

AZ ALAGÚTÉPÍTÉS-TECHNOLÓGIA TÖRTÉNETE

Évszázadokon át kialakult építési technológia jellemezte az alagútépítést az utóbbi évtizedekig, amikor hatalmas technikai fejlődési eredmények hasznosításával teljesen átalakult az építés. A következőkben röviden áttekintjük az alagútépítés történetének évszázadait, majd bővebben szólnunk napjaink lehetőségeiről.

Az alagútépítés kezdete mintegy négyezer-egyszázhatvan évvel ezelőttre tehető, amikor Semiramis királynő, aki a világcsodaként számon tartott függőkertjeiről nevezetes, az Eufratesz folyó alatt építtetett 1 kilométer hosszú, 16 négyzetméter keresztmetszetű alagutat a palotája és a Jupiter templom között. Tudomásunk szerint az egyiptomiak is építettek már alagutat. A következő nevezetes alkotás Jeruzsálemben 2700 évvel ezelőtt. Egy forrás vizét szállította a városba. A közúti alagutak őse a 2000 évvel ezelőtt Nápoly és Pozzuoli közötti úton, egy domb alatt vezetett át. Augustus császár kora általában a római kultúra fénykora volt, ekkor készült a 900 méter hosszú, 7,5 méter széles alagút.

A középkor századaiban a várak védművei, alagútrendszerei és a bányászathoz épített tárók jelentették a mélyépítés csúcsteljesítményeit. Az alagútépítés jelentős fejlődése azonban csak a 17. századi Európában indult fejlődésnek, és elsősorban Franciaországban. 1666-ban Francois Andreossy mérnök a dél-francia Languedoc tartományban elsőként nem vájt, hanem robbantott sziklába alagutat, az Atlanti-óceánt és Földközi tengert összekötő 20 méter széles, 240 km hosszú Canal du Midi hajózható csatorna számára. A Malpas-alagút 157 méter hosszú, és a csatornánál kisebb, 6,9 méter szélességű.

1707-ben készült az első Alpesi alagút Andermatt közelében, a Szent Gotthárd alagút. A fejlődő kereskedelem a keskeny utak és az év folyamán hosszú ideig járhatatlan hágók igényelte az úthálózat fejlesztését.

A 19. század elejétől visszatérő álom volt a La Manche csatorna alatti alagút megépítése. Az első kezdeményező Bonaparte Napóleon volt. Albert Mathieu francia mérnök terveket készített, az akkori technika eredményeit hasznosította, viszont geológiai feltárást nem végzett. Az angol külügyminiszter is hozzájárult az elképzeléshez, de a terv, terv maradt, viszont a későbbi kezdeményezéseket már az angolok utasították el. Így Thome de Gamond 1856-os vasúti alagút javaslatát is, melyhez 13 mesterséges sziget létesítését javasolta az építés és üzemeltetés feltételeinek biztosítására.

1807 és 42 között megépült az 1100 méter hosszú Temze folyó alatti alagút Londonban. Itt alkalmaztak először alagútásó gépet, pajzsot. Arc Isambard Brunel alagútásója egy fadestekéből készült fal volt. A deszkákat egyenként lehetett csavaremelővel visszahúzni, hogy mögötte a földet kifejthessék. A legfőbb újdonság az volt, hogy eddig csak száraz sziklákban készült alagút, itt azonban már szivárgó vizekkel is meg kellett küzdeni. James Henry Greathead fejlesztette tovább a terveket és később meg is valósította, hogy a munkaterületet lezáró diafragma fal védelmében levegő túlnyomással lehetett a vizet kiszorítani. A túlnyomásos munkatér, a keszon beköltözött az alagútépítésbe.

A legnagyobb megrendelő születésnapja 1825. szeptember 27. Ekkor nyitották meg Stockton és Darlington között az első személyközlekedésre is alkalmas vasutat. Igaz az első vasúti alagút a franciaországi St. Etienne közelében még lóvasút számára építették, de végül a gőzösök elsőpró győzelmet arattak. Az első valódi hegyvidéki vasút 1854-ben épült meg. A 41 km hosszú Semmering vasút legmagasabb pontját, 899 méterrel a tenger szintje felett az 1428 méter hosszú Semmering alagútban éri el. Útközben további 14 alagúton vezet a pálya.

