

IV. HIDROGEOLÓGIA

A földalatti vasút műtárgyainak tervezéséhez szükséges talajkutató fúrásokat még 1943-ban a BSZKRT, majd 1950 után a Földalatti Vasút Beruházó Vállalat megbízása alapján végezték (17. ábra).

A negyvenes, illetve ötvenes években száraz furási eljárással kétméterenként zavartalan, és 0,50 méterenként zavart mintavétel történt. Meghatározták a minták talajfizikai jellemzőit, egyes esetekben pedig geológiai kormeghatározást is végeztek.

Az így kapott eredmények nem adtak teljes képet a talaj rétegződéséről, főleg a vékonyabb rétegek esetében. Nem voltak érzékelhetők a jellegzetes tektonikus eredetű elmozdulások, vetőrendszerek sem, amelyek ismerete főleg az alagútépítés komplex gépesítése esetén rendkívül nagy jelentőségű.

A mechanikus pajszerépítés nehézségei miatt később kiegészítő fúrásokat kellett végezni a Szabadság tér és a Batthyány tér közötti szakaszon Rotary-100-as iszapöblítéses gépi fúróberendezéssel (18. ábra), folyamatos és zavartalan mintavételt biztosító F62 magvevő (19. ábra) segítségével.

A fúrások során komplex geofizikai vizsgálatot is végeztek a réteghatárok és azok kifejlődésének meghatározása céljából. Az alagút mélységében orientált magmintavétellel kívánták a csúszólapok, repedések, vetők helyét és irányát meghatározni.

Budapest geológiai felépítése

Budapest területe geológiaiag két egymástól eltérő felépítésű részből áll. Ennek határvonala a Duna. A folyóra meredeken lejt a budai márga Várhegy és a triász dolomitból álló Gellérthegy. A budai hegységet

a Dunáig kifutó, kelet-nyugati irányú árkos süllyedék, a Hűvösvölgy tagolja két részre. Az északi rész triász dolomit, eocén mészkő és márgarögök sorozata. A déli részen ezek mellett triász mészkő és oligocén homokkő is előfordul. Azokat a triász kori dolomit rétegeket, amelyek Budán a Gellérthegy, Sas-hegy, Ördögórom területén a felszínen található, a pesti oldalon a városligeti fúrások 1000 m mélységben tárták fel.

A pesti oldalon a Dunától kelet felé távolodva hat terasz helyezkedik el egymás mögött. Az alacsonyabb négy teraszon Pest lakó- és gyárnegyedei, a két magasabban fekvő teraszon Budapest néhány külső kerülete épült fel:

A metró kelet-nyugati vonala, mivel mind a pesti, mind pedig a budai oldalon áthalad, geológiaiag különböző korú kőzeteket harántol.

Talajviszonyok

a keleti-nyugati metróvonal mentén

A kelet-nyugati vonal kéreg alatti szakasza pleisztocén homok- és kavicsrétegeket harántol.

A Népstadion állomástól nyugatra fekvő aknától a Baross térig a vonal már nagyobb mélységben található miocén-szarmata agyagban halad.

A Baross tér és Blaha Lujza tér közötti szakaszon a homokos kavicsréteg alatt fekvő homokerekkel átszőtt, az előzőekben említett agyagréteg felszíne a térszinnél mélyebben helyezkedik el.

A Blaha Lujza tér környékén rendkívül zavart talajviszonyok találhatóak. A talajrétegeket az alagút szint-



17. ábra
Talajkutató fűrés
a Duna medre alatti rétegek feltárására

jén számos pótfűrés elvégzése után sem lehetett gyakorlatilag azonosítani. Annyit azonban meg lehetett állapítani, hogy az alagút az Ős-Duna igen változó típusú, vastagságú és kiterjedésű folyami üledékén halad keresztül. Az alagút keresztmetszetében itt 6–8-féle réteg harántolása fordult elő, a folyós homoktól az iszap- és agyagféleségek széles skálájáig.

