

LÖTTBETON ALAGÚT FALAZATOKNÁL ALKALMAZOTT FEJLESZTÉSEK (SPECIALITÁSOK) A 4. METRÓVONALNÁL

Pethő Csaba

UVATERV Zrt., Tel.: 36-1-371-4228, Fax.: 36-1-204-2943

e-mail: petho@uvaterv.hu

Löttbetonos technológiáról általában

A löttbetonos technológia már 1907 óta (más forrás szerint 1914 óta) ismert. A technológia célja nyersbeton feljuttatása egy felületre, teherbíró szerkezet létrehozására. Ezt a feladatot egyszerű körülmények között könnyű teljesíteni. A változatos külső peremfeltételek miatt minden egyes munka tele van specialitásokkal, ami bizonyos szempontból fejlesztési feladat is. Puha kőzetben végzett alagúti alkalmazásnál a NÖT megnevezés nem helytálló, mert a beépítés időzítését nem a kőzetfeszültségek és falazati terhek optimalizálása, hanem a süllyedések minimalizálása határozza meg. A cél a minél gyorsabb, minél biztonságosabb zárás. A fenti feladat teljesítését mutatjuk be a DBR metró löttbetonos alagútjainál.

1. Specialitások a DBR metró alagútjainál

Különleges kialakítások, jellemzők

1. Rövid hossz: szűk térből indított kitörés
2. Íves, tört tengelyű vonalvezetés: gyakorlott gépkezelés, profi geodézia
3. Többcsöves szerkezet: háromcsöves állomás, szűk hely
4. Osztott homlok: szűk hely
5. Ferde kitörés
6. Blokkos alagúti kitörés: szűk nyílás
7. Folytonosan változó keresztmetszet (összekötő alagútnál BAMCO)

Különleges technológiák

- A. Talajvíznyomás csökkentés
- B. Talajfagyasztás
- C. Csőernyő
- D. Acélszálas betonfalazat
- E. Szórt szigetelés

Gépi berendezések

- I. Alagútépítő gépek
- II. Földmunkagépek
- III. Kézi munka

Méretezési módszerek

- a. Síkbeli végelem számítás geotechnikai programmal
- b. Térbeli geotechnikai végelem programmal.
- c. Térbeli végelem számítás általános programmal

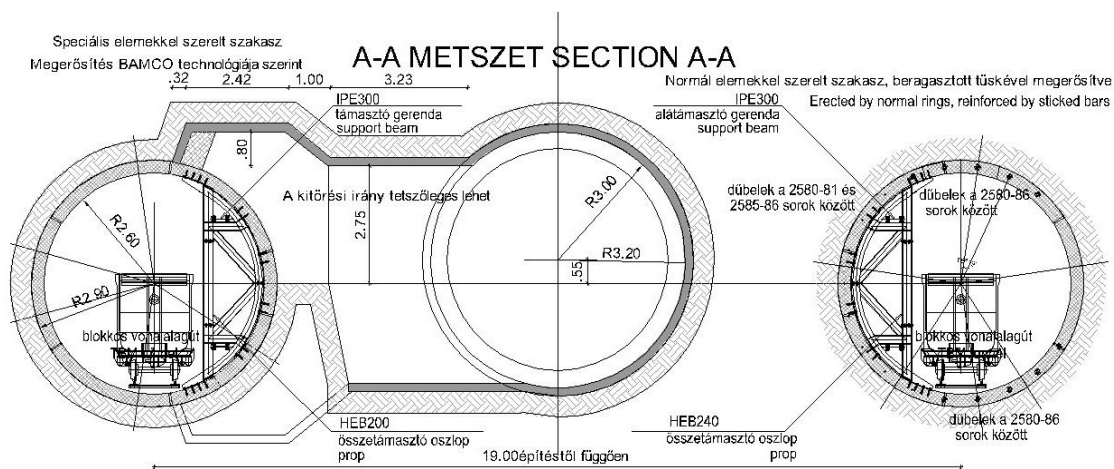
Feltárási és ellenőrzési módszerek

- α. Próbaszivattyúzás
- β. Vízszintes feltáró fúrás
- γ. Pressziómérés
- δ. Piezometrikus nyomásmérés
- ε. Inklinométer
- φ. Konvergenciamérés
- χ. Hőmérés
- η. Földnyomás és normálerő mérés
- λ. Acélszálas löttbeton vizsgálat

1. Különleges kialakítások, jellemzők

1. Rövid hossz

A szellőző alagutakból indított összekötők hossza 4,0 m körüli. Az egyes részek építése időben eltérő, mert a pajzsos építés ütemezése határozza meg a befejezést. A változó keresztmetszet miatt néhány ív után bővítés szükséges, ami lényegesen nehezebb, mint egy általános alagútépítési technológia. Mind a munkások, mind az irányítás részéről nagy szaktudást igényel. A tübbinges vonalcsőre csatlakozásnál a szűk tér bonyolítja a munkát. A blokkos alagútból történő indításnál csak kisép tud dolgozni. Extrém eset, a Móricz állomásnál az alagúthossz minimuma 70 cm.



