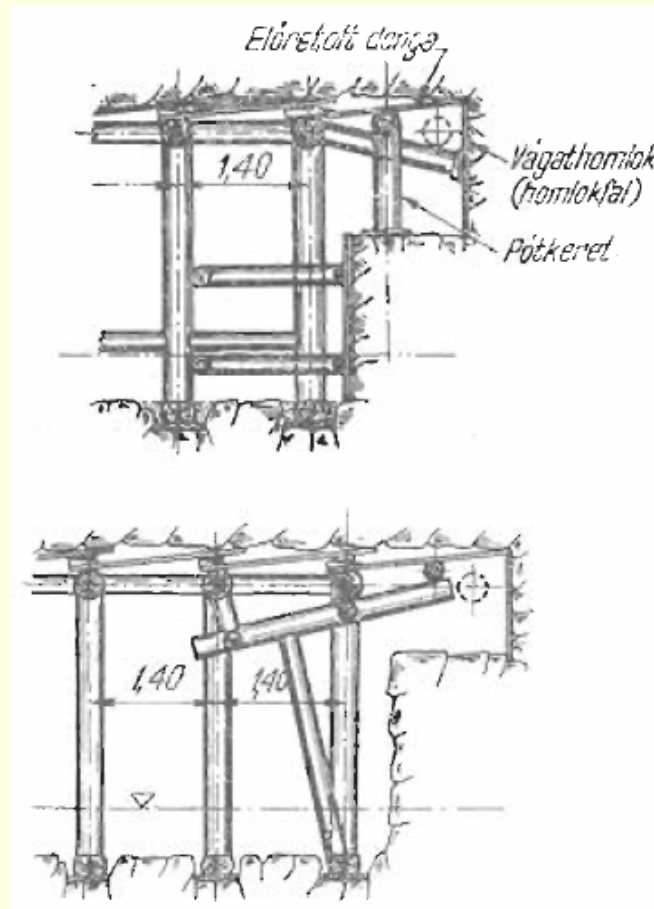
Leglazább talajban először a talptárból indított keskeny vágatokban készül el a falazat talprésze. Lépcsős eltolásban készül a középső rész, majd egy újabb lépcsőben a felső rész.