A Blaha Lujza téri és az Astoria állomás között a talajrétegek települési viszonyai valamivel nyugodtabbak az előzőkhöz képest, az alagutak szintjében azonban a miocénkori sovány terton agyagrétegek itt is át vannak szőve finom homokbetelepülésekkel.

Az Astoria, Deák Ferenc téri és Kossuth Lajos téri állomásokat, illetve a közöttük levő alagutakat viszonylag kedvező talajviszonyok között középső és felső oligocén agyagban lehetett megépíteni.

A Duna alatti szakasz rupéli agyagban halad (20. ábra). Itt helyenként igen kemény agyag-, illetve beékelődött meszes márgarétegeket is találtak, amit csak robbantással tudtak fejteni. Érdekességként megemlíthető, hogy helyenként szerves beékelődés is előfordult, sőt gyenge metánszivárgást is észleltek.

A Batthyány téri és a Moszkva téri állomás tömör oligocén rétegben épült meg. A két állomás közötti vonalszakasz építését hasonló korú és kagylós tőrésre hajlamos agyagban végezték.

A Déli pályaudvari metróállomás felé haladó alagutak eocén márga rétegeket kereszteznek, maga a végállomás pedig teljes egészében, építés szempontjából előnyös eocén márgában helyezkedik el.

Tektonikai viszonyok

A Déli pályaudvar és a Kossuth Lajos tér között több vetőt is harántol a vonal. A Vérmező vonalában

húzódo vető arra utal, hogy jelentős tektonikai mozgás következtében a budai márga nagyobb mélységbe zökken.

A Batthyány térnél található vető a megépült pajzskamrát harántolja. A vető építés közben elmozdult, emiatt a műtárgy teljes keresztmetszetében repedés keletkezett, és a felszínen jelentős süllyedéseket észleltek.

A kiegészítő talajfeltárások során kiderült, hogy a Kossuth Lajos téri és a Batthyány téri állomás között az előzőleg homogénnek jelzett rupéli agyag- és márgaösszetétel – a tektonikus mozgások hatására – sabbérces, illetve árkos szerkezeti kifejlődésű. A szerkezeti mozgások hatására vetődések alakultak ki, amelyeket – többnyire merőlegesen – repedések kereszteznek (21. ábra).

A szerkezeti mozgásokra a fűrészek során feltárt és átlagosan 5 cm vastagságú amfibol tufitréteg, mint „jelzőszint” derített fényt. Ez a felsőeocén és oligocén határán a Velencei-hegységben lezajlott vulkáni tevékenység következtében keletkezett. A törések általában északkelet-délnyugati irányúak. A mozgások többnyire az oligocén rétegekben mutatkoztak, bár egyes helyeken miocén rétegekben is találhatóak.

18. ábra
Rotary-100-as gépi fűrőberendezés





20. ábra
Tárhajtás oligocén
rupéli (kiscelli) agyagrétegben

A Duna alatti vetőzónához a Deák Ferenc tér, illetve a Moszkva tér felé haladó vonalszakaszon több mellékvető és vetőpászta csatlakozik. Ezek környezetében a pajzshajtás során kisebb-nagyobb omlások keletkeztek.

Hidrologiai viszonyok

A pesti oldalon a víztároló szint pleisztocén homok és homokos kavics rétegösszetétel, amely a vizzáró miocén és oligocén rétegekre települt. A víztároló réteg nyugalmi vízszintje a felszínről számítva 5–7 m mélységben van. A pleisztocén kavicsban (teraszkavicsban) elhelyezkedő talajvíz a főváros területére kelet felől érkezik és a Duna felé áramlik. Az áramlás tehát kelet-nyugati irányú, amely azonban a Duna közelében fokozatosan délnyugat felé hajlik, majd nagy vonalakban követi annak folyásirányát. A budai oldalon – az agyagrétegre települt keskeny Duna-parti teraszkavics-réteg kivételével – víztároló rétegekről és így összefüggő talajvízszintről nem lehet beszélni. Az oligocén agyag felszínének mélyedéseiben összegyűlt talajvíznek állandó utánpótlása nincsen.