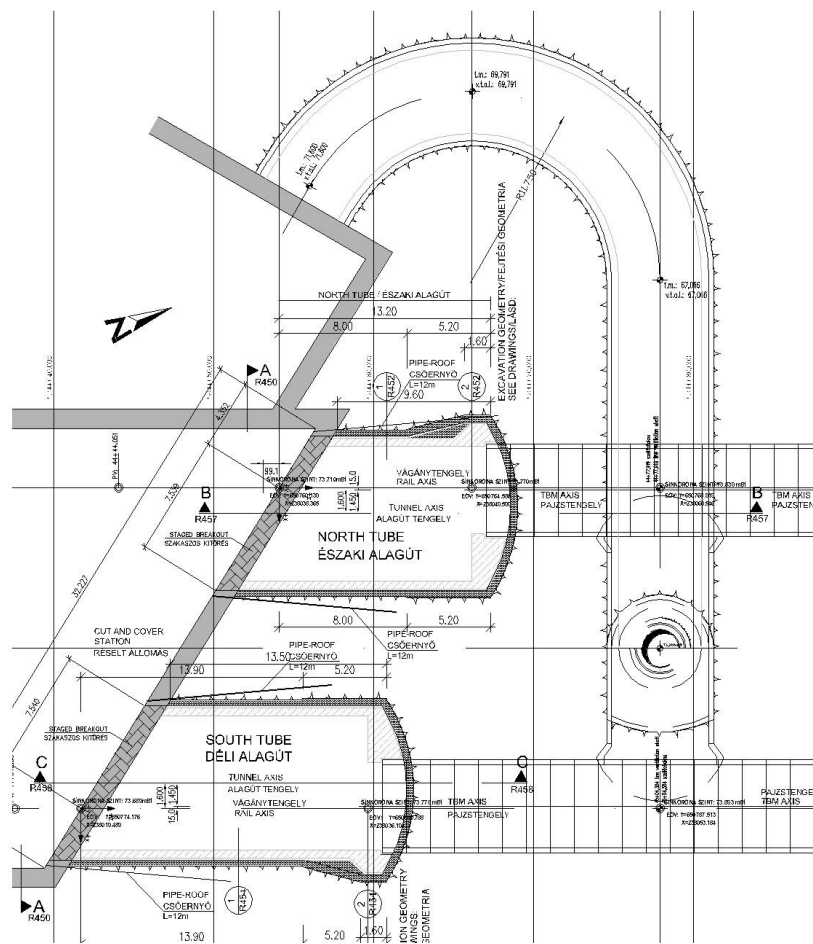
2. Íves, tört tengelyű vonalvezetés

A felszíni adottságok miatt az alagutak változatos geometriával épülnek. Mind vízszintes, mind függőleges vonalvezetésük bonyolult. Az építésnél a geodéziának mindig a helyzet magaslátán kellett állni.

Fővám tér szellőző alagútja minimális sugár 8,70-14,80 m, a lejtés 14,75 %, az ívszög 150 °.

Rákóczi tér szellőző alagútja minimális sugár 4,55-10,45, a lejtés 10 % az ívszög 90 °.

Kálvin átszálló kapcsolat törésszöge 32°.



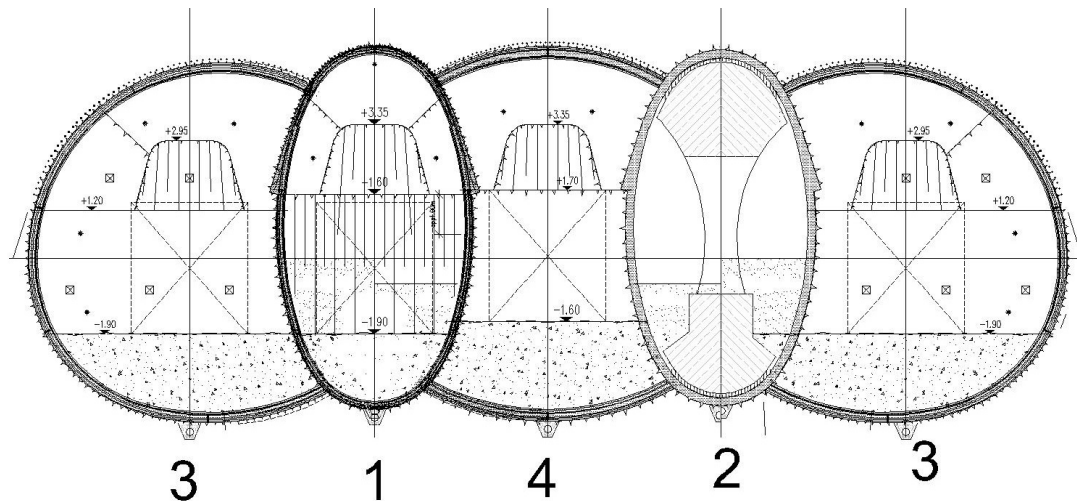
3. Többcsöves szerkezet

Az állomásszerkezetek helyenként nagyméretű peroncsőként kialakítottak, de a szűk felszín miatt elosztócsarnokra is szükséges volt. Az így kialakított háromcsöves állomások több lépéses kivitelezést igényeltek, szerkezetépítési közbeni fázissal.

Az egymásra támaszkodó lőttbeton ívek csatlakozásának kialakítása a tervezés és kivitelezés magas szintű együttműködését feltételezte. Az egyes lépések építésének organizálása a munka folyamatossága mellett, a felszíni süllyedések minimalizálását is ki kellett elégítenie.

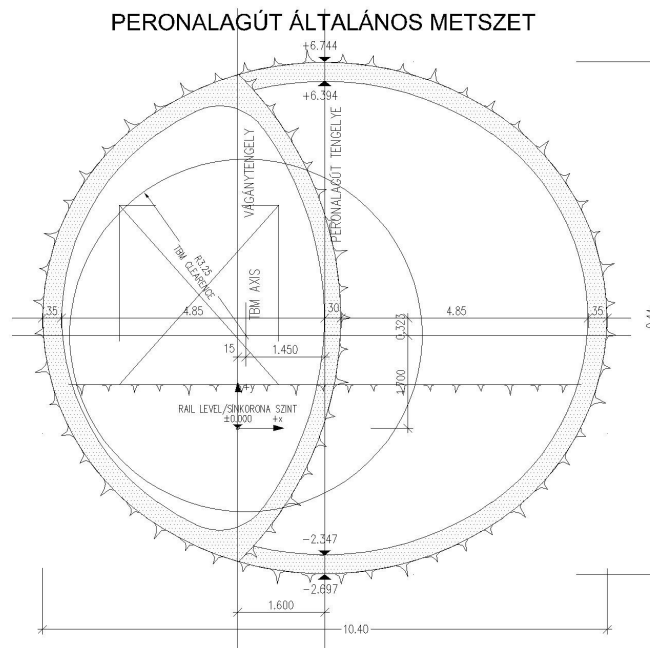
Gellért tér állomás alagútjainak fő méretei az oszloptárónál 5,0x6,3 m, vonalcsőnél 7,4x9,50 m, 2,80x8,40 m elosztócsarnok. Itt részben háromcsöves, részben peroncsöves kialakítású a szerkezet.

