

Föld alatti terek létesítése a közlekedésfejlesztésben

A konvencionális alagútépítési módszer

Sok év kihagyást követően a magyar alagútépítés a 4-es metróval, az M6 alagútjaival folytatódott, és jelenleg az M85-nél tart. Úgy tűnik, az eljövendő 10-15 évben alagutas boom várható Budapesten. Ezek között szerepel az M5 metró Duna alatti átvezetése, a Kálvin tér és a Közvágóhíd összekapcsolása, a Déli és a Nyugati pályaudvar összekötése, és nem kétséges, hogy az éppen pihentetett M0 körgyűrű bezárása sem várhat a 22. századra. Érdemes ezért kicsit jobban szemügyre venni a technológiát.



Fábián Miklós okl. építőmérnök,
okl. gazdasági mérnök

A távolsági, a főváros körüli agglomerációs és a fővároson belüli közlekedésben is előnyben kell részesítenünk a közösségi, kötőpályás közlekedést. Egyértelműen ez a 21. század elvárása, parancsa Magyarországon is. Ha erre nincs elég helyünk a felszínen (az utcán), akkor a föld alá kell vinnünk a közlekedés jelentős részét.

A kormány és a főváros illetékesei már Glasgow előtt felismerték és magukévá tették ezt a követelményt. Számos tanulmány, tervdokumentáció, előterjesztés, szakkikk foglalkozik a témával, nemzetközi projektek tapasztalatait is felhasználva, és a közelmúltban szakmai konferenciákon is megjelent a téma, nem kis érdeklődést keltve a megfelelő szakmai körökben.

A Magyar Alagútépítő Egyesület a múlt év novemberében tartotta a kétévenként

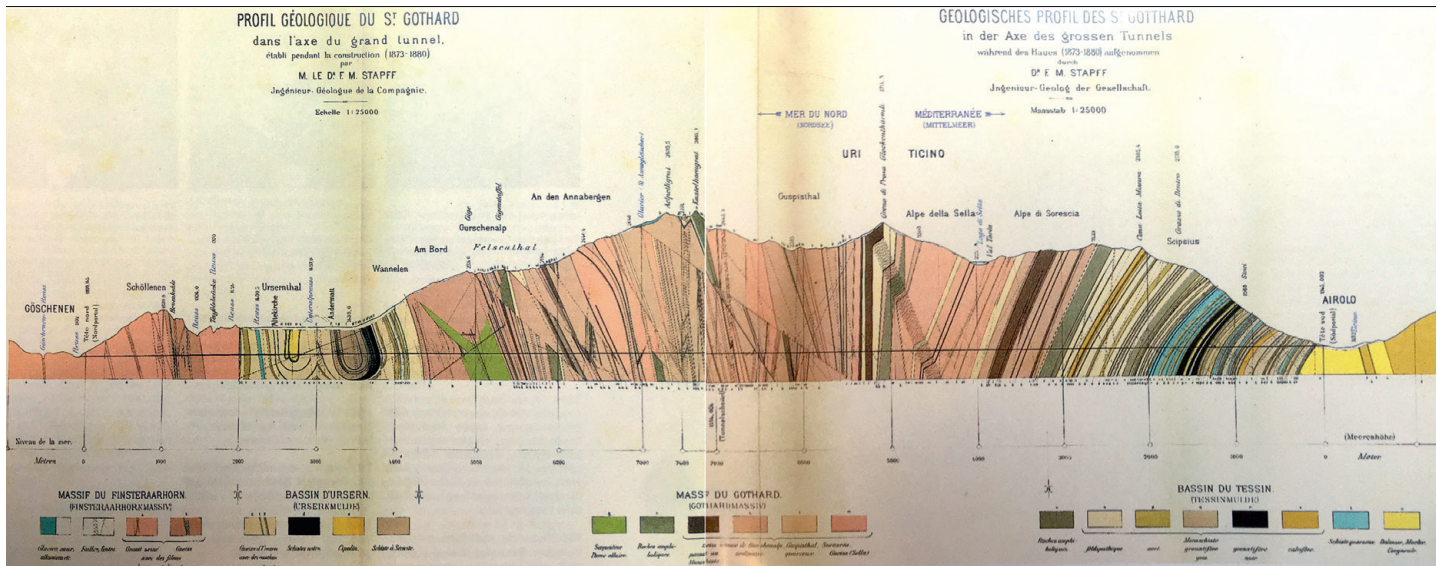
szokásos, immár évtizedek óta hagyományossá vált konferenciáját. A résztvevők tájékoztatást kaptak az aktuális, a kivitelezés alatt és a még csak rajzasztalokon formálódó projektekről (M85 autópálya alagútépítése Sopronnál, Budapest vasúti átjárhatósága, a Déli és a Nyugati pályaudvar összekötése alagúttal, valamint a csepeli és a ráckevei HÉV bevezetése a Kálvin térre, a vonal folytatása északi irányban 5-ös metróként, és az M 100 autópálya alagútjai). Elhangzott egy előadás jelen cikk szerzőjétől az ún. NÖT (a konvencionális alagútépítési módszer) kialakulásáról és filozófiai alapvetéseiről is. Erre a témára szeretnénk most visszatérni.

