

A PRÁGAI FÖLDALATTI MÉRNÖK-GEOLÓGIAI PROBLÉMÁI^x

Prof. Menci, G. (Prága)

Prága szélesebb környezetét az u. n. Barrandien képezi. Így nevezzük a közép-csehországi Algonkiumot, és korai Paleozóikumot a francia J. Barrende (1799 -1881) paleontológus tiszteletére. Ez a tudós egész életét és működését ennek a területnek szentelte. Az erre vonatkozó nagyszabású és klasszikus műve vének címe: "Systeme silurien du centre de la Boheme" (Közép-Csehország sziluri rendszere).

Prága belvárosának és ezzel a földalatti vonalainak geológiai alapjában a Barrandien hegy rendszerének csak egyetlen tagja található: gyűrődéses rétegek, amelyek az ordoviciumhoz tartoznak.

A Barrandien ordoviciumi rétegcsoportjaiban szabályosan váltakoznak vastag agyagpala rétegcsoportok, kb. éppen olyan vastag homokos rétegcsoportokkal. A pelitikus és pszamitikus üledékeknek ez a váltakozása az orcoviumi tenger felületi mozgásaira utal, ahol ezek az üledékközetek lerakódtak. A hasonló lerakódási feltételek ismétlődése okozta, hogy a prágai sziklás alapkőzet ordoviciumi rétegeiben, és ilyen módon a földalatti vonalainak hosszában hasonló spektrográfiai jellegű és nagyon hasonló műszaki tulajdonságú kőzetek ismétlődnek.

Ezek a sekély tenger üledékközetei. Csak a tenger későbbi helyi mélyüléseit a szedimentációs medence fenekének süllyedésénél kísérte tenger alatti vulkáni tevékenység. Ennek során diabázok és tufák képződtek.

A Barrandien-kőzetek lerakódását csak a felső deven kezdetén szakította meg a herciniai vagy variszkuszi hegyképződés hosszantartó orogentikai folyamata. A deven tenger visszahúzódása után a terület átalakul szárazfölddé. Azok a rétegek, amelyekből a Barrandien összetevődik, erősen gyűrődtek, és

^x Elhangzott a MFT Mérnökgeológiai-Építésföldtani Szakosztálya 1970. IV. 22-én tartott ankétján.

herciniai hegységgé emelkedtek ki. Ezeket az orogenetikai folyamatokat mély vulkanizmus kísérte. Így képződött a Barrandiennel szomszédos közép-csehországi pluton. A herciniai hegység felemelkedése után középcsehországban egy eróziós ciklus kezdődött a hegység fokozatos szétrombolásánál a perm-karbon szomszédos üledékei keletkeztek. A felület-fokozatosan teljesen lepusztult, és azután már csak egyszer árasztotta el tenger, mégpedig a felső kréta kezdetén (a tenger előnyomulása a cenománban), és így keletkeztek a cseh kréatábla vízszintes rétegei.

Ezután a lepusztulás folytatódott, és így a korábbi terciérben, az oligocén kezdetén közép-csehországban teljesen lepusztult területet találunk.

A vízfolyások eróziós tevékenysége ismét felélénkült tektonikus mozgásokkal a terciérben. Ezek a vízfolyások kezdtek bevágódni a kréta-táblába. A vízfolyások további alakulására a cseh masszívum újabb évszázados emelkedése hat, amely alapjában véve mindmáig tart. A vízfolyások eróziós ereje fokozódott, és a folyók mélyen be tudtak vágódni a sziklás alapba. Így keletkezett Közép-Csehország mai domborzata, amely Prága környékén tipikus: egyrészt fennsík található, amelyek megfelelnek az oligocén lepusztult szintjének, másrészt mély kanyonokhoz hasonló völgyek fiatal geológiai jelleggel.

Ilyen jellegű a cseh nemzeti folyó, Közép-Csehország fő folyója a Vltava. Éppen úgy mint mellékfolyói, a Moldova sem vágódott be egyenletesen az oligocén fennsíkba. A cseh masszívum minden egyes felemelkedésénél a folyó fokozott eróziós tevékenysége jelentkezett. Az emelkedések megszakítása pedig üledékek lerakódásához, vagyis új akkumulációk keletkezéséhez vezetett. Így keletkeztek a pleisztocénben a Moldva völgyében a teraszok. A teraszok kialakulásához a jelentős klimaváltozások is hozzájárultak. Ezek a klimaváltozások a jégkorszakok és a közbenső korszakok időszakainak váltakozása következtében álltak elő, és nagy befolyást gyakoroltak a folyók vízmennyiségére, még ha a tulajdonképpeni terület nem is volt eljegesedve.