Rákóczi tér állomás. Háromcsöves szerkezet fő méretei, oszloptárónál 4,80x8,90 m, a peroncsőnél 6,3x8,75 m, az elosztócsarnoknál 3,9x9,25 m.



4. Osztott homlok

Fővám tér állomás peroncsövének szélessége és a bonyolult talajkörnyezet nem tette lehetővé az egy ütemű építést. Mindkét oldalon vetőket tártak fel, amik a Duna felőli kitörésnél voltak veszélyesebbek, mert a kis agyag és kavicsztakarás mellett, élő folyó alatt történt az építés. Keresztmetszet fő méretei 5,2x9,0 és 5,6x9,6 m, de a biztosítások fúrása miatt ennél nagyobb szelvény is kifejtésre került. Természetesen a több fejtési lépés miatt a homlok magasságilag is több szintre lett osztva. A nagy szelvény, a bonyolult geológiai környezet a geometriai kialakításon túl egyéb technológiákkal is biztosították a biztonságos építést.

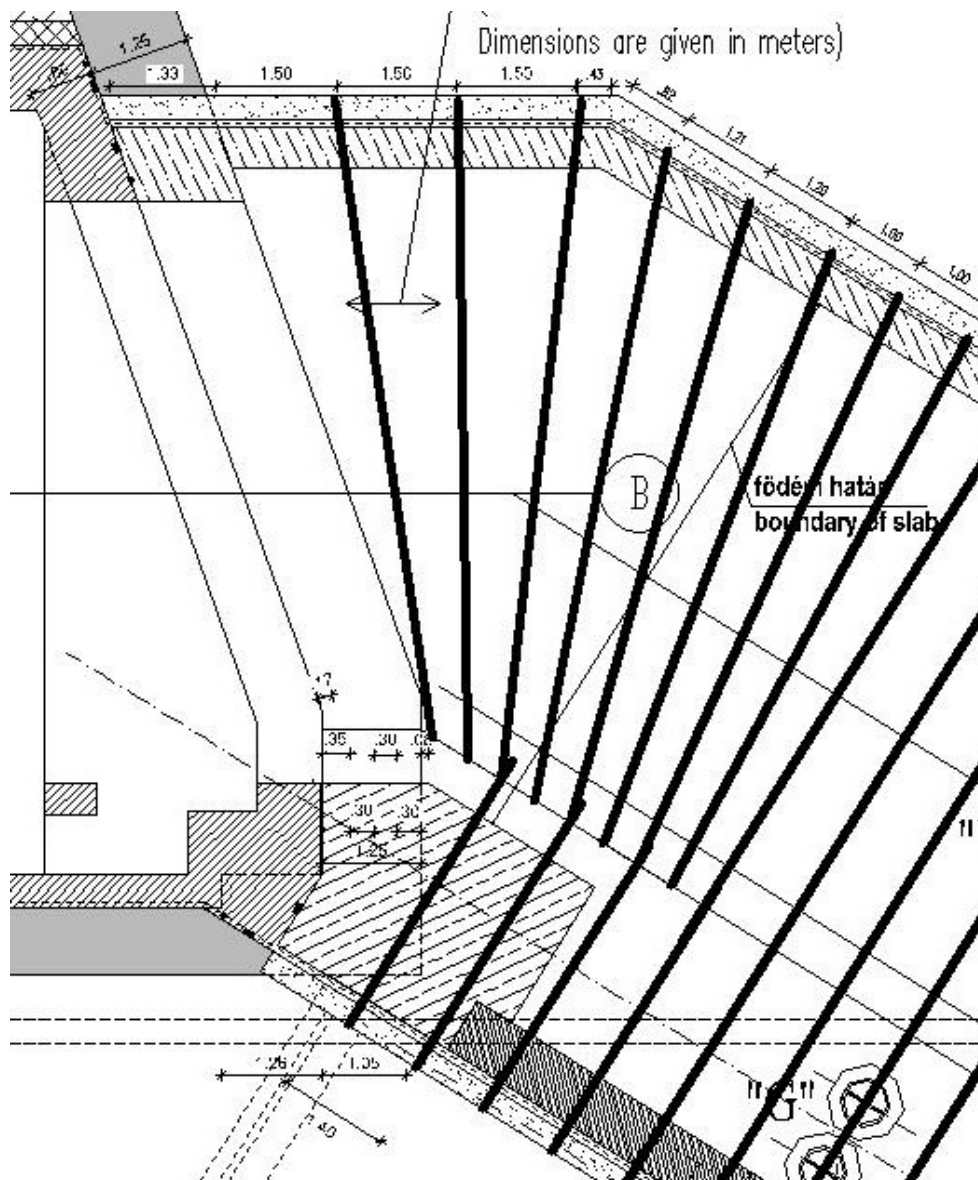


5. Ferde kitörés

A felszíni adottságok miatt a kitörések gyakran nem merőlegesek voltak. A kisebb szögeltérésnél elegendő volt a mintávek kilegyeztetésével biztosítani az általános geometriát, de a nagyobb szögeltérésnél az íveket a résfalra, vagy segéd tömbre kellett támasztani.