Alagútépítésről általában



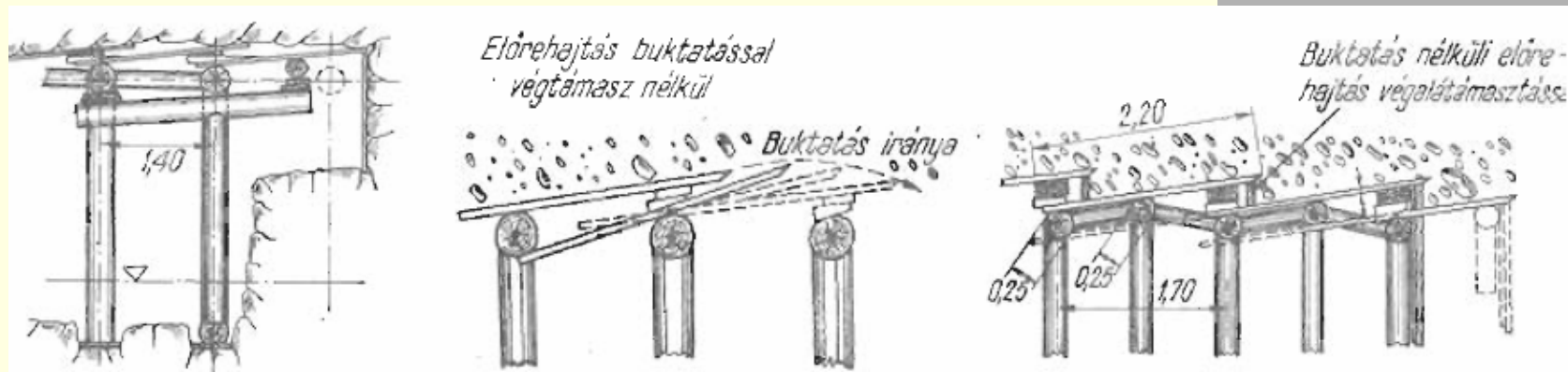
Talptáró általános elrendezése

Alagútépítésről általában



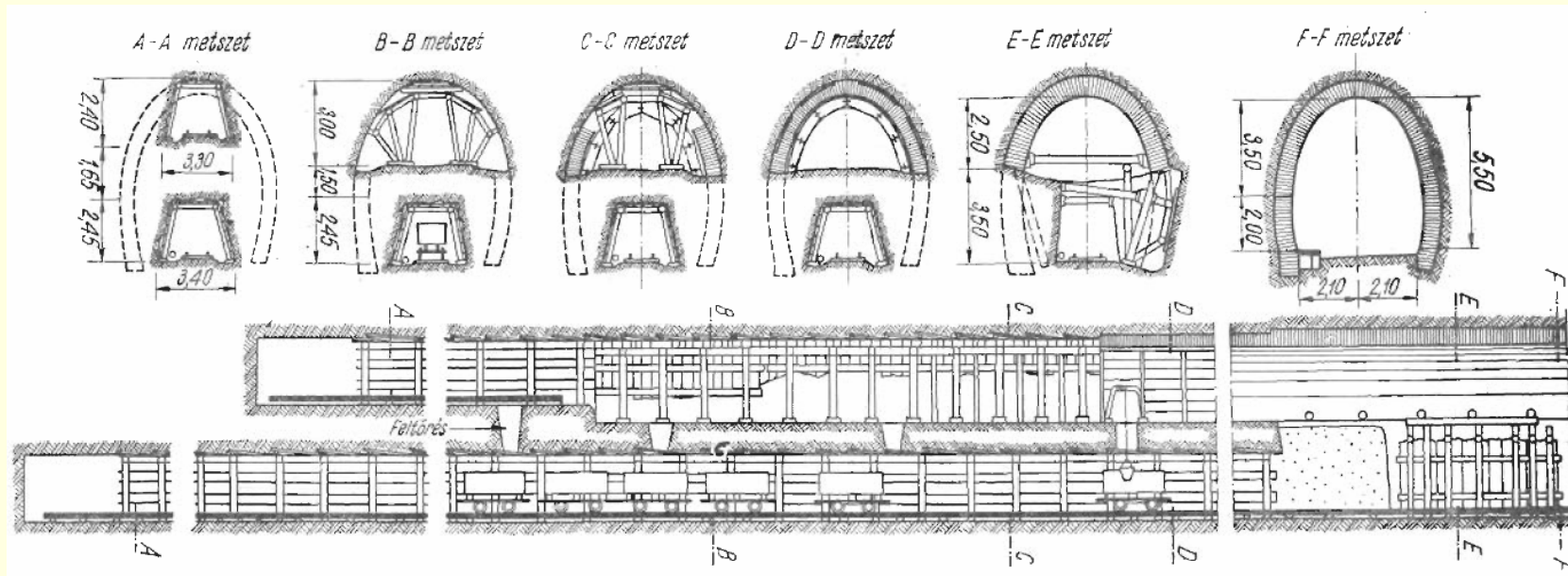
Vágathajtás palló előretolással

Alagútépítésről általában



Tűzópalló előrehajtási módjai

Alagútépítésről általában



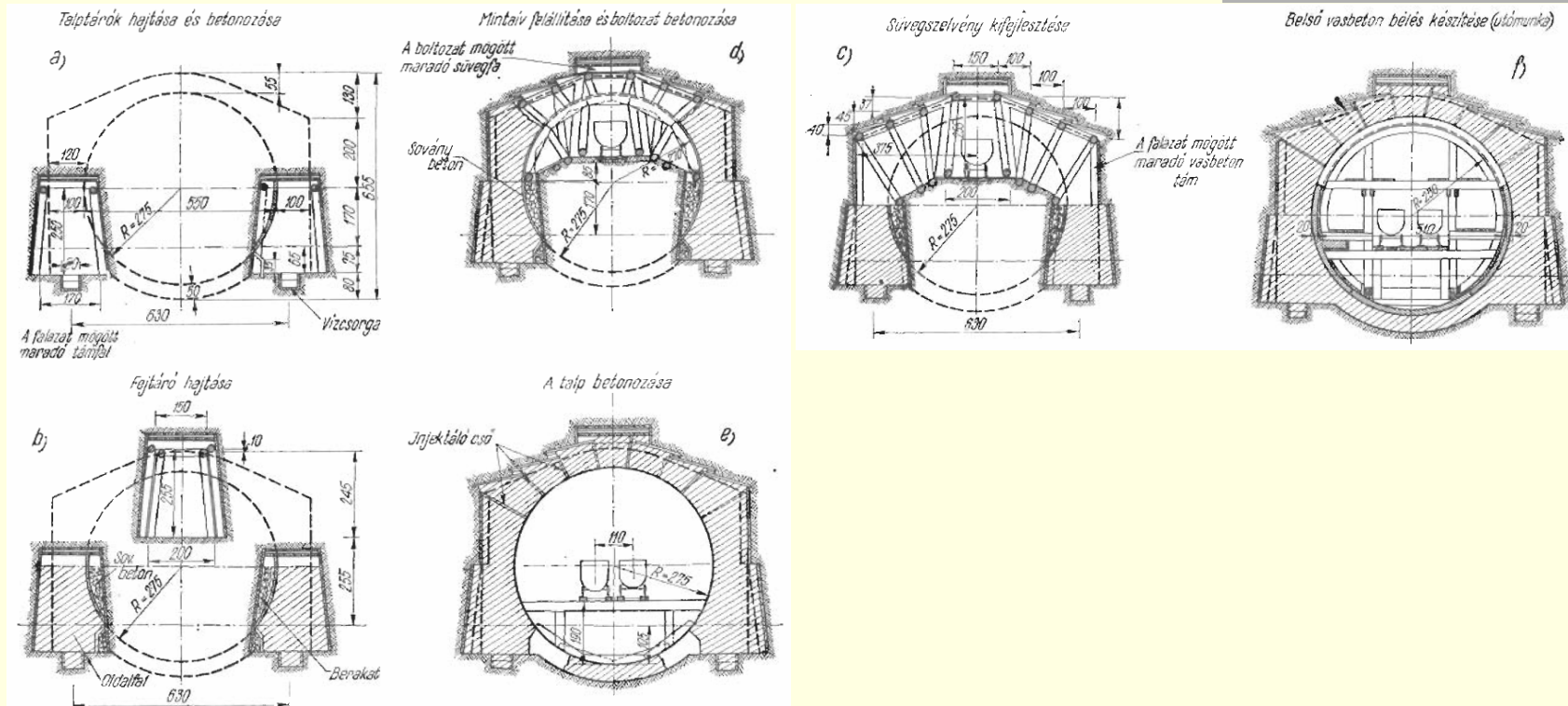
Alátámasztó – belga – építési módszer (d. eset)

- 1 gerinctárhoz építése; 2 gerinctárhoz biztosítása és bővítése; 3 teljes kalott kifejtése; 4 mintaív és zsaluzat beépítése; 5 főteboltozat betonozása; 6 főteboltozat egyik oldalának aláfejtése és az oldalfal beépítése; 7 a főteboltozat másik vállának aláépítése; 8 munkahézagok

Előnyei: a főte gyors végleges biztosítása, a boltozat gyors megépítése.

Mérnöktovábbképzés - lövellbetonos alagútépítés - első szemeszter

Alagútépítésről általában

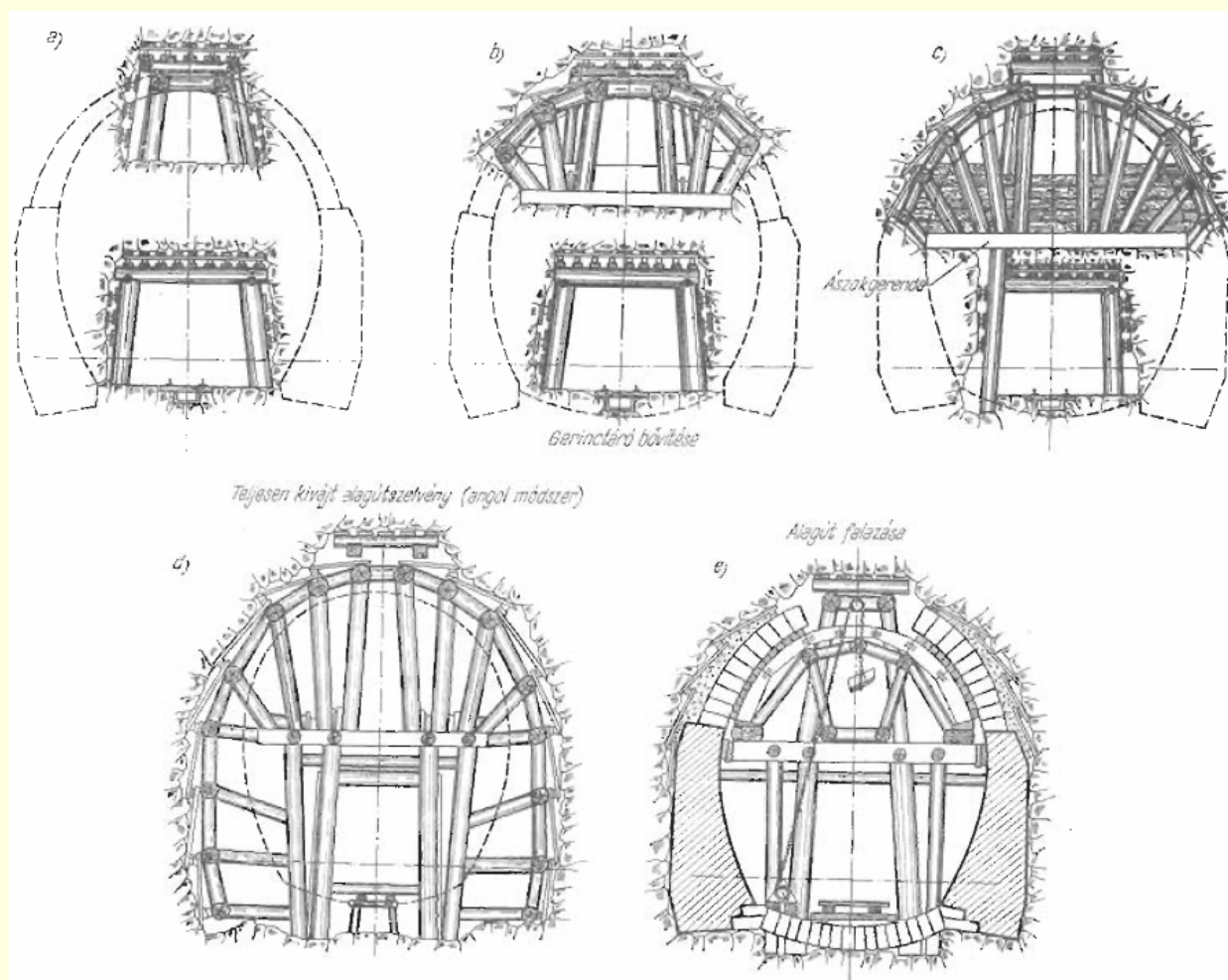


Maghagyásos – német – építési módszer (e. eset)

a. talptárók hajtása betonozása; b. fejtáró hajtása; c. sűvegszelvény kifejlesztése; d. mintaív állítása, boltozat betonozása; e. talp (ellenbolt) betonozása; f. belső vasbeton bélés építése.

Gyenge teherbírású talajban alkalmazható előnyösen.