A Déli pályaudvar környékén az állomás körzetében található márga repedéseinek keresztül jelentős vízszivárgást észleltek. Ennek okát a Buda déli részén megjelenő dolomit- és mészkőhasadékokban található karsztvizekben kell keresni.

A vonal hővízforrásokat nem keresztezett, pedig a múlt századbeli feljegyzések szerint a Batthyány téren még fakadtak meleg források, illetve a Batthyány tértől délre fekvő Duna-szakaszon most is működő melegvíz-forrásokról van tudomásunk.

A felső víztároló homokos kavics átteresztőképességének együtthatója $k = 10^{-1} - 10^{-2}$ cm/sec között váltakozik, tehát jó vízvezető rétegnek minősül. Az alagút-szelvény felett elhelyezkedő agyagrétegek vízáteresztőképessége együtthatója $k = 10^{-4} - 10^{-8}$ cm/sec közötti tartományba esik, tehát rossz vízvezető, illetve vizzáró rétegnek minősülnek.

A rétegekifejlődés struktúrája alapján megállapítható volt, hogy nyitott vetők nincsenek, mert az agyagos képlékeny rétegsor ezek képződését nem tette lehetővé. A vetődések csúszási lapjai mentén azonban kisebb vízszivárgás volt több helyen észlelhető.

Azokon a helyeken, ahol az agyagréteg finom homokerekkel átszőtt, illetve nagyobb

kiterjedésű lencsés betelepülések találhatók – például a Blaha Lujza tér és az Astoria állomás közötti vonalszakaszon – a víztároló kavicsréteggel való talajvíz-kommunikáció észlelhető volt, különben a mélyebben fekvő rétegekben a szivárgó víz mennyisége nem volt jelentős. A pesti oldalon a talajvíz általában nem agresszív, bár a feltárás során vett vízminták egy része 400–700 mg/l szulfáttartalmat (SO_4) mutatott ki. A budai oldalon ennél magasabb szulfáttartalmat is észleltek.

A talajokkal kapcsolatban szerzett építési tapasztalatok

A hidrogeológiai viszonyok és a helyes építési mód megválasztása a legszorosabb kapcsolatban van egymással. Bár az irodalom számos, nehéz körülmények között épített alagútról számol be, a hidrogeológiai viszonyok és a választott munkamódszer megítélésében mégsem lehet nemzetközi vonatkozásban egységes elvekről beszélni. A kérdés eldöntésében legnagyobb szerepe a gyakorlatnak van.

A metró kelet-nyugati vonalának építése során több helyen alkalmaztak légnomós munkamódszert. A légnomás hatása közül az a legismertebb, amelyik a víznek a munkatértől való távoltartásával kapcsolatos. A kelet-nyugati metróvonal építése során azonban a légnomás dűcoló, talajállékonyság-növelő, sőt vegyi hatását is tapasztaltuk.

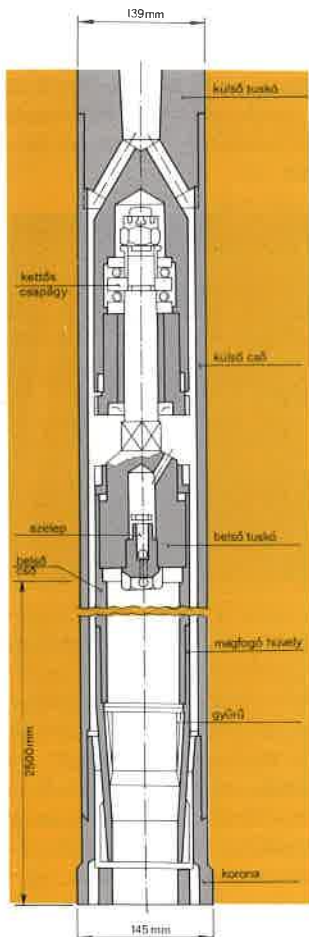
Jól meg lehetett figyelni a dűcoló hatást a Baross téri mélyállomás elektromos terének és az Astoria állomásnak az építésénél is.

