

ÉPÍTÉS A FÖLD ALATT

Amióta az emberiség létezik, igyekezett menedéket találni a természet erői elől. Ha talált barlangot, abban, majd egyre többször maga vájta a hegy mélyében a járatokat, termeket. Már az ókori birodalmakban elterjedtek a barlangtemplomok, ahol a külvilág minden behatása eltűnt, a lélek befelé fordult. A barlang, a föld mélyében épült folyosó mindig titokzatos marad, a cseppkőbarlang, bánya, vagy a metró éppúgy izgalmas, de félelmetes is.

Már az ókorban készültek nagy föld alatti építmények, például Szemiramisz királynő, aki a függőkerteknek nevezett világcsodáról ismert, Kr.e. 2160 körül Mezopotámiában alagutat építtetett az Eufrátesz folyó alatt. A föld alatti építmények ettől kezdve a közlekedés céljait is szolgálhatják. Az ember gyorsan megtapasztalta, állékony kőzetekben nehezebb a fejtés, de biztonságosabb a munka, a kibányászott nyílást alig kell támasztani. A puha kőzetekben könnyebb a munka, de ahol a talaj minősége gyengébb, már nagyobb a balesetveszély, az omlás, vízbetörés veszélye, bonyolultabb a helyzet.

Hogy hogyan fedezte fel az ember azt, hogy milyen anyagokat használhat fel kézműves mestersége gyakorlásakor, homály fedí. Tüzevel, fazekas kemencéjével nem utánozhatta a modern olvasztókat, de kísérletezni már tudott. Piros kővel, sárga kővel próbálkozott, amit talált színéről azonosította, és ha valamit kialakított belőle, a mesterember csodatévőnek, varázslónak számított. Az ókorban még inkább véletlenül múltott például, hogy sikerül-e a vas előállítás. A kovácsok ilyen mesés alakja egészen a 18-19. századig fennmaradt. A kővek azonban a mélybe csalogatták az embert: ott rejtőzik a kincs, a nyersanyag. A középkor kicsiny folyosókban kúszó bányászai hihetetlen túróképességgel tudtak járatokat ásni a föld alatt. A kutató ember már nem csak állékony sziklában, biztonságos helyen tevékenykedett, a járatokat biztosítania kellett. Kialakultak a támasztó faszerkezetek. A levegő a fény lejtuttatása, a szellőztetés feladatai a homo technikus hatalmas eredményei. Rengeteg baleset, áldozat és sok tapasztalat gyűlt mindebből. A bányászati módszerek terjedtek el a föld alatti műtárgyak építésében és lényegében a tizenkilencedik, huszadik századig uralkodó eljárások maradtak.

Mi okozott nehézséget? Amikor a föld alatti műtárgy épül, megtámasztása eltűnik és a végleges is eltér a természetes állapottól. A korszerű építési módszerek és az alagútszerkezetek megalkotóinak fejében mindig az jár, hogy a természetes állapot átmenetileg se változzék, vagy csak alig. A technológia ilyen lehetőségei alig néhány évtizedesek. Az út pedig hosszú volt. Az alapvető célkitűzés tehát, hogy a megbontás és a teljes megtámasztás között minél kevesebb idő teljen el. A következő gond, hogy milyen minőségű maga a megtámasztás. Ha az például fa, akkor az bizonyos fokig enged, és így a felszínig terjedő mozgást indít el a mélyben folyó munka. Gond az is, hogy a mélyben áramlik a víz, és ismert körforgásának a föld alatti része nehezebben megismerhető. Említenünk kell a földtörténet során formáló hatású mozgásokat, gyűrődéseket, töréseket, melyek megbontják a talaj egységét, a mélységben lévő anyagok keverednek, tulajdonságaik hirtelen változhatnak. A mozgás ma sem szűnt meg teljesen, hiszen a földkéreg mozgása, a földrengés mindenütt előfordulhat, de várható erőssége szerencsére egyes területeken - ez megint a talajviszonyok, a kéreg állapotának, a táblák helyzetének függvénye - jóval alacsonyabb. Érdekes, hogy a földrengésálló, biztonságosabb építéstechnológia éppen a földrengésveszélyes területen élő, dolgozó embereknek köszönhetően sokat fejlődött. A tömeges felszíni építkezésekben kevésbé használják, mert nem olcsó az ilyen szerkezeti kialakítás, de a mélyépítésben lényegesen nagyobb teret nyert, ami a föld alatti műtárgyakat illeti. Kitűnő példája ennek a Mexikóvárost pusztító, 45 másodpercen át tartó 7,9 erősségű földrengés, amely a metró szerkezetében nem okozott sérülést. De említhetjük az évi 5 000 földrengést megélt Tokiót is, ahol a mélyben