Az alagútépítések kezdetei

Az alagutak építésének igénye a vasúti közlekedés kialakulásával egyidős, már a 19. században kezdődtek nagy léptékű híd- és alagútépítések. Már ekkor számos klasszikusnak nevezhető építési módszert alkalmaztak nagyapáink. Ezeket még listaszéren sem sorolom fel, helyette ajánlom Széchy professzor alapművét az érdeklődők figyelmébe. A klasszikus módszerek lényege, hogy a föld alatti tér kiképzése idejére egy masszív faácsolat vette át az üreg fölött lévő köztömeg súlyából adódó terheket, a végleges falazatot pedig többnyire kőből építették a falazat mögötti hátúr folyamatos kitöltése mellett. Már ekkor is készültek geológiai feltárások, gépesítési, logisztikai stb. megoldások, és ezek alapján munkamódszertervek. Az ilyen módon megvalósuló alagútépítések munkaigényesek, fárasztóak, és kimondottan baleset-, sőt életveszélyesek voltak.

A NÖT előfeltételei a műszaki fejlesztésekben a 20. század elejétől a közepéig alakultak ki. Ezek címszavakban az alábbiak voltak:

- a fejtési (jövészeti) munkák gépesítése, ideértve a fúrást/robbantást is,
- feltalálták és folyamatosan fejlesztették a löttbeton-technológiát (anyagok, gépek),



- kialakultak, fejlődtek a kőzethorgonyzás megoldásai,
 - alkalmazni kezdték az acél (tömör vagy rácsos) ívtámokat a biztosításhoz.

Ezek a feltételek, a fejlesztési eredmények, vívmányok a kőzetek viselkedéséről gyűjtött tapasztalatokkal, tudós alagútépítő mérnök kollégák elméleti tudásával és megszerzett gyakorlati ismeretivel a múlt század derekára álltak össze az alagútépítés forradalmi megújulását eredményező építési módszerré.

Ladislaus von Rabcewicz 1948-ban nyújtotta be szabadalmát, amelyet 1949-ben el is fogadtak. A lényege, hogy egy ideiglenes, vékony falú biztosítás révén a mozgások, deformációk megengedése útján leépítjük a kőzetnyomást, és a terhelést átviszszük a környező kőzetre. A végleges biztosítás ilyen módon kisebb terheket kap. Az alakváltozásokat mérésekkel követjük, és ezek eredményeit a statikai bizonyításokba is beemeljük. Az akkori szabadalmi leírásban néhány cm nagyságrendet említettek.

A NÖT mai indoklásai alapvetően filozófiai természetűek, de - mert részben egymással is ellentmondásban vannak - nem foghatók fel egységes egészként.

Leopold Müller professzor a „Der Felsbau” című könyvének a 3., „Tunnelbau” című kötetében (1978) 21 pontban fogalmazta meg ezeket az alapelveket, amelyeket rövidített (távíratí stílusú) változatban teszek közkincsé az alábbiakban.

Alapelvek

1. Az alagútszerkezet lényegi teherviselő eleme maga az üreget körülvevő KŐZET.
2. Annak érdekében, hogy a kőzet az üreg létesítése során keletkező anyag- és fe-

szültségátrendeződéseket el tudja viselni, olyan állapotban kell hagynunk, amelyben az eredeti kőzetszilárdságát nem (vagy csak szűk határok között) veszíti el.

3. Mivel a kőzet a deformációkat rosszabul viseli el, mint a többletterheket, különösen kerülni kell az egy- és két-tengelyű feszültségi állapotokat, még átmenetileg is.
4. A kőzet alakváltozásait meg kell engednünk olyan mértékig, hogy a létesített üreg környezetében hasznos alakváltozói ellenállások ébredjenek, ezáltal egy olyan tartógyűrűt kell létrehozunk, amely az üreget védőzónaként veszi körül. A deformációkat olyan mértékűre kell korlátoznunk, hogy fellazulások ne keletkezzenek, a kőzetből kialakult boltozat teherviselő képességét meg tudjuk őrizni.
5. Az ideiglenes biztosítás funkciója nem az, hogy a kőzetet megtartsa (ahogy ezt a klasszikus alagútépítési módszerek alkalmazásakor az ácsoltattól elvártuk), hanem az, hogy a kőzetet teherbíró állapotban tartsa, vagyis az állékonysága elvesztésétől megóvja.
6. Hogy ennek a célnak optimálisan megfeleljünk, a megtámasztást a megfelelő időben sem túl korán, sem túl későn kell beépítenünk és hattatnunk. Olyan megtámasztó hatást kell elérnünk, amely csak a kőzethez lezajlott deformáció útján valósulhat meg. A biztosító szerkezet ellenállása segítse elő a védőzóna, a teherviselő boltozat létrejöttét, de előzze meg a kőzetek káros deformációt.
7. Ennek érdekében a kőzetre vonatkozó specifikus időtényezőt kell figyelembe vennünk. Ennek a meghatározásához érteni, értelmezni kell tudni a kőzetet.