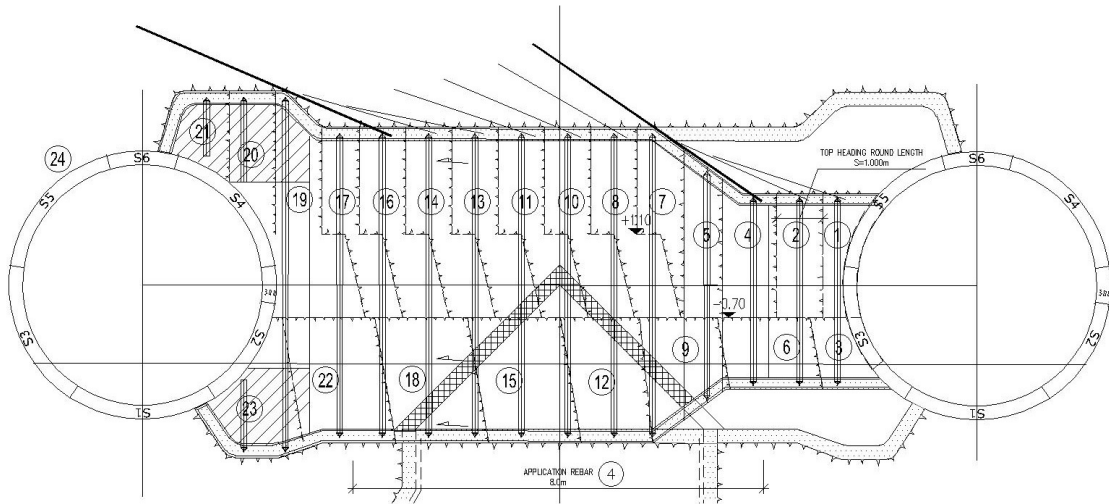
60 °-os ferdeségű Fővám téri kitörésnél az indító íveknek az indulásnál a résfalba véssett fészkekbe történő betámasztással, a nagyobb ívhosszaknál segéd tömb beépítésével biztosították az erőátadást. Az ívosztás itt az alagúttengelyre merőleges volt.

A kilegyezéses kialakításnál az egyes ívek között szögeltérés van, ami a szűkebb oldalon lövési nehézséget ill. terhelés koncentrációt okozhatott. Az optimális kialakítás sok vita után született meg.



6. Kitorés blokkos alagútból

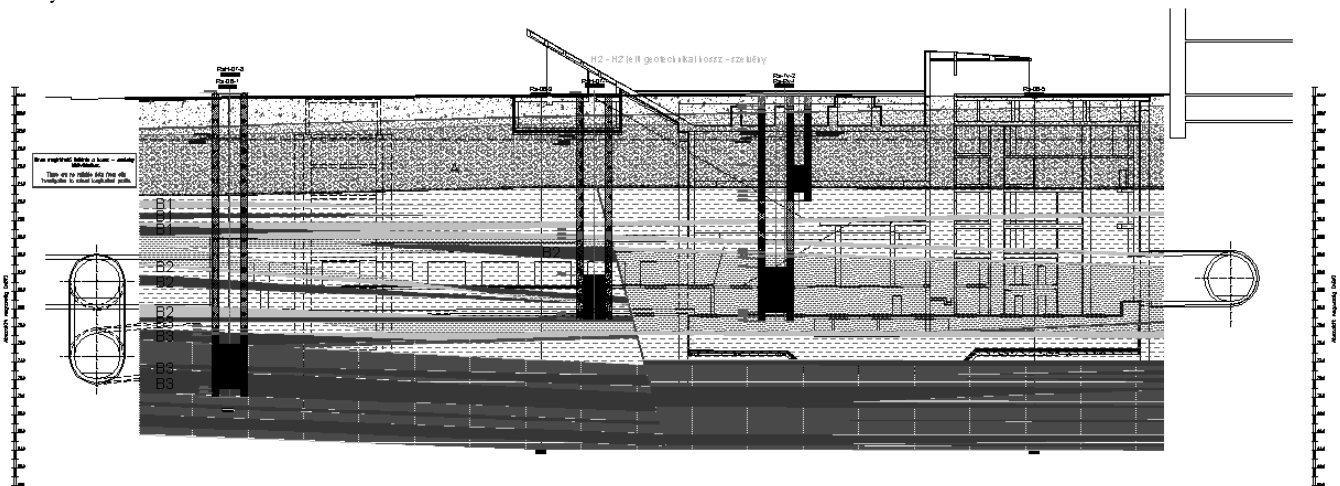
A blokkos alagútból való kitorésnál a falazat ideiglenes kitámasztásáról gondoskodni kellett. A biztonság miatt az indulásnál csak minimális bontási keresztmetszeten történt a kitorés. A kritikus részek megépítése után már kényelmesebb helyről történhetett a felbővített csatlakozás. Az ideiglenes megtámasztó rendszerek a speciális elemek közötti erőátadáson túl biztosították a sorok merevségét. A két szerkezet közötti áthatás a fejtési munkánál nagy szakértelmet kívánt.



2. Különleges technológiák alkalmazása

A. Talajvíznyomás csökkentése

A budapesti talajrétegződés jellemzője a felső homokos-kavicsos rétegsor. Ennél a pleisztocén összletnél csak bizonyos szintig lehetséges a vízszintsüllyesztés, mert a nagy áteresztőképesség miatt a vízmennyiség nagy, az okozott mozgások nem megengedhetők. Ezért alkalmazzák a réseléses munkagödör határolást, ami ezt a réteget lezárja. Az alagútépítésnél a megfelelő takarás biztosítja a főtő feletti zárást. A miocén rétegekben azonban előfordulnak homokerek amiknek a vízvezető képessége sokkal rosszabb, esetleg nincsenek kapcsolatban a felső vízvezető réteggel. Itt a talajtörés lehetősége a nagy nyomás miatt létező kockázat. Ezeket a rétegeket finomhomok lencsék megcsapolásával kell vízteleníteni. A helyi víztelenítés felszínről, alagúti homlokról, alagút falon keresztül történt. Az általános nyomáscsökkentés a felszínről az egyes lencsékre telepített kutakból történt az építést megelőző indítással. A fennmaradó vízbefolyásokat helyi kiemeléssel lehetett kezelni.