biztonságosabbnak mutatkoznak a szerkezetek. Bonyolult, összetett tényezők hatásaival kell számolni a mélyben dolgozóknak.

A kíváncsi ember a természet leírásával, elemeinek rendszerezésével régen foglalkozik. Először a leíró tudomány, a geológia fejlődött, rendszerezett, leírt. Az anyagokról alkotott képünk azonban csak a 18. század végén változott meg, amikor az őselemek teóriáinak helyét a kialakuló vegytan vette át, más lett a föld alatti ásványok, kőzetek megismerésének mélysége is. A tapasztalatok gyűltek, de a mérnöki alkalmazáshoz, a céltudatos vizsgálódáshoz, tervezéshez ugyanazt az utat meg kellett járni a föld alatt, amit a kísérletező mérnök a próbálkozás alapján, érzésre, intuícióra alapozott kupolaépítések esetében megtett, csak a mélységben a bonyolultabb helyzet leírására az eszközök is bonyolultabbak.

Amikor a reneszánsz felfedezte az ókori görög hagyományt, újra felfedezte Arisztotelészt és Platón, a mérnök, aki akkoriban még mesterember volt ugyancsak két örökséget talált: Eukleidész és Archimédész életművét. A matematika és a tapasztalati műszaki tudomány találkozása teszi, hogy a mesteremberből mérnök válhatott. Elsőként Leonardo járta végig ezt az utat. A matematika szerepe a műszaki tudományokban napjainkban tovább növekedett. A bonyolult számításokhoz, az összetett modellek készítéséhez azonban a számítástechnika eszköztára is kell. A mélyben építéskor lejátszódó események vizsgálata, modellezése, a szerkezet kialakítása, méretezése, a beépülő anyagok vizsgálata, a technológia előírásai tudományos alapokra kerültek.

A magyar tudományosság és oktatás első kiválósága nem véletlenül a Selmecebányán 1735-ben megnyílt bányászati akadémia volt, hiszen ezen a vidéken már ezer éve foglalkoztak ércbányászattal és fémelőállításal, a XV. században pedig a Thurzó-Fugger család birtokában korszerű kohászati kombinát működött itt. A selmecebányai akadémia elméleti és gyakorlati képzési egysége, a laboratóriumi képzés Napóleon École Polytechnique-éhez is mintául szolgált. A magyar világhírességek, Szécsy, Jáky, Kézdy Műegyetemi professzorok munkássága nyomán tökéletesedhetett a geotechnika tudománya, mely a talaj tulajdonságaival és a mélyben lévő helyzet kezelésének ismereteivel foglalkozik. A helyszín vizsgálata, a mintavétel, a minták laboratóriumi elemzése vezethet a megbízhatóbb állapotfelmérésekhez, a beavatkozás nyomán várhatóan kialakuló hatások elemzéséhez. Az anyagtudomány, a gépészet, szerkezetépítés tudománya az utóbbi évtizedekben robbanásszerű fejlődésnek indult. A kiindulás természetesen a gondos helyzetelemzés kell legyen, ezt segíti a talajkutatás, a geológiai, hidrológiai, hidrogeológiai helyzet megismerése.