A Baross téren a kalott építésénél ideiglenes biztosításként faácsolatot alkalmaztak (22. ábra), és az építést 1,8 atm túlnyomásban végezték. Az építés során egy nem kellőképpen lezárt fűrólyukon keresztül a levegő egy része megszökött és a nyomás 0,7 atm-ra csökkent. Amíg a fűrólyukat elzárták, a hegnyomás megnövekedett és ez a támoikat 12 cm-re nyomta be a talajba.

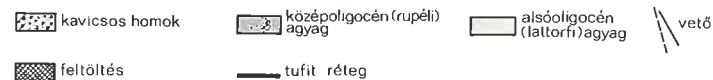
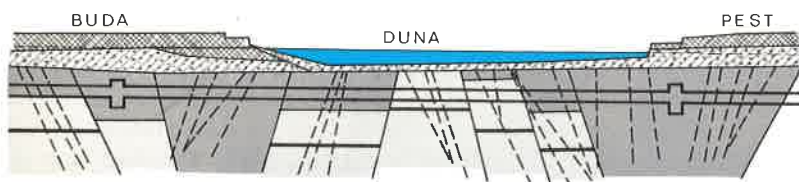
Az Astoria állomás építése idején méréseket végeztünk az állomás legkényesebb elemén kibetonozott acélcső oszlopokon. Azt tapasztalták, hogy az oszlopok igénybevétele a légnomás ingadozásával is változik.

A túlnyomás dűcoló hatását az is bizonyítja, hogy a vonali alagutakban alkalmazott légnomás megszüntetése után a térszínen néhány nap múlva 6–8 mm-es süllyedés következett be.

A sűrített levegő dűcoló hatása még kagylósodásra hajlamos agyagrétegben is jelentős volt. Bányászati módszerrel és pajzzsal (24. ábra) épített műtárgyak, alagutak esetén csökkentette a dűcolás szükséges mennyiségét és növelte a homlok állékonyságát.



19. ábra
F 62 típusú kettős falú magfűrő



21. ábra
Sasbérces és árkos
talajszelvény

A légnyomás talajállékonyság-növelő hatását a Blaha Lujza tér és az Astoria állomás közötti építési tapasztalatok bizonyítják a legjobban. Már említettük, hogy ez a szakasz, az itt található iszapos homok-, illetve folyóshomok-beékelődés miatt építés szempontjából a legkritikusabbnak minősült. Erre utaltak azok a tapasztalatok is, amelyeket a Blaha Lujza téri állomási akna és az állomási pajzskamra építésénél szereztek, az említett talajféleség viselkedésének megfigyelése során.

Az akna alsó része folyós homokot harántolt és az 1,6–1,8 atm túlnyomás ellenére a folyós homok 1,5–2,0 méternyit felemelkedett az aknában. További beáramlását megakadályozni, az akna fenekelését elvégezni csak a légnyomás 3 atm-ra való emelésével tudták. A német módszerrel épülő pajzskamra fenékboltozatát a műtárgy oldalfalai körül már felülről lefűrt fagyasztó fűrészek segítségével készítették. A létrehozott fagyköpeny megakadályozta az oldalfalak alatt építés közben a talajtörést és a folyós homok beáramlását a munkatérbe. A fagyasztott fal egyben silószerű hatást is biztosított. A falon fellépő súrlódás ugyanis jelentősen csökkentette a felső boltozatra nehezedeő függőleges terhelést.

A fagyköpeny jelentőségét a legjobban az az eset mutatja, amikor az építési időmegrövidítése céljából a fagyfalon át egy kis keresztmetszetű tárót nyitottak, és akkor olyan tömegű folyós homok tört be, hogy a munkát tovább folytatni nem lehetett, és kénytelenek voltak rendkívül nagy túlnyomás mellett a munkatérőt ideiglenesen elfalazni.