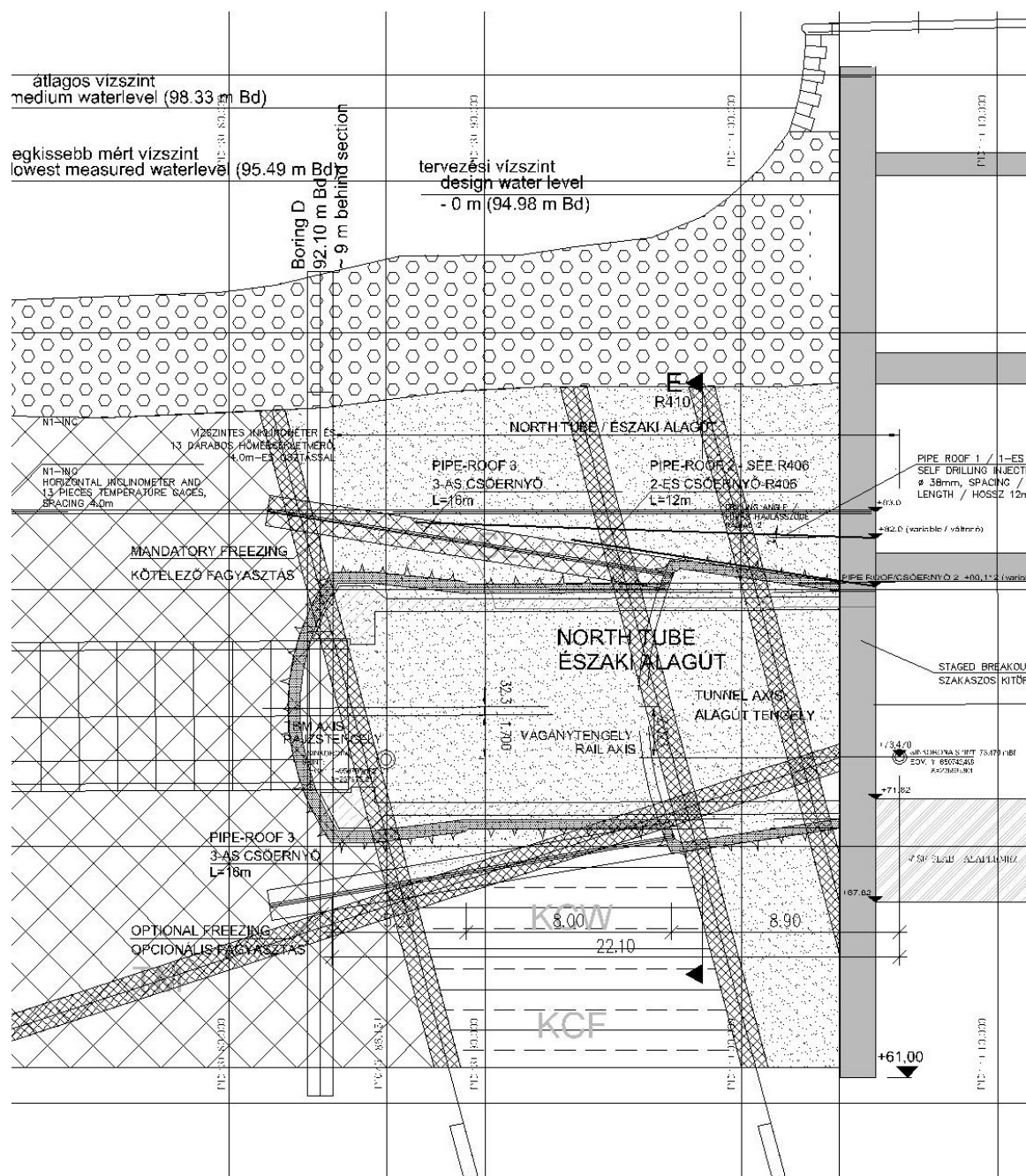
B. Talajfagyasztás

A Fővám állomás egy része a Duna medre alá nyúlik. A folyó egyben jelentős geológiai választóvonal is. A korábbi tektonikai mozgások változatos vetőrendszert eredményeztek, amik függőleges fúrásokkal nehezen voltak felderíthetők. A vonalvezetés kötöttségei miatt az agyagtakarás nem volt megfelelően vastag. A folyó alatti zónában a vetők vízzárása fagyasztással volt biztosítva. A biztosítás a felső szelvényt érintő,

nitrogéngáz technológiával készített fagyzóna segítségével lett kialakítva. A fagyasztáshoz szükséges adatokhoz speciális vizsgálatokat kellett végezni.

C. Csőernyő

Kis takarás és töredezett talaj esetén a szokásos nyársak nem biztosítottak megfelelő teherelosztást és védelmet. Ilyenkor teherhordó csőernyő beépítése vált szükségessé. A csövek befűrt hossza változó szöge jelentős technológiai figyelmet igényeltek, de alkalmazásukkal a biztonságosabb lett a munkavégzés.



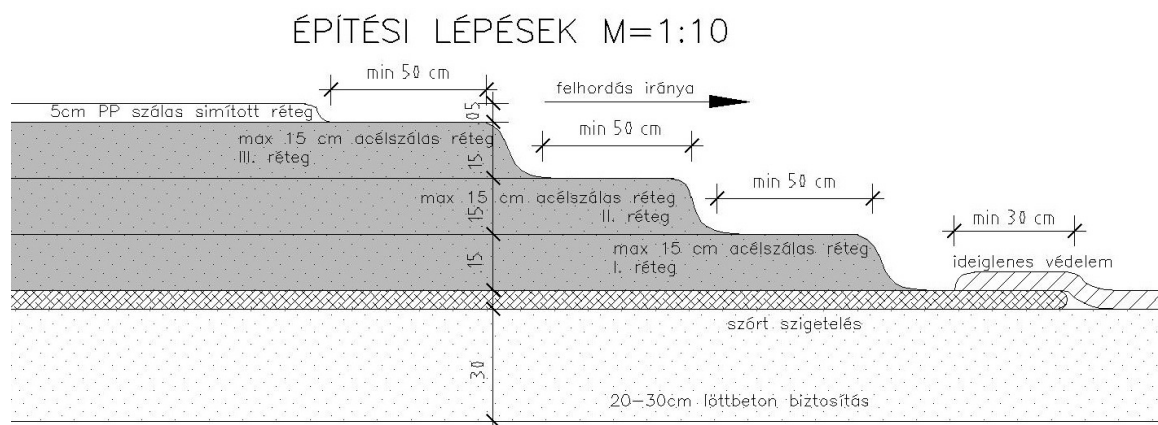
D. Acélszálás technológia

A hagyományos száraz technológiájú lőttbeton mellett elindult a nedves eljárás alkalmazása is. Ideiglenes szerkezetnél a pajzs be-kitörésnél a bontható felületet a résfalon való áthaladást elbontás után vékony lőttbeton beépítésével biztosították. A marótárcsa miatt itt a hagyományos vasalású vasbeton nem volt alkalmazható. Egyes állomásoknál üvegszál „vasalás” biztosította a fejthetőséget, másoknál acélszál betont alkalmaztunk. Végleges szerkezetként a szellőző alagutak bonyolult geometriájánál az egyedi alagútszaluk

kiváltására került alkalmazásra a nedves lőttbetonos technológiával készített alagútfalazat. A megfelelő minőséget robotkaros gép alkalmazásával lehetett biztosítani.