Alagútépítésről általában

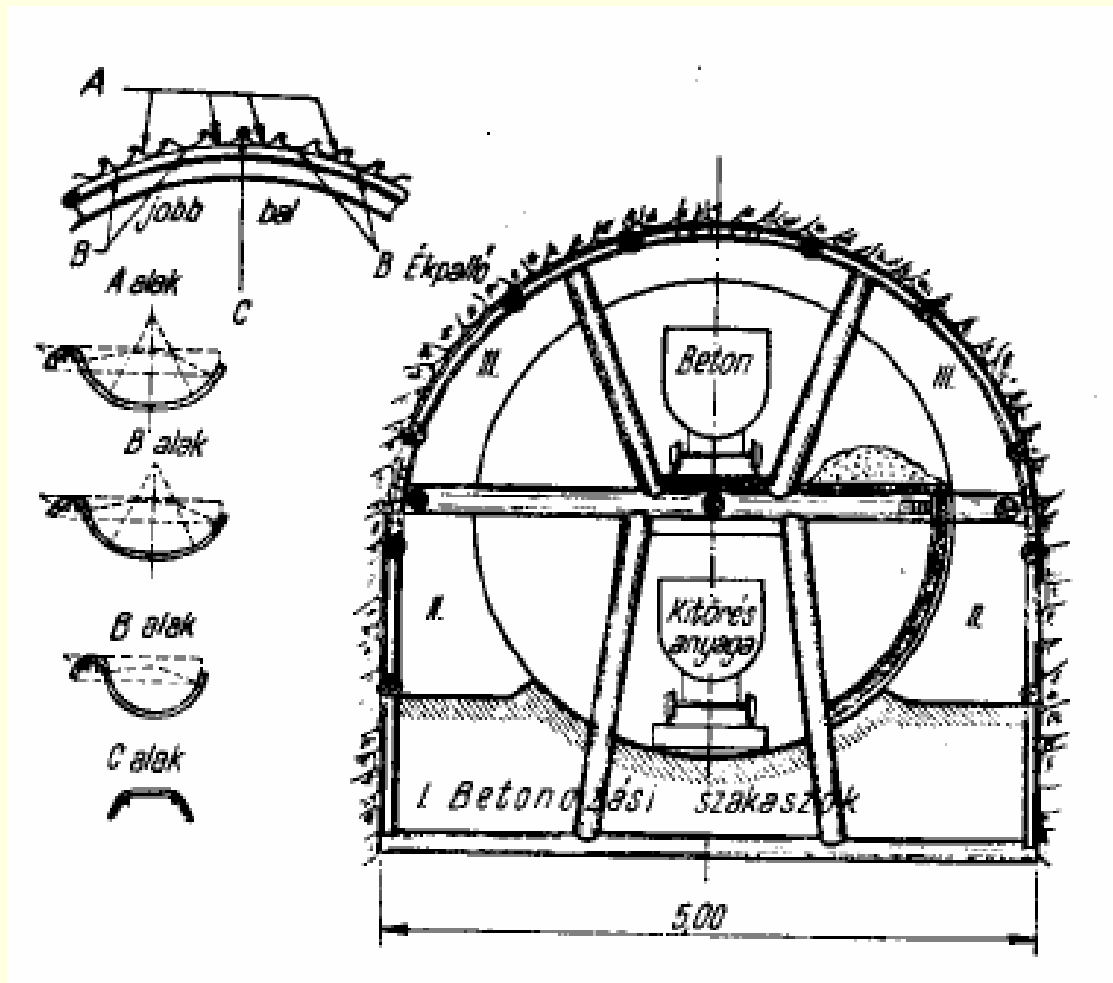


Szelemenés – angol
– építési módszer
(a. eset)

A szelvényt egyben falazzák ki.

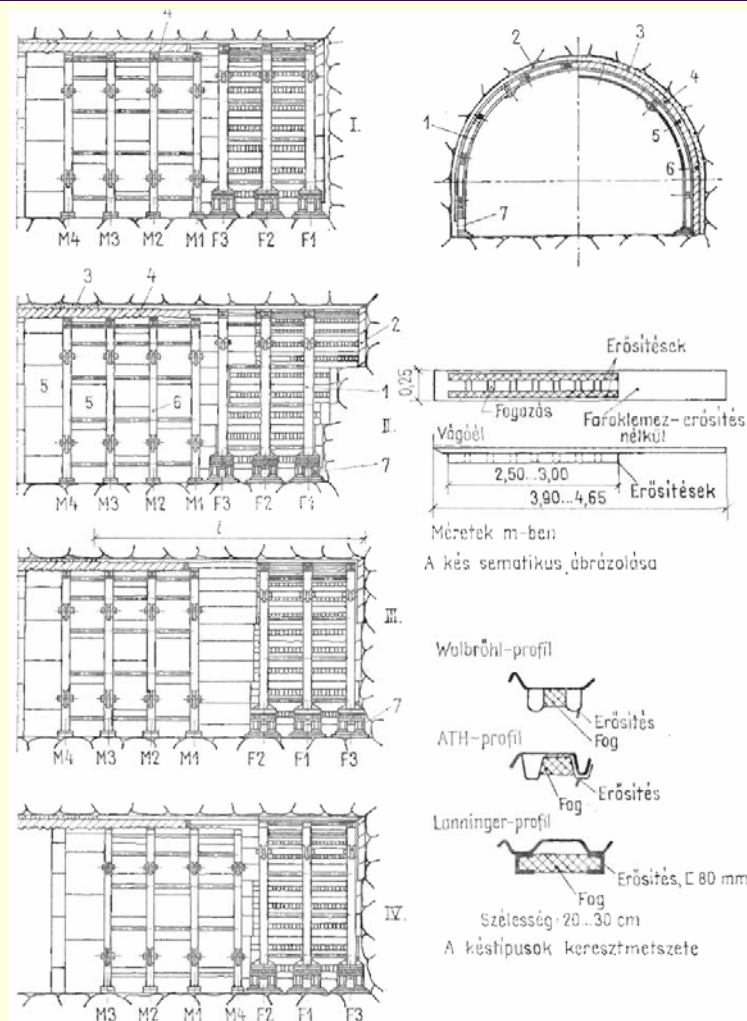
Hossztartós, korona gerendás eljárás.

Alagútépítésről általában



Kölni építési módszer
Vasszerkezetű merevítő bordák
Hosszirányban átfedő,
előresajtott acél hullámpallók.
Egészen laza talajban is jól
alkalmazható és minimalizálja a
süllyedéseket.

Alagútépítésről általában



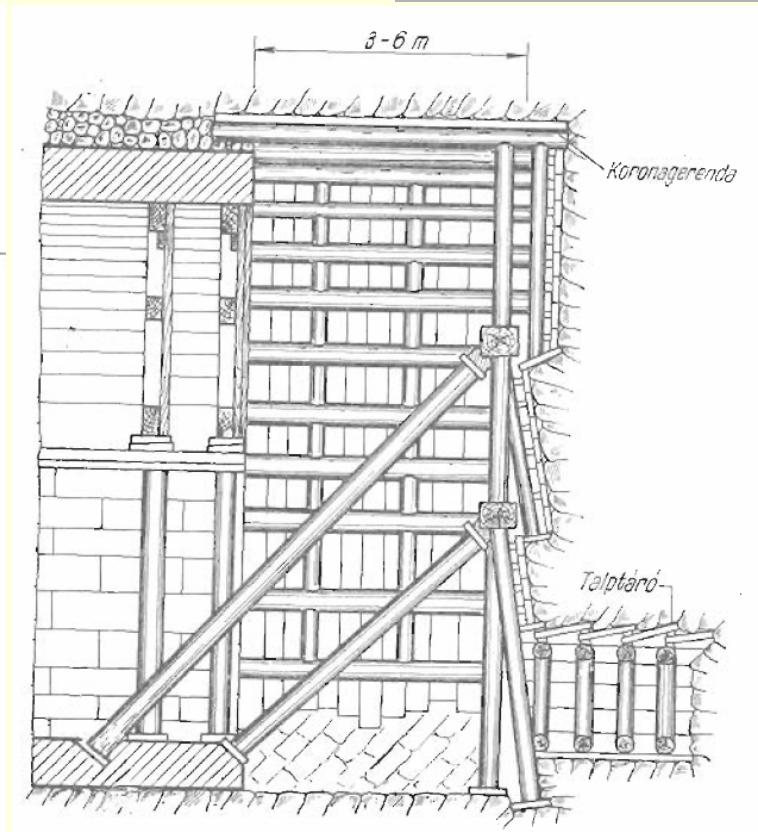
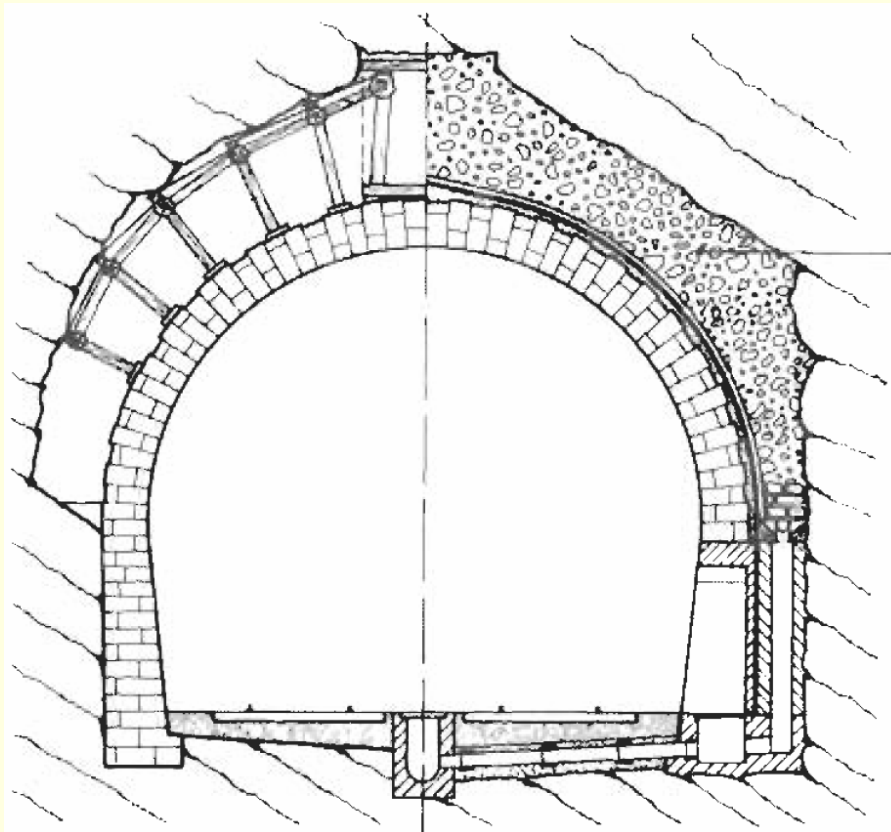
Bernold építési módszer

Építés sajtolt tűzópallókkal

- 1 késtámok; 2 vágóél; 3 injektálás; 4 betonfalazat;
- 5 Bernold-lemez; 6 acél mintaívek; 7 hidraulikus támasztótalpak

A klasszikus alagútépítés nehézkes, többszöri átváltását és gyorsan elhasználódó dúcolásokat igénylő építési módszereit teszi egyszerűbbé és gyorsabbá.