A városi közlekedésben 1863. január 10. hozta a fordulatot. Londonban Paddington és Farringdon között megépült a londoni földalatti vasút első szakasza, a Metropolitan Line (az

üzemeltető társaság a Metropolitan Railway volt), melynek nevéből máig fennmaradt a metró elnevezés, bár Londonban ma is inkább a tube kifejezést használják. A gyorsan szaporodó különleges gyorsvasutak, a metrók építése más szempontból jelentett nagyobb kihívást. Itt az épített környezetre, például süllyedések elkerülésére is figyelni kell, a talajviszonyok rosszabbak, mint a hegységekben, és a város közlekedése, élete sem zavarható, akadályozható, kiemelt szempont a környezetvédelem.

Az alagútépítés két alapmódszere a 19. század második felére kialakult. A nyitott módszer az egyik, amikor a műtárgy helyét a felszínről kitermelik, a szerkezetet elkészülte után földdel fedik. A módszer fejlődése alapvetően az építő gépek fejlődésével függ össze. Például 1896-ban a millenniumi földalatti mintegy 3 kilométeres alagútját két év alatt készítették, az akkori csúcstechnikának számító Siemens gépek, baggerok teljesítményének hála. A zárt módszer esetében a felszínnel csak néhány, szállításra és szellőztetésre kialakított akna köti össze a munkaterületet. A gépesítés, fúrógépek, robbantás alkalmazása mellett is az alapvető technológiát sokáig a letisztuló bányászati módszerek jelentették a rosszabb talajviszonyú területeken. Ezeket még a huszadik században is alkalmazták, bár több módszer, így például a hossztartós (angol) módszer vagy a szaruzatos (osztrák) módszer lényegében feledésbe merült. A bányászati módszerek azt használják ki, hogy minél kisebb a kifejtett üreg keresztmetszete, annál hosszabb az áthidalási idő, amíg a kőzet támasztás nélkül megáll. A belga módszer lényege, hogy az alagút tetejénél építik meg először a fejtárot, ezt bővítik oldalirányba, szakszóval kilegyezik, azaz első ütemben, a vállmagasságában a kőzetre támaszkodó főteboltozatot építik meg. Második lépésként szakaszosan aláfejtik az oldalfalakat, azokat beépítik, végül az alsó boltozat következik. A módszeren belül a szerkezet méretétől és a talajviszonyoktól függően változatok ismertek. Ahol a főteboltozat terhe nem hárítható közvetlenül a talajra annak minősége miatt, ott a német, maghagyó módszert alkalmazták. Itt először az oldalfalak épülnek meg tárókból, ezután épül meg a felső boltozat. A budapesti metróépítés keszonosai az ötvenes-hetvenes években is büszkéek voltak arra, hogy több szakmához értenek: bányászok, betonozó építőmunkások, ácsok az ideiglenes biztosítás miatt és gépkezelők is a fejtőberendezések kezelése érdekében. A jövő útját azonban a mind fejlettebb, gépesítettebb pajzsok fejlesztése jelezte. Időrendben itt következik két magyarországi alkotás 1856-ban készült el a budai vár alatt a 350 méter hosszú közúti alagút, 1861-ben pedig a Kis-Gellérthegy alatt a Déli Vasút 362 méteres alagútja. Nekünk kedvesek, bár nem jelentettek világszenzációt. Hazánk leghosszabb alagútja az 1895-ben épült piliscsabai vasúti alagút 780 méteres hosszával.