8. Megelőző vizsgálatokat, kísérleteket kell végeznünk, majd az alagúthajtás folyamán is mérni kell az elmozdulásokat és a deformációkat.

9. A kőzet biztosítására, a kedvező felületi hatásért, az erőátadás és az időzithetőség érdekében általában lőtt betont használunk, horgonyokkal, betonacél hálókkel, ívtámokkal. Ezek a szerkezeti elemek nem a kőzetet alátámasztó boltozatként működnek, hanem betonból, acélból és kőzetből álló, együtt dolgozó szerkezetet (tartógyűrűt) alkotva fejtik ki hatásukat.
10. A lőtt betonnal biztosítást vékony, hajlékony, lágú héjként kell kialakítanunk, mert a benne keletkező hajlító feszültségeket csak alárendelt nagyságrendben vesszük figyelembe. A héjnak a plasztikus, illetve folyásra hajlamos viselkedése hozza létre a reakciókat keletkeztető alakváltozásokat a héjnak a plasztikus viselkedése révén, melyet egy ennek megfelelő összetételű lőttbetonnal érhetünk el.

11. Alapvető felfogásunk szerint a föld alatti üreget egy vastag falú csőként értelmezzük. Ennek megfelelően fontos szempont a megfelelő időpontban történő gyűrűzárás. Olyan időpontban kell ezt létrehozunk, amikor a cső teherviselő funkcióját igénybe akarjuk venni.
12. Az ideiglenes biztosítás a végleges teherviselő szerkezet részének tekinthető, amennyiben a korrózió általi tönkremenetelnek nincs kitéve, ill. amennyiben annak a hatásaitól megvédtük.
13. A biztosítás fontos tényezője a gyűrűzárás idő. Geotechnikailag nehezen

értelmezhető esetekben ezt a paramétert az építést megelőző kísérletekkel kell meghatározni, majd az építés során a folyamatos monitoring útján ellenőrizni, karbantartani.

14. Az alagút formája – mert csőként értelmezzük – legyen kerek, kör alakú vagy ovális. Kerülni kell az olyan formákat, keresztmetszeti elrendezéseket, amelyek feszültségkoncentrációhoz vezetnek (például boltválcsegelyék, gyámalapok alkalmazását).
15. Különös figyelmet kell szentelnünk az építés közbeni, közties állapotoknak is. A fejtési és biztosítási munkákat a lehető legkevesebb közbenső stádiummal kell elérnünk. Előnyös a teljes szelvényű fejtés, kevés számú részfejtéssel, helyette inkább lelépcsőzött fejtési homlokkal.
16. A biztonság fokozása érdekében egy második, belső héjat is szoktunk tervezni. Ezt is lehetőleg vékonyra tervezzük, hogy a hajlítási feszültségeket alacsonyan tartsuk. Arról is gondoskodnunk kell, hogy a két héj között megfelelő erőátadás legyen biztosítva, de ezt nem súrlódási, illetve nyíróerő átadása útján valósítjuk meg.
17. Mind a belső, mind a külső héjak erősítését nem a szerkezetek vastagságának a növelésével, hanem a héjak vasalásának az erősítésével érjük el. A beépítésre kerülő ívtámok is vasszerelésként működnek, erősítik a szerkezetet. A horgonyok mennyiségének, hosszának a megnövelésével, azaz a kőzetgyűrű erősítésével (vasalásával) is elérhető a szerkezet erősítése.
18. A teljes szerkezet állékonyságát, stabilitását és biztonságát az alagútban és környezetében végzett konvergencia- és elmozdulásmérések alapján kell megítélnünk. Ezek a mérések olyan eredményt is hozhatnak, hogy a szerkezetet túlméreteztük, a szerkezeti méretek, a biztosítási intézkedések csökkenthetők, visszavehetők.
19. A biztosítás méretezéséhez betonfeszültségeket és kontaktfeszültségeket (a biztosítás és a kőzet között) kell mérnünk. Ezek a mérési eredmények a soron következő alagútszakaszok paraméterezését is szolgálják. A gyakorlatban a különböző kőzetekre megfelelő számú, ún. profiltípust irányozunk elő, és a deformációmérések eredményei alapján választjuk ki a megfele-

A módszerrel elismerést szerezhattunk a magyar szakembereknek.



lőt. A profiltípus definiálja az építők számára a fejtés és a biztosítás valamennyi adatát, paramétereit.