Alagútépítésről általában



Háttérűr kitöltése

Háttérűr kitöltése, tömedékelése szemcsés, zúzott fejtési anyaggal, vagy később injektálással.

Lövelltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód

Osztrák alagútépítési módszer

- régi osztrák alagútépítési eljárás
- újabb osztrák alagútépítési eljárás
- új osztrák alagútépítési eljárás (NÖT, NATM)
- legújabb osztrák alagútépítési eljárás

A régi osztrák alagútépítési módszer ismérvei:

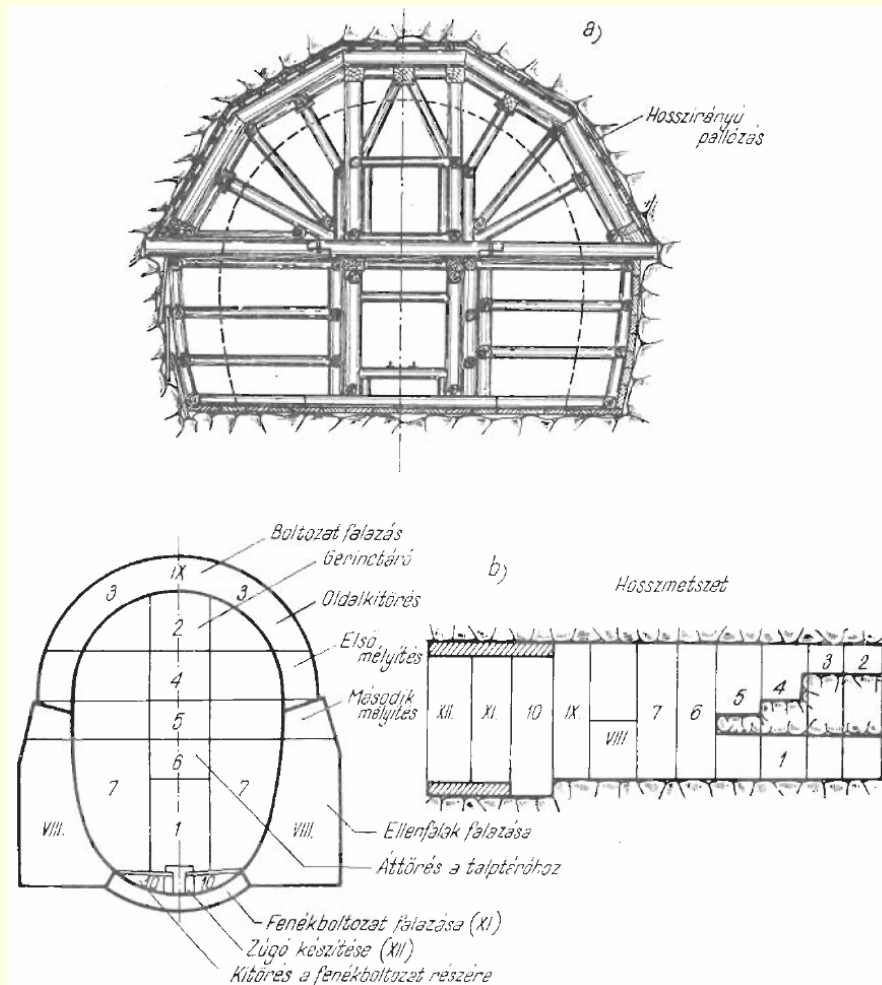
- a keresztmetszet a főtétől a talpig szeletekben – kevesebb, vagy több részfelületekben fejtik és ideiglenesen biztosítják, a dúcolat többszöri átépítésével.
- a végleges falazat - régebben téglából, később betonból - alulról felfelé haladva egy folyamatos munkamenetben épül meg.
- talpboltozat sokszor meg sem épült, illetve jóval később került be.
- a fejtési frontok nagyszámú variálhatósága, aminek a célja, hogy nagy létszámú csapatok tudjanak egyszerre dolgozni, amivel csökkenthető az építési idő.

Az újabb osztrák alagútépítési eljárás abban különbözik a régitől, hogy a a lényeges biztosítási elemekhez acélt használtak. F. Rziha a tovább fejlesztés keretében ötvözte a gyűrűs építési mód előnyeit az újabb osztrák építési eljárással. A fejlődés későbbi szakaszában a gyűrűs építési módból kifejlődött a Kuncz-féle vegyes anyagú építési eljárásba. A kuncz-féle eljárást sok esetben csak a kalott fejtésénél alkalmazták.

Ebbe a sorba tartozik a kölni alagútépítési eljárás, amely gyűrűs építési mód elvesző vasszerkezeti elemekkel, ami az utólagos felszíni süllyedések kiküszöböléséhez vezetett.

Mérnöktovábbképzés - löveltbetonos alagútépítés - első szemeszter

Löveltbetonos alagútépítés kialakulása, elve Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód



Régi osztrák építési módszer (a. eset)

- Kevésbé állékony talajban is alkalmazható
- keresztartós kialakítású
- hosszirányú pallózás
- a talptárhoz mint kutató tárokként is funkcionált
- több munkafelületet biztosított
- a szelvény falazata egy folyamatos menetben építhető meg

Hátrányai:

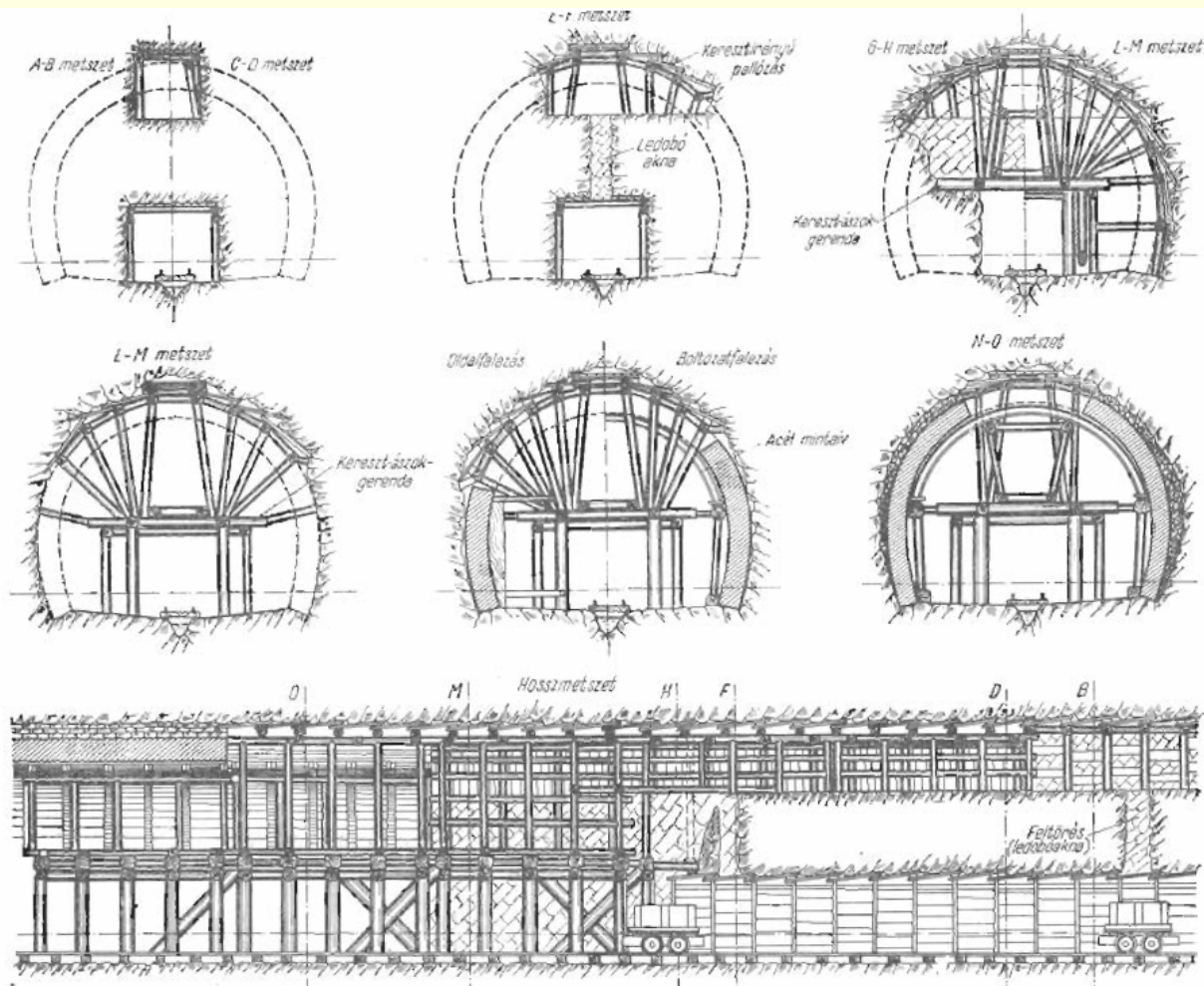
- szűkös munkavégzési terek az ácsolatok miatt
- süllyedés érzékeny a dúcolat gyakori átépítése
- a talajkörnyezet hosszú ideig a hajlékony, könnyű ácsolatra nehezedik, ami süllyedéseket okoz.
- gyakori váltás fejtés és dúcolás között lassú előrehaladást eredményez, nem „automatizálható”