A feltáró fúrások, egyáltalán a mélyfúrások készítésében ugyancsak jelentős a magyar részvétel: Zsigmond Vilmos munkássága elsősorban az artézi kútfúrásról ismert. Ő is a selmecebányai akadémián végzett bányamérnök volt. Első fúrását 1865-ben Harkányban végezte. A föld mélyének egyik legösszetettebb problémája a víz jelenléte. Kincs, ha ivóvíz származik belőle, melyet óvni kell. Kincs, ha a mélyben felmelegedve hévvízként találjuk, vagy forrásként bukkan a felszínre, és ugyancsak értékes, ha oldott ásványi anyagokban gazdag, mely az ember gyógyító tevékenységének történetében ősidők óta ismert. Ugyanakkor gond, ha az építményben kárt okoz. A felszín-közeli vízzáró réteg felett, a felszíntől Budapesten már 4-5 méterre ott a talajvíz. Ez többnyire a Dunával van összeköttetésben. Érdekes módon nagyjából hét éves periódusokban szintje a mélyponttól a maximumig változik. Az utóbbi időszakban a budapesti belvárosi pincékben megjelenik a víz. A mélyebb rétegvizek, a mészkőben mélyre jutó karsztvizek valamivel védettebbek, a mélyben folyó építkezéseknél nagyon kell vigyázni rájuk, mert he egyszer károsodnak, nehéz a gond orvoslása.

A víztartalom befolyásolja a talaj szilárdságát, állékonyságát, fejthetőségét, a munkavégzés körülményeit is. A modern technikák fő célkitűzése éppen az, hogy a környezet számára minél észrevétlenebbül történjen meg az építés, és a végleges állapot se forgassa fel a

világot. Az eszköztár megvan ehhez a világban. De jó előre tudni kell, milyen viszonyokhoz kell odalent alkalmazkodni.

A fúrás nagyon fontos. A tervező számára elmondja, milyen talajviszonyokkal számolhat odalent, a felszínre került mintákból kirajzolható a mélységben fekvő állapot térképe. Természetesen a fúrások nem közelíthetnek minden határon túl, a térkép készítésében mindig marad bizonytalanság, de kellő sűrűségű fúrás esetén már biztosabb lehet a következtetés. Helyesebb azonban számítást, modellképzést említeni a mai tervezési eszköztár esetében. A számítási módszerek fejlődéséhez is évszázadok kellettek.

Melyek tehát a mai eszközeink? A geológia, hidrogeológia ismeretanyaga, a budapesti állapot általános felmérése, és az építés térségében ehhez a még részletesebb vizsgálat, kutatófúrások majd az eredmények alapján kiértékelt állapotismeret. A második a tervezés eljárásainak korszerűsége. A harmadik a tervezhető szerkezetek biztonsága. Ez is sokoldalú kérdés, legyen az akár az agresszív talajvizet is álló szigetelés megoldása az alagutak esetében, legyenek azok a beton alagútelelemek és az állomási szerkezetek résfalai, valamint ezek kapcsolódásai. A negyedik eszköz az építéstechnológia fegyelme és előnyei, melyek az építési terület minimális zavarásával képesek megvalósítani a tervezett műtárgyakat.

1818-ban a londoni Themse alatti alagút építéséhez tervezte meg az első pajzsot M. Brunel. A mai szerkezetek csak bizonyos funkció tekintetében hasonlítanak az elődökhöz. Ezek a pajzsok képesek maguk előtt a talajállapot még részletesebb vizsgálatára és még az utolsó pillanatban is az alkalmazkodás módjának megválasztására. Ez például a zárt pajzsok előtt végezhető szondázás lehetősége. Az is fontos tényező, hogy az építés engedélyezése során előírhatók, sőt előírandók olyan feltételek, melyek ugyancsak a biztonságot szolgálják. A kiépülő monitorig rendszer folyamatos állapotfigyelést jelent a térségben, mely az épületekre gyakorolt hatásokat, az esetleges mozgásokat és a talaj- és rétegvizek állapotában bekövetkező változások első jeleit is azonnal mutatja.