E. Szórt szigetelés

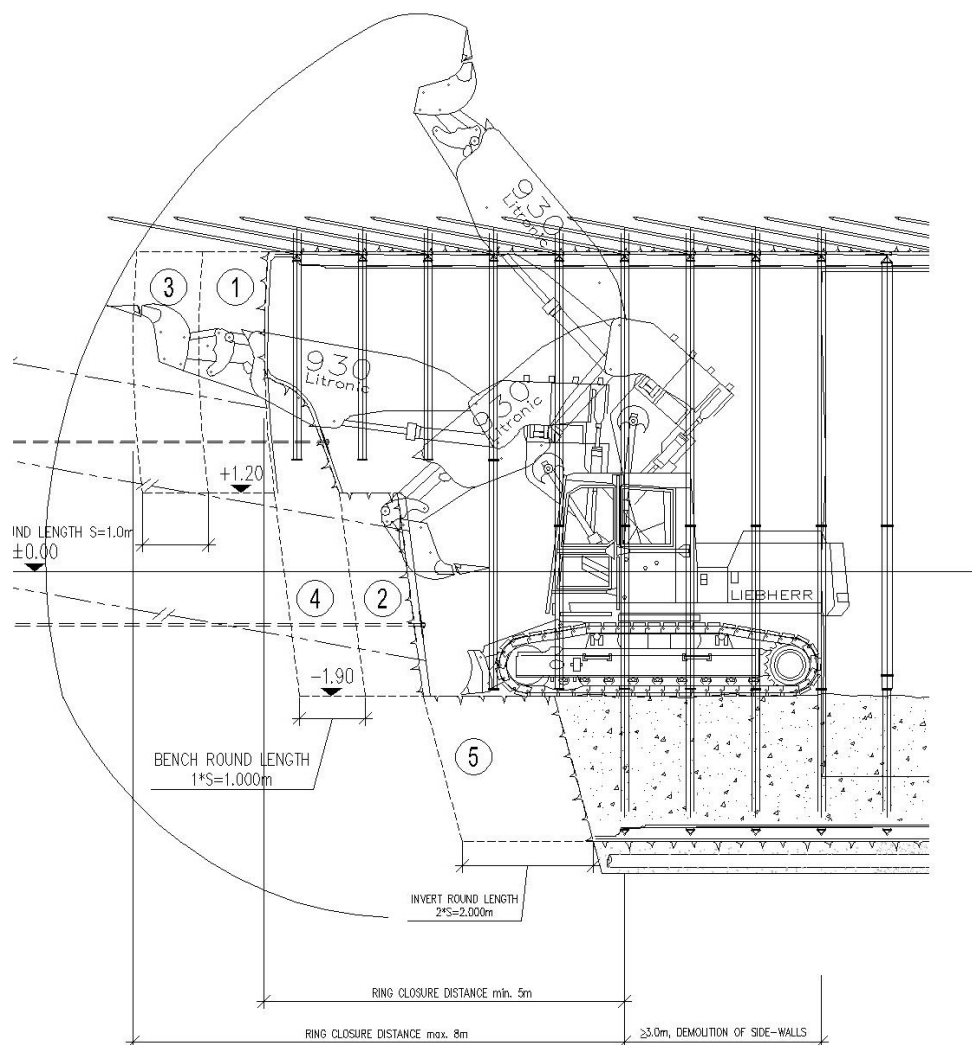
Az előírt szárazság biztosítására többféle eljárást alkalmaztak. Általánosan használt az alagúti fólia beépítése. Ez folyó alagutaknál egyszerűen beépíthető. Bonyolult felületeknél a vízzárás biztosítására szórás eljárással felhordott vízzáró réteg kényelmesebb lehet. A folyékony anyag kiszáradás után polimerizálódik és összefüggő felületet alkot. Hátránya, hogy csak száraz felületre alkalmazható. A helyi vízbefolyásokat kezelni kell.



3. Munkagépek

I. Alagútépítő gépek

Nagyobb hosszúságú, közúti úrszelvény közeli keresztmetszetenél speciális alagútépítő gépeket lehetett bevetni. A fejtést alagúti markoló, a szállítást kanalas szállító végezte. Nyársak fúrása Jumbóval, az ívállítás kitolható gémű emelőgéppel történt. Ezek a mintaívek és hálók mozgatását is kényelmesen elvégezték.



II. Földmunkagépek

Rövid, nehezen hozzáférhető alagutaknál kisméretű univerzális gépek, hidraulikus bontó feltét, markoló feltét alkalmazásával történt az építés. A rövid távolságok miatt a szállítás Bobcat-tel történhetett.