Az alagútépítés történetében ezután mind nagyobb szerepet kaptak a „leg-ek” 1870-ben, 13 évi munkával elkészült a 13 623 méter hosszú Mont Cenis keskeny nyomtávú vasúti alagút. Neve egy 25 kilométerre fekvő hágó nevét viseli, valójában a 2 528 méter magas Col de Fréjust szeli keresztül. Gefrmain Sommeiller a világ első sűrített levegőt előállító berendezését és pneumatikus kőzetfúrókat alkalmazott. 1881-ben elkészült a svájci Szent-Gotthárd vasúti alagút, mely több mint 15 kilométer hosszú.

Száz évvel később, 1982-ben már így álltak a legek: június 25-én Japánban felavatták a világ leghosszabb 15 442 méteres keskeny nyomtávú talpalagútját, ugyancsak Japánban november 15-én a világ leghosszabb vasúti alagútját a 22 228 méteres Daisimicut. E címe már akkor jelképes volt, hiszen épült már a közel 54 km-es Szeikán alagút Honsú és Hokkaido között.

Összehasonlításként néhány szó Európáról. A csúcscsúszítás ugyan nem sikerült, de a legrégebb európai alagút-álmom 1994-re valóra vált, ekkor nyílt meg a La Manche csatorna alatti, 49,94 km hosszúságú ikervágányú vasúti alagút. A közúti alagutak között az 1980-ban Szent-Gotthárd alagút 16,32 km hosszúsága jelzi Európa is képes csúcsteljesítményre.

Visszatérve a távoli szigetország eredményeire, felmerül a kérdés, miért éppen a japánok? Ha arra gondolunk, hogy a világ egyik leginkább földrengésveszélyes vidékén – évente kb. 5 000 rengést észlelnek –, tengeri üledékekben, rossz talajviszonyok között építenek, akkor

még tiszteletre méltóbb ez az elismerés. Japánban 1970 körül vezették be az első teljesen automata alagútfúró berendezést, a Tele-Mole-t, a „távvakondokot”. Ez is annak a fejlesztő, kutatómunkának a része, mellyel a japánok módszeresen alapozzák meg a feladataikat. Hasonló fejlesztő munka húzódik meg a nyugat-európai és amerikai alagútépítési eredmények mögött.

Mit is jelent ma a korszerű technológia az alagútépítésben? Kezdjük a nyitott módszer új lehetőségeivel! A városi belső területeken a függőleges falú munkagödrök biztosítására szádfalas, résfalas és fúrt cölöpös eljárás használható. A két utóbbi nagy előnye, hogy megfelelő vízzárósággal építve a függőleges falak egyben az építendő létesítmények részeiként működhetnek. A réseléses technológiában először a földből egy keskeny rés kiemelésére kerül sor speciális gép (réselőgép) segítségével. A résbe a víznél nagyobb térfogatsúlyú résiszap kerül. Ebbe belemeríthető a fal vasszerelése, majd az iszapot kiszorítva a résbe betöltik a betont. A 0,6-0,8 méter vastagságú fal táblákból áll, visszahúzható szakaszoló csövek segítségével alakítható ki a zárt doboz szerkezet, mely általában a vízzáró rétegbe köt, és akár 40 méter mély is lehet. Jó építésszervezés mellett, ha elkészült a résfal-határolás, rákerülhet a szerkezetre a földem, és a földkiemelésre, a vonal vagy állomás megépítésére a felszín minimális zavarásával kerülhet sor. Ez az úgynevezett milánói módszer lényege, Németországban „Deckelbauweise” – magyarra fordítva felső földemes építési mód – vagy angol nyelvterületen „Top-Down”, felülről lefelé építési módszer. A hazai gyakorlatban, a hetvenes-nyolcvanas években már szerepelt réselés, de nem a milánói módszerrel. A felszín zavarása így sokáig tartott, sok kellemetlenséget okozott. A tervezett 4. vonal esetében már a fent ismertetett korszerűbb eljárás révén a forgalom fenntartható a felszínen, és kisebb környezetzavarással, rövidebb idő alatt elkészülhetnek a résfallal tervezett állomások. A réselés filozófiájához valamelyest hasonló elven létesül a fúrt cölöpök alkotta fal, de itt réstáblák helyett kör keresztmetszetű oszlopok illeszkednek össze, a furatokat védőcső védi, ebbe kerül a vasalás, majd a csövet a betonozással párhuzamosan felhúzzák. A cölöp átmérője 0,9-1,2 m között van, a cölöpöket átfedően építik, így elzárják a munkaterületet, illetve körülhatárolhatják a műtárgyat. A technika fejlődésével ma már nem csak függőleges cölöpfalak építhetők. Ez előnyös, ha például egy szűk belvárosi tér alatt építünk, és a mélyben mégis elérhető a széles állomásszerkezet megépítése a felszínről. Az eljárás másik előnye, hogy a szerkezetet nem kell felúszásra méretezni, azaz a vizes talajban működő felhajtó erővel szemben védett a felfelé keskenyedő szerkezet.