A Blaha Lujza téri állomási vonalszakasz megépítésére igen sokféle elképzelést vitattak meg, így a talajszilárdítást, a fagyasztás és légnyomás együttes alkalmazását is. A talajszilárdításra vonatkozóan még helyszíni kísérletet is végeztek a feszítőkamrából indított kis táróban. Ez a kísérlet azonban majdnem kellemetlen következményekkel járt. A szilárdított homlok közepén néhány négyzetcentiméteres rosszul szilárdult rész maradt, amelyen keresztül folyóshomok-beszivárgás kezdődött. A beszivárgás intenzitása állandóan növekedett, végül igen rövid idő alatt olyan hatalmas folyóshomok-betörés fejlődött ki,

hogy csaknem 24 órás munkával sikerült csak megállítani és így a felszíni épületek károsodását megakadályozni.

A Blaha Lujza téri talajviszonyok vizsgálatánál azt tapasztalták, hogy a homok folyási hajlama a légnyomás hatására általában csökken, bizonyos súrlódási erő lép fel a szemcsék között. Ez azt eredményezi, hogy viszonylag kis felületű fejtési homlokokon a talaj hosszabb-rövidebb ideig állékony marad. Az állomás építését ezért öntöttvas tübbingek felhasználásával, légnyomás alkalmazásával végezték oly módon, hogy a 8,50 m átmérőjű pajzs előtt három 3,20 m átmérőjű vaslemez tübbingtárót hajtottak ki, amit 2 m előrehajtás után kiinjektáltak. Ezek 8–10 m-rel megelőzték a pajzsot.

A választott munkamódszernek alapvetően kettős célja volt. Egyrészt a homlokot olyan részekre osztotta fel, amelynél a fejtést légnyomás alkalmazása mellett még egyáltalán el lehetett végezni. Másrészt előzetes talajfeltárást biztosított, így a reméltnél rosszabb geológiai körülmények között is lehetővé tette volna a talajszilárdítás alkalmazását.

Hasonló módszerrel épült meg a Blaha Lujza téri és az Astoria állomás közötti vonalszakasz, azzal a különbséggel, hogy a vonali pajzsok előtt csak egy kis tübbingtárót hajtottak ki. A légnyomás hatása döntőnek bizonyult. A víz a homok szemcséi közül eltávozott és így – szoros főtédűcolás mellett – az építési feladatot végre lehetett hajtani.



22. ábra
Kihajtott kalott
a boltozat
bebetonozása előtt

A pajzshajtás befejezése után a légnyomást megszüntették, csak egy jelentéktelennek tűnő munka, egy 4 m átmérőjű összekötőcső tübbingalagúthoz csatlakozó részének betonozása volt hátra. Itt még légnyomás alatt a talajba szoros padlófűzést építettek be. Építés közben az egyik tűzpadló kimozdult, és kb. 30 x 40 cm méretű, háromszögletű rés keletkezett. Ezen a nyíláson olyan erővel tódult be mintegy 200 m³ folyós homok, hogy néhány óra alatt félátmérőig töltötte fel a csatlakozó alagutat. A homok egyre nyomult előre az alagút hosszában, míg azt pallókból épített zárógáttal meg nem akadályozták. Né-

hány nap múlva légnymás alá helyezték az alagút-szakaszt. A folyós homok ismét megszilárdult és sikerült a végleges szerkezetet megépíteni minden különösebb nehézség nélkül.

Az előadottak egyértelműen bizonyítják, hogy folyásra hajlamos talajokban a légnymásnak a víz távoltartásán kívül a talaj állékonyságát növelő, stabilizáló szerepe is van.

A légnymás alatt végzett munkáknál a pirit tartalmú agyagtalajokban, illetve a talajvizben kémiai változásokat is megfigyeltek. Az agyagban levő pirit a légnymás hatására ugyanis gyorsabban oxidálódik, majd a talajvizben oldódva annak szulfáttartalmát jelentősen megnöveli.