Miért fontosak ezek a tényezők a budapesti metróépítésben, és miért különösen a 4es vonalnál? Azért, mert Budapesten nem egyszerűek, de kezelhetők a talajviszonyok, mert nem erősen földrengésveszélyes területen élünk, de bizonyos természeti csapás lehetséges, amire fel lehet a metróépítésnél készülni. És, ami a legnehezebb kérdés, hogy hatalmas kincs felett élünk, a vízkészlet a mélyben hatalmas érték, tisztán tartása kötelesség és létérdek, mert itt bukkan a felszínre a Gellért hegy lábánál több gyógyvizet és hévvizet adó forrás, mely a Dunántúli területek jelentős részével vannak összekötésben, és az építkezésnek tudva a kockázatokat biztosítani kell az értékek megőrzését. Szerencsére ez is lehetséges.

Hol történt Magyarországon felszíni vagy mélybeli értékben károkozás? Az első a bányászkodás. A korszerű biztosító rendszerek, acéltámok biztonságosak, de a megnyitott nagy terek ideiglenes biztosítása felszíni süllyedéseket okoz, és ez különösen veszélyes ott, ahol a táró felett épületek állnak. A következő hibaforrás, hogy a bányászkodás érdekében hosszú időre le kell szívni a környező talajvíz szintet, így a természetes vízháztartás felborul. Újabb gond, ha leáll a fejtés, és a megnyitott üregekbe beáramlik az eddig távoltartott víz. Ha a biztosítás karbantartása megszűnik, omlások következnek be vagy egyenesen szándékosan omlasztanak be nyílásokat. A metróépítésben ehhez képest sok az eltérés. Alapvető, hogy a metróépítéshez a lyuk kell, míg a bányászatban az, ami a lyukban van. Az érdekltség tehát a kitermelés, míg a metró esetében a kész, végleges szerkezet elkészítése. A bányászat esetében olyan tömeges kitermelésről van szó, mely nem arányítható a metróéhoz. A metró mai építése esetén - és ez a legfontosabb különbség - lényegében nincs ideiglenes megtámasztás, a támasz nélküli helyzet is annyiban létezik, amennyire az építő pajzs, elől zárt acélcső és a földréteg között van minimális rés. A pajzs fejtéssel ellentétes végén már az acélköpeny védelmében a végleges alagútszerkezet épül be, és a hátúr kiinjektálása megtörténik, a szerkezet mögé préselt anyaggal elzárulnak a repedések. Bizonyos szempontból kedvezőbb helyzet áll elő, mint az építés előtt. Természetesen az injektálás ereje nem haladhatja meg az előre meghatározott értéket,

hogy a környezet befolyásolása ebben is minimális legyen. A metróépítés a tervezett technológiával nem kíván jelentős vízkiemelést. A zárt pajzs – a vonalalagúton – , a résfalas szerkezet – az állomásoknál – építési technológiája ezt nem követeli meg.

A metróalagút nyomvonalának meghatározásánál a forgalmi igények, utasforgalmi feltételek adják az alapot, de ez is jelentős mozgásteret ad az építők kezébe. Itt nem kell minden köbméter nyersanyagot kifejteni. A Gellért téri térségben a tervezett változatok közül a délebbi átvezetést tartalmazó szerint a források közül egy nem használatosát közelít meg 190 méteres távolságra a metróépítés, míg a használatban lévők ettől majd kétszer ennyire vannak. A természet saját védekező rendszere is növeli a biztonságot. Az értékes karsztvíz készlet nyomása ma sem engedi, hogy a Dunába szökő források járatain keveredjen a kétféle víz még a Duna magas vízállása esetében sem. A metróépítéshez elkészült hatástanulmány kritikusan elemzi a helyzetet, szigorú megkötésekre utal, felhívja a figyelmet a nagyobb figyelmet igénylő szakaszokra.

Természetesen minden mélybeli munka rejt kockázatot ma is. Reális kockázatkezelés azonban lehetséges, és jó lenne elfogadni, hogy az emberi építő tevékenység a funkciók csorbulása nélkül is képes vigyázni a természet értékeire, állapotára, miként nem véletlen, hogy a mérnöki szakma fejlődésének legfontosabb iránya a környezetgazdálkodás, és védelem társulása a műszaki tudományokhoz.