Első alagút: Oberau alagút, Lipcse-Drezda, 1837-39

1848-ban az Alpokon átvezető alagutak építésénél használták.

Mérnöktovábbképzés - löveltbetonos alagútépítés - első szemeszter

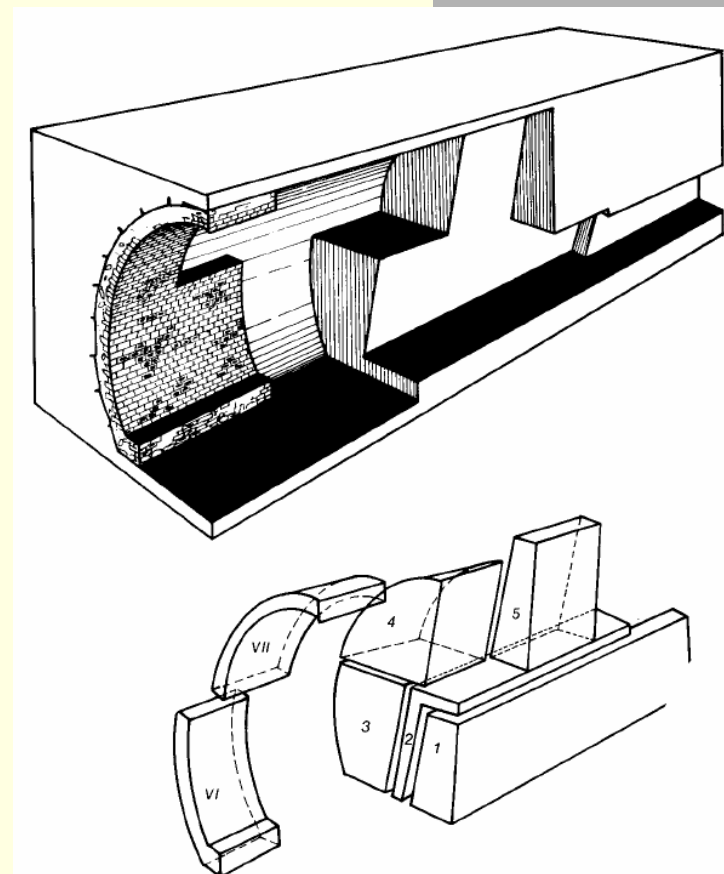
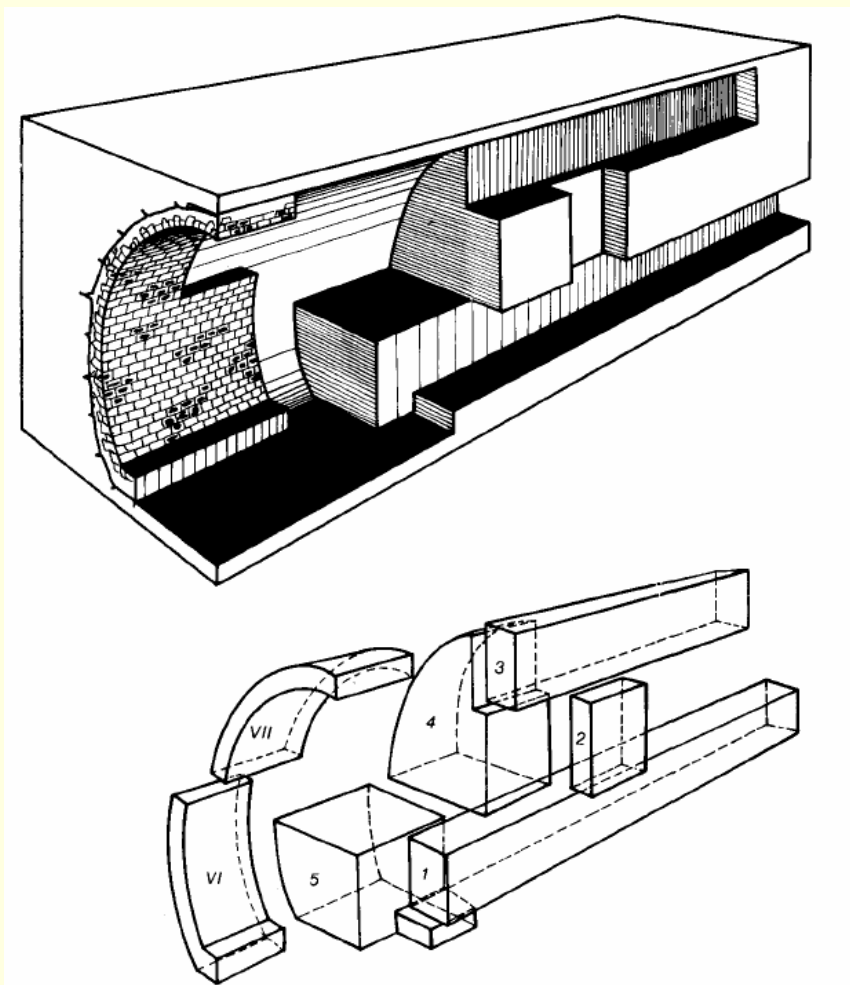
Löveltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód



Régi osztrák építési
módszer (a. eset)

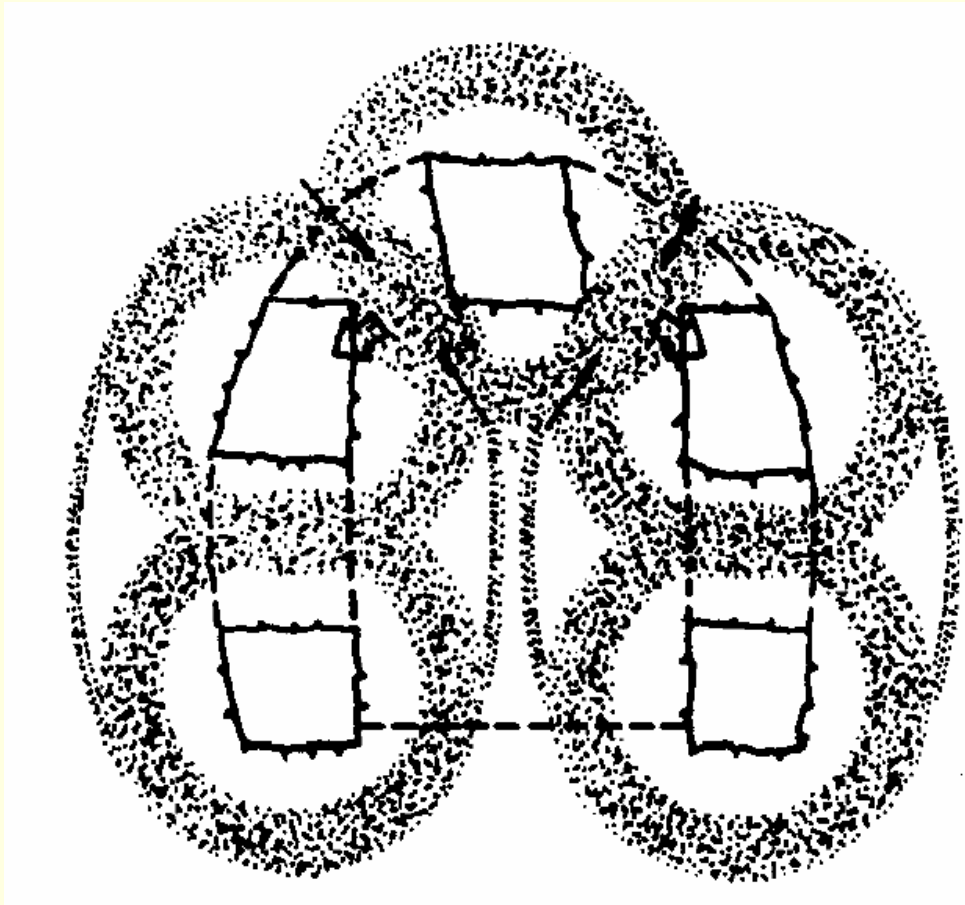
Mérnöktovábbképzés - lövellbetonos alagútépítés - első szemeszter

Lövellbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód



Régi osztrák építési módszer
3D-s ábrázolásban

Löveltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód

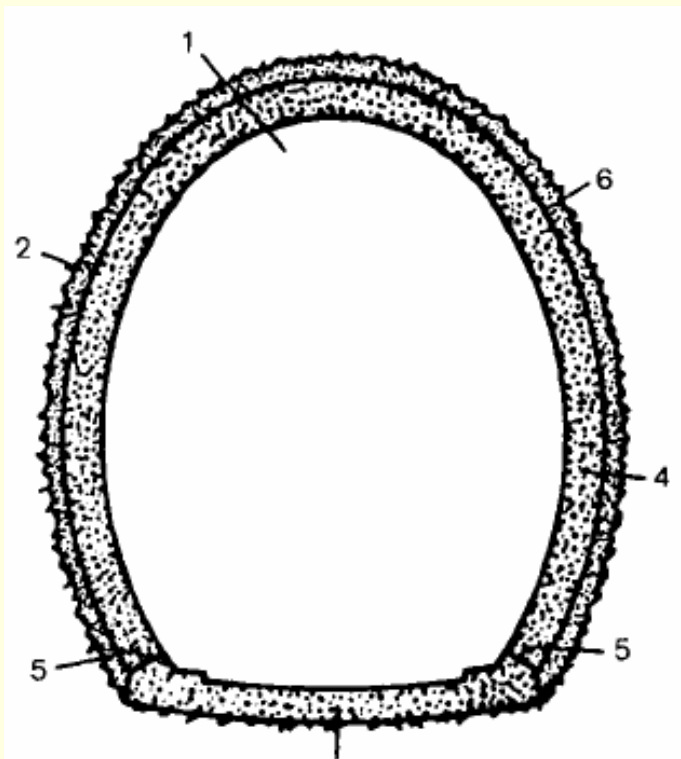


Többszöri feszültség-
átrendeződés ábrája

Löveltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód

Új osztrák alagútépítés filozófiája

- L. Rabcewicz: Patentschrift, Österreichisches Patent Nr. 165573, 1948



Ismérvei:

- 1 a keresztmetszet fejtése
- 2 viszonylag könnyű segédboltozat építése
- 3 talpboltozat építése
- 4 teherhordó boltozat
- 5 a boltozatot támasztó vállak
- 6 szigetelés

A kifejtett üreget ideiglenesen egy csekély falvastagságú héjjal biztosítják, ami lehetővé teszi, hogy a hegynyomások részben leépüljenek és a környező közettömbnek adja át. A végleges falazat így kisebb terhelést kap és időben később építhető be, lényegesen kisebb vastagságban. Mérésekkel figyelemmel kell kísérni a deformációkat, aminek eredményeit a falazat méretezésében számításba kell venni.

Löveltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód

Új osztrák alagútépítés filozófiája

- L. Müller: Der Felsbau, Band 3. Tunnellbau, Stuttgart, 1978 – 21 pontban foglalja össze a NÖT alaptételeit
 - A főteherhordó szerkezet a kifejtett teret körülvevő kőzet/talajtömeg.
 - Az ideiglenes biztosítás és a végleges falazat csak közvetítő szerepet játszik, feladata az, hogy előmozdítsa azt, hogy a kőzettömegben kialakuljon a teherviselő gyűrű, vagy egy háromdimenziós teherviselő héj.
 - A kőzettömeg belső erőit – primer feszültségek – olyan mértékben kell megőrizni, amennyire csak lehetséges. A lazulást és omlást meg kell akadályozni, ezért kellő időben megfelelő teherbírású megtámasztást kell beépíteni.
 - A kőzetmozgások időbeni lefolyását, a kőzetmozgások nagyságát, a kőzet és a biztosítás közös mozgását mérni és megfelelően értékelni kell. A laboratóriumi vizsgálatok és különösen a helyszíni mérések jó segítséget adnak ehhez.
 - A kőzetmozgás, a várható nyomás és mozgás szempontjából, az állékonysági értékelés és a mozgások időbeli lefolyása a legfontosabb tervezési paraméterek.
 - A falazat – mint az ideiglenes dúcolás, mind a végleges – vékony és hajlékony kell legyen. Ez kiküszöböli azt, hogy nagy nyomatok keletkezzenek a falazatban és minimumra csökkenti a hajlítási repedések, törések megjelenésének lehetőségét is. A falazat teherbírásának növelését elsősorban háló beépítésével, horgonyok alkalmazásával, acélbordákkal kell elérni és nem a falazat vastagításával.

Lövelltbetonos alagútépítés kialakulása, elve

Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód

- Statikailag az alagútszerkezetet úgy tekintik, hogy az vastagfalú cső, amely kőzetből, dúcolásból, belső falazatból áll. Ez az alagútszerkezet azonban csak akkor dolgozik, ha zárt alakú ezért fontos a gyűrű mielőbbi zárása.. A kőzetmozgások lefolyását alapvetően meghatározza „a zárási időtartam”. A kalott előrehaladásával a felső szelvényrész, mint konzolosan kinyúló félhenger jelentős hajlítási igénybevételnek lehet kitéve. A feltámaszkodás vonalában a felső héj nagy nyomást gyakorol a kőzetre.

Ezek az alaptételek lényegében már korábban is ismertek voltak az alagútépítésben, úgymint a korai gyűrűzárás fontosságát (F. Rziha - 1874), hajlékony vékony héj alkalmazása (W. Schmidt – 1926), de L. Rabcewicz, L. Müller és F. Pacher munkássága és érdemei, amit a NÖT területén végeztek és kiérdemeltek, ezáltal nem csökkenek.

A kőzetmechanika területén szerzet új ismeretek és a biztosító elemek területén elért fejlődés révén egy új mozgalom bontakozott ki, ami az alagútépítésnek nagyon jót tett.

A NÖT, ahogy ma értelmezzük, a fejlődése során három alapvető biztosítási elemre támaszkodik, ezek:

- Lövelltbeton, amely
 - ❖ biztosítja a hézagnélküli kapcsolatot a kőzettel/talajjal.
 - ❖ nem csak, mint önálló teherhordó szerkezetként működik, hanem a kőzetfelületet is bevonja.
 - ❖ a "beton-kőzet" mint öszvérszerkezet funkcionál, ahol a jelentős terhet a kőzet viseli.