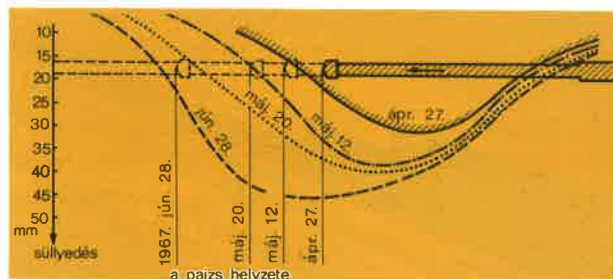
A Kossuth Lajos téri alagutak építéseinél ezért emelkedett meg a talajviz szulfáttartalma 35–450 mg/l-ről 1400–1700 mg/l-re. A szulfáttartalom ilyen gyors emelkedése a pneumatikus munkák befejezése után megállt, majd csökkenni kezdett, egy év után pedig 600–700 mg/l-re esett vissza. A légnymásos munka során fellépő szulfátkoncentráció-növekedés tehát csak átmeneti jellegűnek tekinthető, a betonból készült műtárgyak korrózióvédelme szempontjából nem tekinthető mértékadónak.

Hegnyomás, víznyomás és a térszínen jelentkező süllyedések

Az elvégzett néhány mérés, továbbá az építési tapasztalatok arra utalnak, hogy a hegnyomás nagysága kisebb kohéziójú agyagban épült állomási műtárgyak esetében megközelíti, illetve eléri a geológiai nyomás értékét, vonalalagutak esetében pedig a Protogyakmov-, illetve Terzaghi-féle hegnyomás-elmélettel számított értékek körül ingadozik.

Az alagutakra ható víznyomás nagyságára vonatkozóan az alkalmazott túlnyomás, illetve az injektálónyílásokon mért konkrét víznyomás értékéből lehetett bizonyos következtetéseket levonni. E szerint a talajvízszint nyomómagasságának csak mintegy 70–80%-a terheli az alagutakat.

Az építés ideje alatt bekövetkezett süllyedések elméleti értékelése rendkívül nehéz. A süllyedések kialakulását ugyanis a geológiai viszonyok, a műtárgy geometriai méretei, a választott munkamódszer, az építés sebessége, annak minősége és még sok más tényező nagy mértékben befolyásolja. A feldolgozott adatokból viszont tendenciaként megállapítható, hogy a pesti szakaszon a bányászati módszerrel megépült vonalalagutak felett a térszíni süllyedések átlagosan 20–30 mm között ingadoztak, míg a pajzzsal épült vonalalagutaknál ugyanez az érték 30–50 mm között változott (23. ábra). Az állomások építésénél viszont a pajzsos munkamódszer esetén mutatkozik kisebb, 50–80 mm-es érték, a bányászati módszerrel meg-



23. ábra Felszíni süllyedések a pajzzsal épített vonalalagútnál

épült állomási műtárgyak 70–90 mm-es maximális felszíni süllyedésével szemben.

A süllyedéseknek a felszíni épületekre gyakorolt hatása szoros kapcsolatban van a süllyedési teknő kiterjedésével. Ennek maximális mérete a pesti oldalon 50–90 m között változott. Megfigyelhető volt, hogy nagyobb kohéziójú talajrétegekben a süllyedési zóna általában kisebb kiterjedésű viszont meredekebb lejtésű, vagyis a felszíni épületek szempontjából kellemtlenebb, mint a kis kohéziójú talajrétegek esetében keletkező süllyedési teknő. Alagút hajtásánál a süllyedési zóna együtt halad az építéssel, és a tapasztalat szerint annak maximális értéke a homlok mögött jelentkezik, mintegy 35–40 m távolságban.

Süllyedéseket azonban nem egyedül alagútépítési munkák okoztak, hanem pl. a Deák Ferenc téren a felszín alatti csarnok építésénél alkalmazott nyílt víztartással kapcsolatos szivattyúzás, a Batthyány téren pedig az előzőekben említett vetőmozgás okozott deciméter nagyságrendű süllyedéseket.

Érdekességként említhető, hogy a kelet-nyugati vonalépítése során néhol nemcsak térszíni süllyedéseket, de 3–5 mm nagyságrendű emelkedéseket is észleltek. Ezeknek a magyarázatát a megengedettnél nagyobb nyomással végzett injektálásokban, illetve az alagutak ismételt légnymás alá helyezésében lehet megtalálni.

24. ábra

Gépesített pajzs rotorja (összeszerelt pajzs a pajzskamrában)