20. A belső héj méretezése attól függ, milyen teherbíró szerepet várunk el az ideiglenes biztosítástól. Ha a külső héjat olyan erősre méretezzük, hogy általa a teljes rendszer stabilitása garantálható, akkor a belső héj teherbírása mindössze egy pótlólagos tartalék. Amennyiben a külső héj teherbírására nem számíthatunk, akkor a belső héjat olyan módon kell méretezni, hogy önmagában is meg tudja felelni a teherviselési feladatainak.

21. A kőzetkörnyezetből a belső héjra ható külső víznyomás és áramlási nyomás hatásait drénezéssel, lecsövezéssel védhetjük ki.

A fenti követelmények már a klasszikus alagútépítések korában is ismertek voltak, alkalmazták őket. Ez nem csökkenti a NÖT, angolul NATM, az ITA/AITES aktuális szóhasználatra szerint a konvencionális alagútépítési módszer jelentőségét. A klasszikus alagútépítési eljárások továbbfejlesztése révén számos olyan építési módot fejlesztettek ki, amelyek a löttbeton és a horgonyzás alkalmazásával történő biztosításokat alkalmazzák, de amelyeket nem feltétlenül sorolunk a NÖT fogalomkörébe, jó esetben annak valamiféle leágazásának tekinthetjük. Szóhasználatban, fogalom meghatározásban, technológiai részletekben, végül is filozófiai megközelítésben is nagy a változatosság. (Kritikai megjegyzések is előfordultak, egészen a NÖT gondolatépítményének a cáfolatáig.)

Ajánlható munkamódszer

A NÖT eljárásának a szabadalmát elfogadták. Az elnevezés Ausztrián belül, de a világban is még mindig alakulóban van, ebben a szakmai alapú, tudományos megfontolásokon túl presztízsszokok, nemzeti büszkeség és üzletpolitikai szempontok is szerepet játszanak.

Az eredetileg az alpesi sziklaalagutak építésére kifejlesztett módszer az idők fo-

lyamán bevonult a városi alagútépítések területére is, üledékes talajviszonyok között is, és elterjedt az egész világon.

A 20. század utolsó évtizedeiben és a 21. század elején Németországban számos új vasútvonalat építettek. Évente több száz kilométer vasútvonalat terveztek, építettek, vettek üzembe. Ebben az időben a NÖT munkamódszere messzemenőig dominált ezeken a projekteken, de a közúti, köztük autópálya-alagutak területén és városi metrós projekteken is.

Egy magyar csapat (kezdetben KÉV-Met-ró, később Tu-Ti Bau Kft.) több tucat magyar mérnökkel (köztük bányamérnökkel, építőmérnökkel), számos robbantásvezetővel, robbantómesterrel és több száz magyar szakmunkással (vájárral, gépkezelővel, lakatossal, áccsal, vasszerelővel) mintegy 20 év alatt kb. 50 km alagút építésében vehetett részt Európa legigényesebb piacán, a legkompetensebb szakcégek alvállalkozójaként ezeken a munkákon, nem kis részben keszonban is. De építettünk alagutakat több km hosszban a Tel-Aviv és Jeruzsálem közötti vasútvonalon is. Ennek alapján bőséges referencijegyzékkel alátámasztva jelenthetjük ki, hogy a módszerrel keresztmetszeti méretek és elrendezések nagy választékát (8 m²-től 200 m²-ig); a legváltozatosabb kőzet-, ill. talajviszonyok (száiban álló sziklától az iszapos homokig) tudtuk kezelni, sikerrel, elismerést, megbecsülést szerezve a magyar szakembereknek.

A budapesti 4. metró vezértechnológiájaként a TBM-es alagúthajtást definiálták (mert ettől a technológiától lehetett a legnagyobb építési sebességet és a legnagyobb biztonságot elvárni), mégis a projekt legizgalmasabb pontjainál (Dunameder alatti alagúthajtás, süllyedésre érzékeny épületek melletti, alatti alagutak létesítése, TBM számára kezelhetetlen vonalvezetési és keresztmetszeti elrendezési megoldások, a 3. és 4. vonal közötti összekötő műtárgy létesítése stb. esetén) a NÖT nélkülözhetetlen volt. Kijelenthető, hogy a módszer alkalmazása nélkül a 4. metró nem valósulhatott volna meg.

Mindezek alapján bátran ajánlhatjuk a NÖT munkamódszerét a magyarországi közlekedésfejlesztés minden ágában, föld alatti terek létesítéséhez akár meghatározó vezértechnológiaként, akár egy TBM-es alagúthajtás – mint vezértechnológia – mellett is annak nélkülözhetetlen kiegészítő technológiájaként.