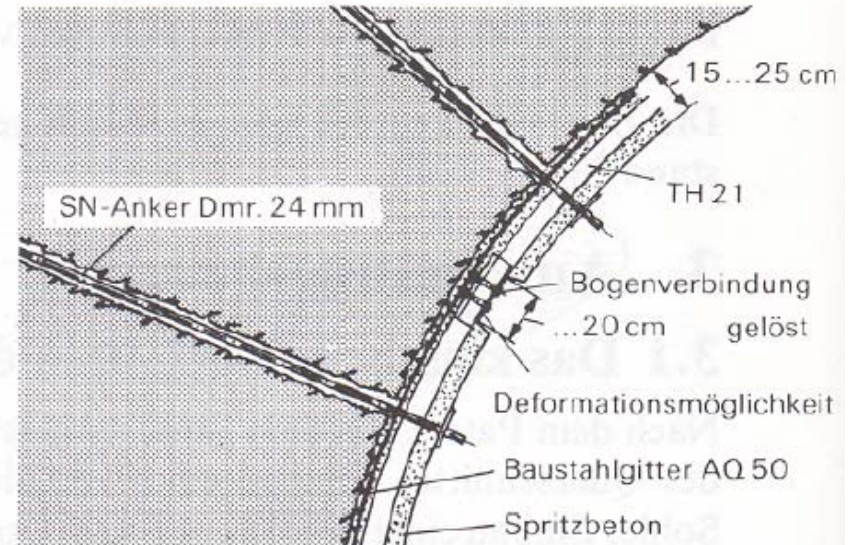
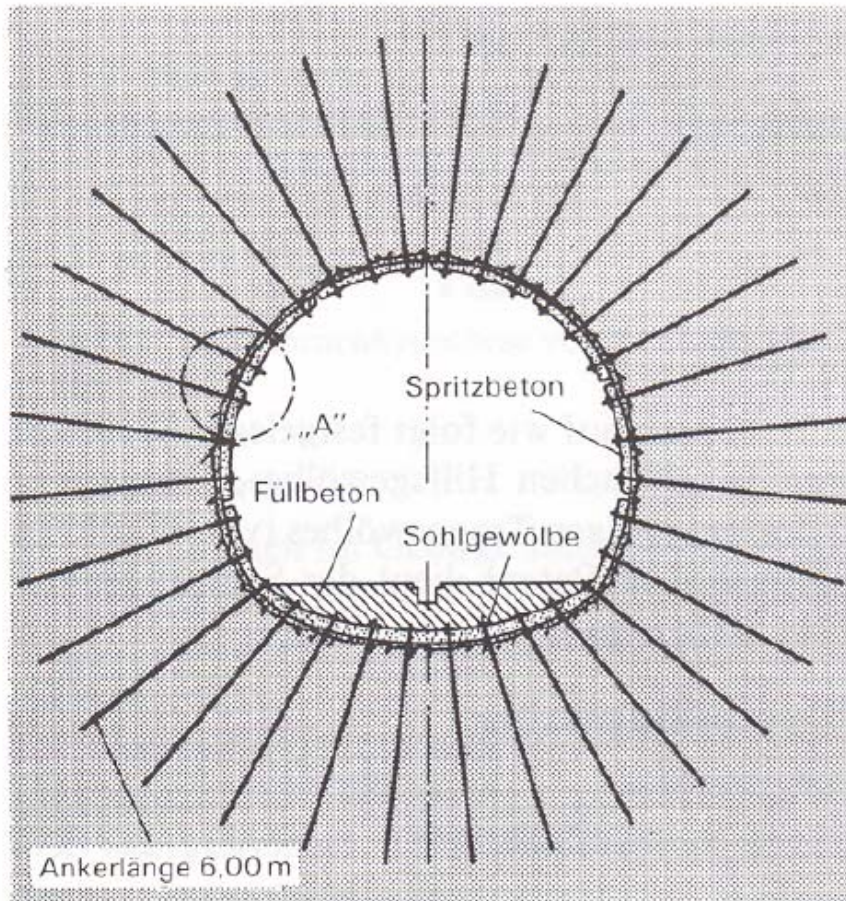
Lövelltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód

- Horgony, amely
 - ❖ a beton-kőzet közötti kapcsolat a horgony révén tovább javul.
 - ❖ a kőzet tagoltságából, repedezettségéből eredő inhomogenitást csökkenti.
 - ❖ az öszvérszerkezet által alkotott teherhordógyűrű kiszélesíthető a kőzetben.
 - ❖ a fejtésből (robbantásos) eredő fellazulások részben semlegesíthetők.
- Acél-, rácsostartó, amely
 - ❖ fejfeletti védelem a beépítése után.
 - ❖ azonnal képes terhet viselni a lövelltbeton felhordása után.
 - ❖ a lövelltbeton gyűrű irányú vasalását adja.
 - ❖ megkönnyíti a geometriai és méréstechnikai követelmények kielégítéséhez.

Legújabb osztrák alagútépítési eljárás

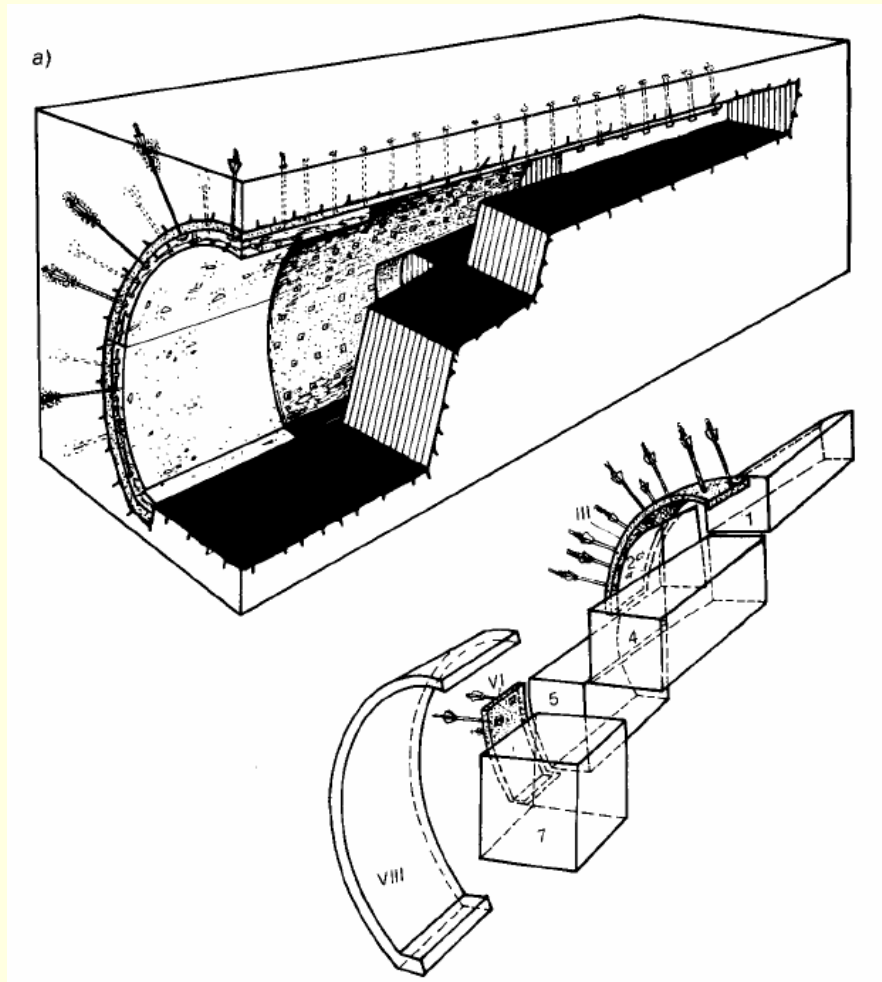
Ez alatt az elnevezésen a NÖT tovább fejlesztését kell érteni, ahol a bányászatban használatos kontrolált deformációt felvenni képes biztosítási elemet vették át. Ez a megoldás lehetővé teszi, hogy az addig átlagosan 50 cm kőzetdeformáció mellett akár 120 cm-es deformációkat is kezelni tudják.

Lövelltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód



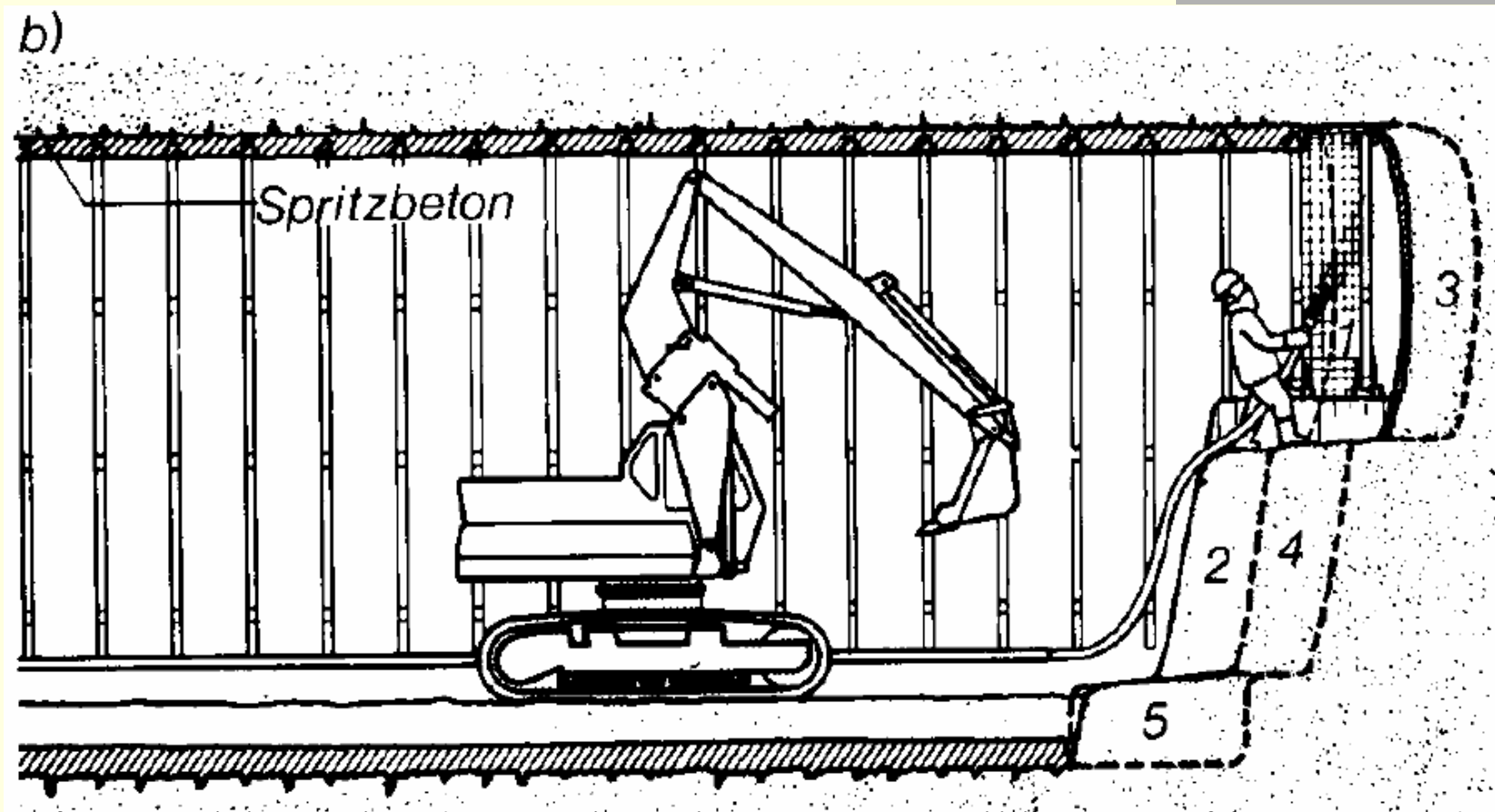
Deformációsfuga a lövelltbetonban

Löveltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód



NÖT-ös Alagútépítés 3D-s ábrája

Löveltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Régi, újabb, új é legújabb osztrák alagútépítési mód



NÖT-ös alagútépítés metszetben

Lövelltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Lövelltbetonos alagútépítési megnevezése más országban

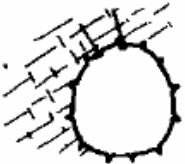





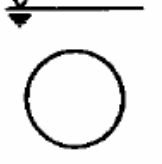
Lövelltbetonos alagútépítési megnevezések más országokban

- Németország: lövelltbetonos alagútépítési módszer
- Norvégia: Norwegian Tunnelling Method - NMT
- Angliában: Sprayed concrete lining - SCL

Kritikus megnyilatkozások a NÖT-tel szemben

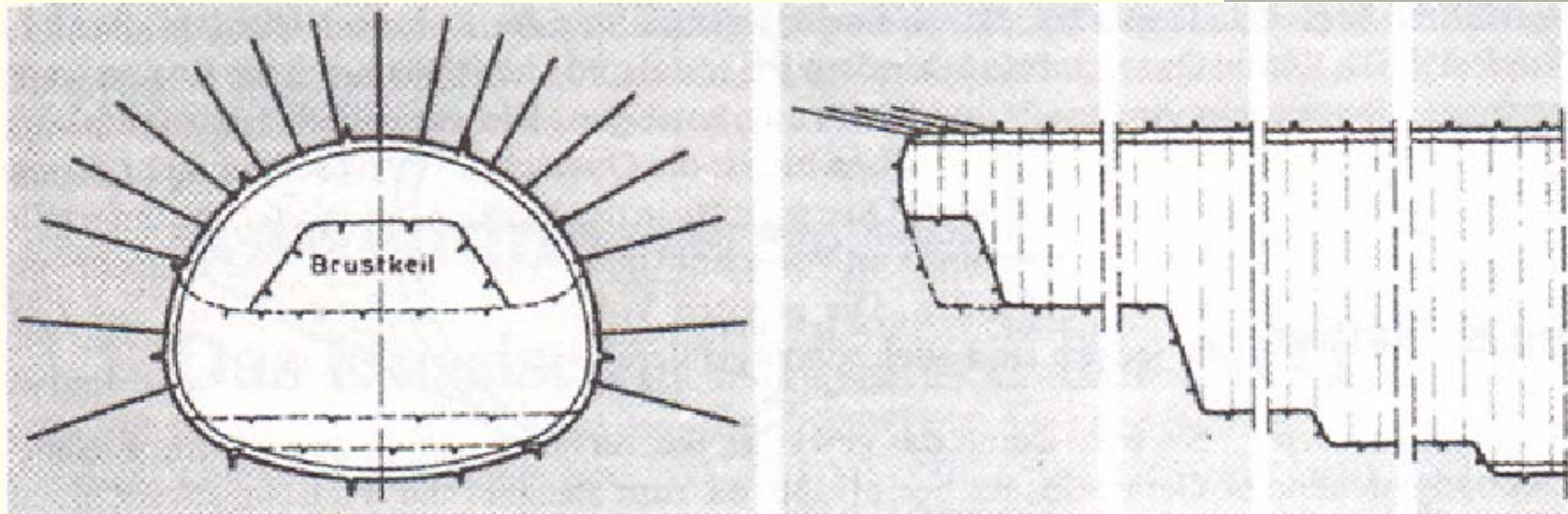
- Anglia, London: Heathrow reptéri szakadás, 1994
- XLII Geomechanikai-Kolloquium, 1993, Salzburg, Prof. Dr.-Ing. K. Kovári előadása - Létezik-e NÖT?

Lövelltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Lövelltbetonos alagútépítési megnevezése más országban

Kőzetosztály						
						
standfest	nachbrüchig	gebräch	druckhaft	stark druckhaft	rollig	schwimmend
Építési eljárás						
Bizto- sítás nélkül	Lövelltbetonos alagútépítési eljárás					Pajzs
	Teljes- ↔	részszelvényekben			→	
	NÖT ↔	Aláfogásos	↔	Maghagyásos		

Építési eljárások hozzárendelése a kőzetosztályokhoz a lövelltbetonos eljárás szemszögéből

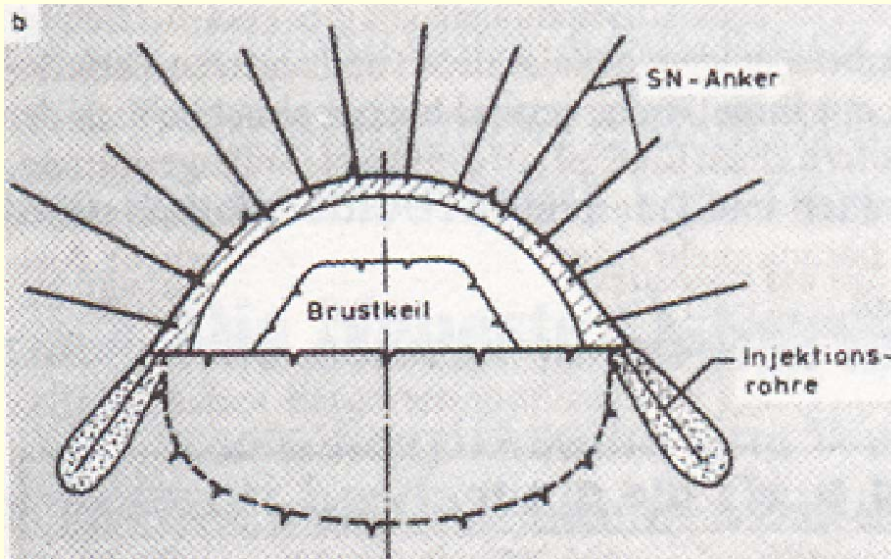
Lövelltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Lövelltbetonos alagútépítési megnevezése más országban



Nöt-s alagútépítési eljárás:

- viszonylag lassú fejtési sebességhez egy vékony, hajlékony héj rendelhető.
- a részszelvény mérete erősen függ az alkalmazott ideiglenes biztosítási elemektől.
- szakképzet építők és a mérési eredmények állandó kiértékelése szükséges.
- bármilyen zavar esetén a rizikó nagy.
- a lövelltbeton homogenitását és minőségét biztosítani kell.
- építési szünetek negatív hatással vannak.
- gyors gyűrűzárás idő és rövid gyűrűzárási távolság növeli a biztonsági szintet.

Löveltbetonos alagútépítés kialakulása, elve
Löveltbetonos alagútépítési megnevezése más országban



Aláfogásos alagútépítési eljárás:

- megnövelt fejtési sebességhez erősebb, merevebb héj, kalott-talp, horgonyzás és injektálás tartozik.
- a mai technikai színvonalnál és igénynél nagyobb biztonságot nyújt és a mai árrendszernek is megfelel, úgy hogy a megkívánt magasabb fejtési sebesség is garantálható.
- az így módosított alagútépítési eljárás már nem rendezhető be a NÖT alá.