III. Kézi munka

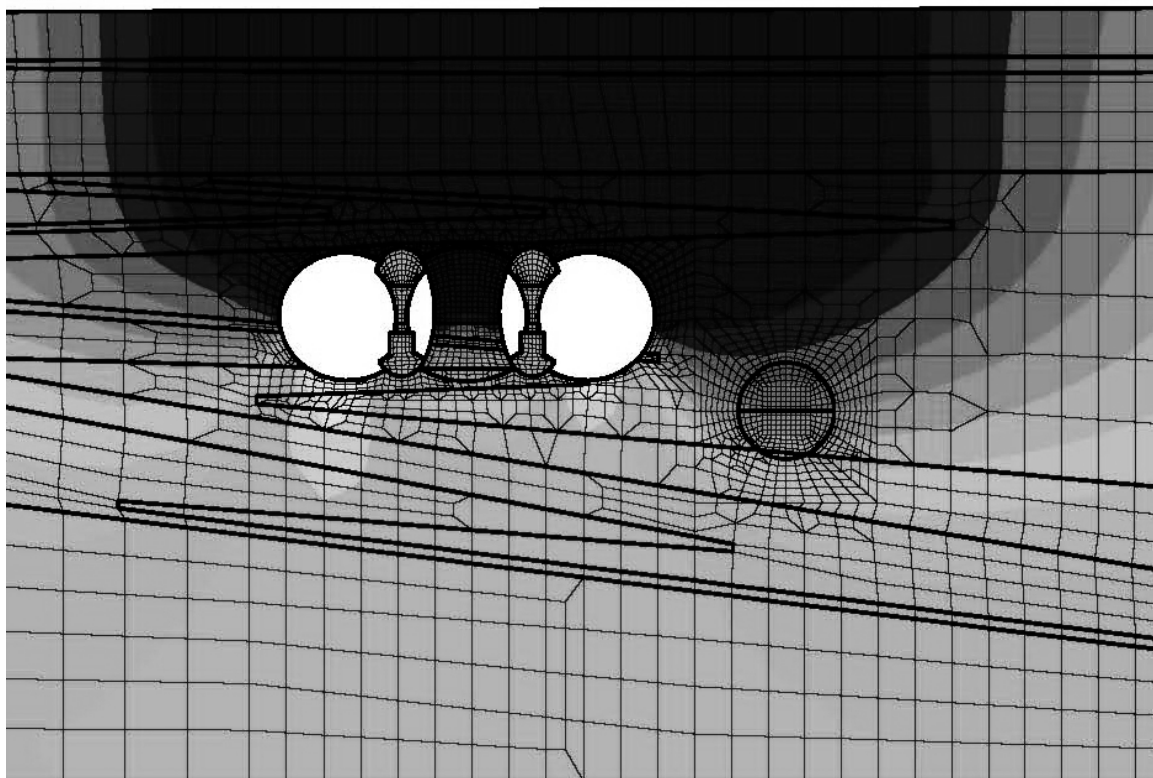
Kis helyen, profilgazításnál előkerült a hagyományos fejtőpuska és egyéb késziszerszám, mint végső megoldás.

4. Méretezési módszerek

a. Síkbeli végelem számítás geotechnikai programmal

Alagútépítés modellezése lépésenként, időtényező százalékos figyelembevételével, időtényező konszolidációs számítással. A rövid alagutak miatt trükkök bevetése szükséges.

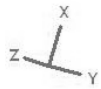
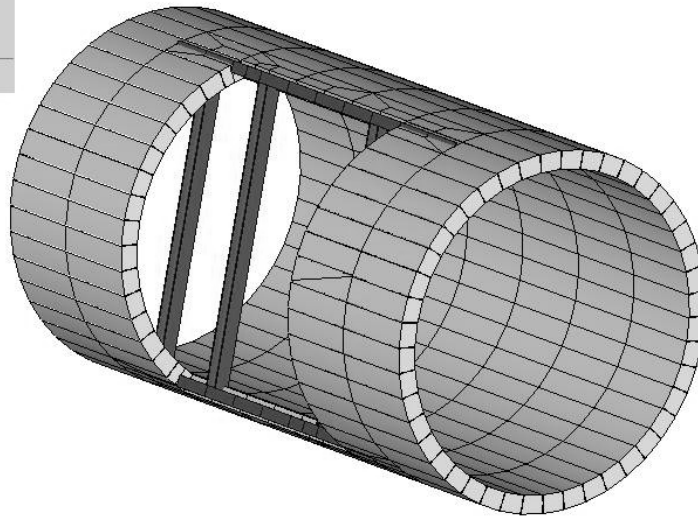
Bonyolultabb esetben 49 különböző építési fázis követte egymást. A méretezés szempontjából fontos igénybevételeket a falazat vasalásának méretezésére, az alakváltozásokat a felszíni mozgások becslésére lehetett használni.



b. Térbeli végelem számítás általános programmal

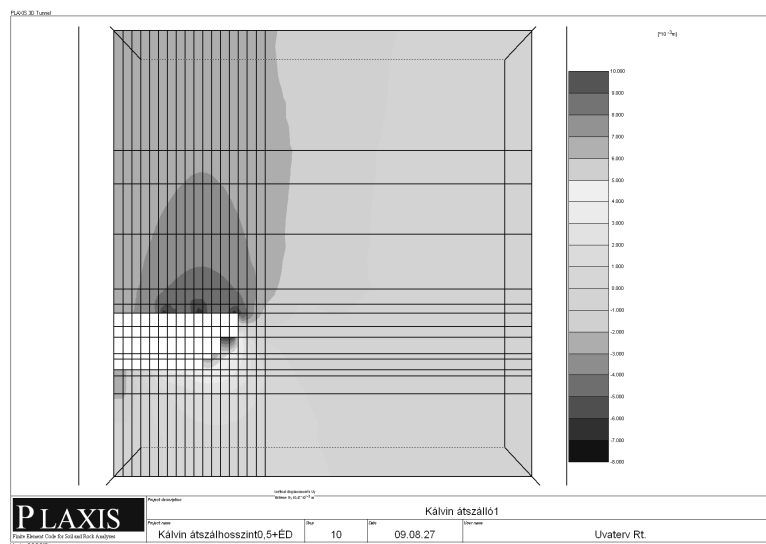
Rugalmas vagy rugalmas-plasztikus modellel. A számítás egy lépésben vizsgálhatja az építést. Bonyolult elemeknél előnyös a használatuk pl. rugalmasan ágyazott falazat térbeli kerettel történő merevítésekor. Az elmozdulások mellett a rúd igénybevételek vizsgálhatók.