A zárt módszerű alagútépítésben a korábban hegyvidékeken, sziklatalajban alkalmazott, és új osztrák építési módszernek (NÖT) nevezett eljárás kiterjeszhető a kellő szilárdságú kötött üledékes kőzetekre is, a talajszilárdító eljárások fejlődése révén pedig szemcsés talajokra is. A talajt kifejtik olyan hosszban, hogy még állékony legyen, majd beton vagy hegesztett hálós vasalású vasbeton falazatgyűrű beépítése következik löveltt betonozási eljárással. A betont nagy nyomással lövik a falra. A zárt módszerű építés alapvető módszere a pajzsos építés. A pajzs olyan, előlről részben vagy teljesen lezárt acélcső, melynek átmérője az alagút külső átmérőjét kis mértékben meghaladja. Biztosítja az alagútपालást és a munkatér homloklapjának szükséges mértékű, folyamatos, az építéssel együtt haladó megtámasztását, és a földfejtéshez, szerkezetépítéshez szükséges munkaterületet. A pajzs hátul a már elkészült alagútgyűrűkre támaszkodik. A pajzsoknál a homlok megtámasztását a talaj és hidrológiai viszonyok alapján határozzák meg. Szilárd kőzetben nyitott homlokú pajzsot használnak, laza kőzetben, ahol talajvízzel nem kell számolni, mechanikus biztosítás lehetséges, ezt elláthatja maga a marótárcsa. Ahol víznyomással kell számolni, túlnyomásos, levegővel történő megtámasztás (keszon), a hidropajzs vagy földmegtámasztásos pajzs alkalmazható. A hidropajzsnál a homloktámasztást a munkakamrába szivattyúzott bentonit zagy biztosítja. Ezzel keveredik a lefejtett kőzet, így az könnyebben szállítható. A munkakamrában szükséges nyomás a merülőfal feletti légpárna segítségével biztosítható és gyorsan lehet reagálni segítségével a hidrogeológiai változásokra is. További előny, hogy a kifejtett üreg folyamatosan ki van töltve, így a felszíni süllyedések is minimálisak. A földmegtámasztású pajzs esetében a fejtett kőzet

biztosítja a homloktámasztást. Kiszállításához megfelelő kezelő anyagot használnak. A szükséges nyomást ebben az esetben nyomóhidraulikák szabályozzák.

Ma a világon évente sok száz kilométer alagút épül vízszállításra, utak, vasutak számára, városokban kommunális és közlekedési célból. A világ mintegy száz városában üzemel, épül metró. Olyan merész tervek és elképzelések is megszülettek, mint az Európa és Afrika között Gibraltárnál tervezett alagút, vagy az Innsbruck és Olaszország között tervezett vasúti, Brenner hágó alagút, mely 60 kilométeres hosszúságú lesz, ha megvalósul. Az alagútépítés történetének napjainkban íródó fejezetére az a jellemző, hogy a lehetséges technológiai megoldások megfelelő kiválasztásával lényegében bármilyen talajviszonyok között, biztonságosan építhető alagút a felszín, a környezet károsítása, súlyos zavarása nélkül. A gondos tervezés, a pontos és az adott körülményekhez alkalmazkodó kivitelezés követelménye természetesen nem változott.