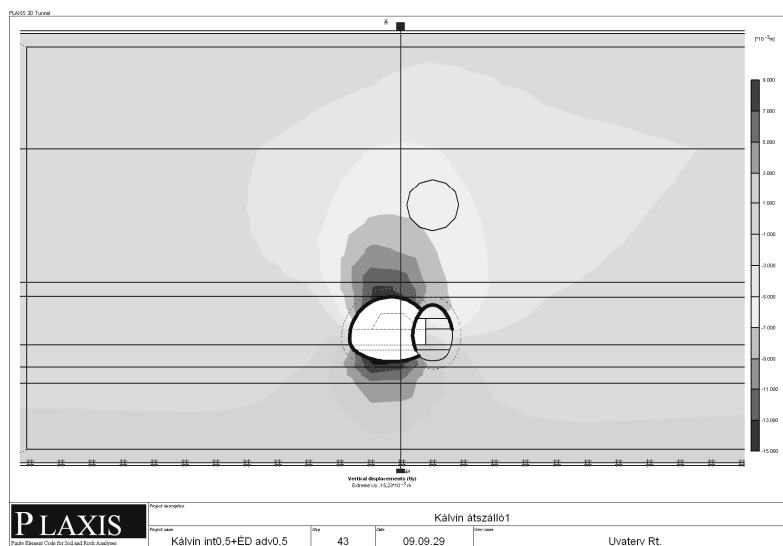
Nemlineáris számítás	
Szabvány	MSz
Eset	ST2 [1] (1,000)
E (U)	0,00E+0
E (P)	2,72E+10
E (W)	2,72E+11
E (ER)	2,55E+9
Komp.	My [kNm]
Részlet	kitorés



c. Térbeli geotechnikai végeelem programmal.

Alagútépítés akár fejtési lépésenként, időtényező esetleg konszolidációs lépések beiktatásával. A speciálisan geotechnikai vizsgálatokra kifejlesztett programokkal a talajfizikai jellemzők jobban modellezhetők. Rövid alagutaknál, speciális esetek vizsgálatára ideális. Ismert elmozdulási adatoknál back analysis vizsgálatokra használható. A mért adatok alapján a korábbi mozgások is visszakövetkeztethetők.





5. Feltérési és ellenőrzési módszerek

α. Próbaszivattyúzás

Homokos rétegek által szállított vizek mennyiségének mérése a talajvízszint süllyesztés méretezéséhez. A kisebb homoklencsék várható vízhozamának meghatározásához, a szivattyúkapacitások becsléséhez fontos az adatok becslése. Rákóczi téri víztelenítési technológia..

β. Vízszintes feltáró fúrás

A függőleges feltáró fúrások nem alkalmasak vetővel szabdalt formák vizsgálatára. Vetők elhelyezkedésének és állapotának feltárása célszerűbb vízszintes fúrásokkal. A nyert zavartalan minták felhasználhatók laboratóriumi vizsgálatokhoz, fagyasztási technológiához. Több fúrással a vető csapása, dőlése pontosan meghatározható. Fővám tér, különösen a Duna alatti szakasz.

γ. Pressziómérés

Az alagútra-résfalra ható oldalnyomás meghatározása túlkonsolidált rétegekben. Az agyagok korábbi geológiai terhelésének mérésére, és az in-situ állapot vizsgálatára. A Fővám tér esetén az oldalnyomás talajfizikai tényezőkből számítható értékének többszöröse is kimutatható volt. A nagy oldalnyomás építés által való leépülésének vizsgálata még sok hasonló mérést igényel a jövőben. Ilyen vizsgálatok most indultak.

δ. Piezometrikus nyomásmérés

A víztelenítés hatékonyságát a rétegvíz nyomásának folyamatos mérésével ellenőrzik. A víztelenítő kutak közelébe telepített ellenőrző szondák az egyes vízadó rétegekben egyenként képesek mérni a nyomást és adatot ad egy optimális szivattyúüzemeltetéshez. A rendszer felhasználja az áteresztőképesség vizsgálatának elemeit. Rákóczi téri alagutak.

ε. Inklinométer

Az alagút feletti kis takarás és a Duna meder miatt függőleges mérőpontok nem voltak telepíthetők. Ezek helyett vízszintes elmozdulásmérés történt, ami a hosszirányú mozgásokat a sík minden irányában vizsgálhatóvá tette. Fővám téri peronalagutak.

φ. Konvergenciamérés

Minden alagút 3D-s elmozdulásmérése legalább 5 m-ként, keresztmetszetenként 3-5 mérőponttal az építés alatt folyamatosan megtörtént. A mérés mm-es érzékenységgel történt, az első löttbeton réteg felhordásától tud értéket adni.

γ. Hőmérés

A talajfagyaszás előrehaladását és a fagyhengerek biztonságos meglétét az ellenőrző hőmérés biztosítja. Ugyanez végzi a fagyasztás hatékonyságának és az utómelegedésnek figyelemmel kísérését is. Fővám tér.

η. Földnyomás és normálerő mérés

Az ideiglenes falazatra ható földnyomást a számítások megadják. Ennek tényleges kialakulását és nagyságának időbeni növekedését a falazat mögé és a falazatba beépített mérőcellákkal lehet kimutatni. Az eredmények alapján a méretezésnél figyelembevett adatokat lehet kontrollálni és esetlegesen a belső köpeny építésénél felhasználni.

A falazatban ébredő erők mérése. Fővám tér.

λ. Acélszálás löttbeton vizsgálat

Európai és Osztrák előírások alapján, a nedves eljárás optimális keverékének meghatározása és a szilárd vasbeton statikai viselkedésének meghatározása, a végleges falazatokban való felhasználáshoz. Az eljárások többnyire világszabványokban vannak rögzítve. A laboratóriumban kialakított keverék és a helyszínen beépített beton minőségének ismerete a falazat teherbíró képességét igazolja

6. Összefoglalás

A löttbetonos alagútépítési módszert a mai technikai színvonalra azok a rész területek emelik, amik az egyszerű eljárásba beledolgozzák azokat az újításokat, amik gyorsá, megbízhatóvá, ellenőrizhetővé teszik. Nem történtek nagy áttörések, de a kis lépésekkel a hazai alagútépítés utólérte a világszínvonalat és csak a mennyiségi teljesítményen kell növelni, hogy mi is alagútépítő nemzet legyünk.

A DBR metrónál alkalmazott löttbetonos technológia a kisebb hibáktól eltekintve bebizonyította, hogy minden különleges helyzetre megvan a válasza. A budapesti változatos körülmények miatt ezeket a trükköket szinte maradéktalanul alkalmazni kellett és mi alkalmazni tudtuk.