Az általunk leírt természeti jelenségek magyarázzák annak a területnek a geomorfológiai viszonyait, ahol a prágai földalattit építik. Ez az ún. prágai

völgykatlan, jellegzetes rész a Moldva folyó völgyében. A Moldva kanyonja Prága felett hirtelen kiszélesedik. Ennek a kiszélesedésnek oka a folyó meanderképződésénél fellépő oldalerózió volt. Így keletkezett a prágai völgykatlan, ami megfelelő hely volt a város alapítására. A prágai völgykatlan mögött a Moldva-völgy ismét összeszűkül és a folyó meredék partok között halad. A mély erózióknak és a lepusztulásnak elsősorban a kisebb szilárdságu kőzetek estek áldozatul, vagyis a kréta-tábla kevésbé szilárd homokkövei. A Moldva ágya kezdte magát a paleozóikumból származó alulfekvő üledékrétegekbe bevágni. Az ordoviciumi rétegsor kőzeteinek változatos összetétele és szilárdsága okozta, hogy a prágai völgykatlanban gyakran szelektív erózió jelenségei figyelhetők meg. A partokat csaknem mindenütt szilárdabb rétegsorok képezik. A prágai földalatti "A" vonalán a partokat az u. n. szilárd Letna-rétegek képezik. A földalatti vonalain jelentős képződmények még a folyóteraszok és a legalacsonyabb folyóterazon a szedimentációs ciklus végéről származó iszapos áradási üledékek.

A prágai földalatti vonalai egyrészt a sziklás alapon, vagyis ordoviciumi üledékekben, másrészt a felső, folyami üledékekben haladnak. Mielőtt leírnám a tipikus helyzeteket, amelyek ebből keletkeznek, elő kívánom adni a sziklás alap kőzeteinek műszakilag fontos tulajdonságait. Mint már említettem a Barrandieni ordoviciumi kőzetek keletkezésénél geosinklinális kifejlődéséről van szó. Ennél a fejlődésnél a szedimentációs medencébe törmelékes anyag került és rakódott le. Az üledékek jellege az egykori tenger váltakozó mélyülésével és sekélyesedésével változott.

A mély szedimentációs medencékben jelentkező szedimentációs feltételeknek monoton agyagpala rétegsorok felelnek meg. Az anyagok egy része idővel muszkovittá újra-kristályosodott. A partvonal közeledései után a hordalékos, de főképpen a homokos és adott esetben a kavicsos frakciók kerültek oda. Erre a durvaszemcsés hordalékos, főként kvarcból álló anyagra az ezt követő időszakban egy részleges ujrakristályosodási folyamat hatott. Egyes helyeken meg is szűnt az eredeti törmelékes homokkőszerkezet és egy egységes kvarcitszerkezet képződött.

Ezek az eltérő szedimentációs feltételek az ordovicium időszakában több ízben váltakoztak, és az orogentikai nyugtalanság következménye volt az egész rétegsor flis jellege. Megkülönböztethetünk tehát, függetlenül a rétegtani csoportosításuktól, hasonló keletkezési feltételekkel és azáltal hasonló petrográfiai összetétellel és hasonló műszaki tulajdonságokkal rendelkező kőzetcsoportokat. Ezek a kőzetcsoportok a következők:

- a) Kisebbfoku diagenetikus szilárdságu agyagpalák (u. n. Bohdanec-rétegek) vagy az agyag komponens magasabbfoku ujrakristályosodásával (u. n. Czernin- Liben- és Dobrotiva-rétegek).
- b) Az agyagostól törmelékesig terjedő palák (u. n. Sarka-rétegek), a törmelékestől finom homokosig terjedő palák (Chlustin-rétegek), a törmelékes, homokos és Grauwacke-palák (Letná-rétegek).
- c) A flis jellegű-rétegsorok homokkővel és kvarcittal (Skalec-, Drabová- és Kosov-rétegek).

A kőzetek mechanikai, azaz szilárdsági és deformációs tulajdonságainak vizsgálata és összehasonlítása kőzetfizikai módszerekkel történt. A kőzetek tulajdonságait laboratóriumi mintákkal vizsgálták, megvizsgálták a kőzet szerkezetét, és a nagy kőzettestek fizikai tulajdonságait is helyszíni vizsgálatokkal tanulmányozták.

Laboratóriumi minták kőzetszilárdsági vizsgálata azért fontos, mert egyike azon tényezőknél, amelyek a kőzetszilárdságot egészében véve meghatározzák. Ezen kívül közvetlenül fontos számos technológiailag fontos kőzettulajdonság megítélése szempontjából, mint pl. mennyire alkalmas a furásra vagy a nagy vágathajtó gépekkel való jövesztésre. A prágai szikla-alap kőzetei nagyjából az alábbi nyomószilárdsággal rendelkeznek:

- a) A legpuhább agyagpalák azok, amelyek a legalacsonyabb foku diagenetikus szilárdsággal rendelkeznek (Bohdanic-rétegek), nyomószilárdságuk kb. 10-20 kp/cm², a szilárdabb agyagpalák nyomószilárdsága 150-250 kp/cm².

- b) Az agyagostól törmelékesig terjedő paláknál (Sárka-rétegek) a nyomószilárdság kb. 200-400 kp/cm², a törmelékes paláknál/ Chlustin-rétegek/ kb. 400-600 kp/cm², a törmelékestől homókosig terjedő paláknál pedig (Letná-rétegek) kb. 800-1000 kp/cm².
- c) A kvarcitok átlagos szilárdsága kb. 1400-2000 kp/cm², tehát ezek egy kifejezett szilárd tagot képeznek a prágai sziklaalapon.

Ahogy látható a prágai sziklaalap egyes kőzeteinek szilárdsága erősen eltérő egymástól. Ez erősen bonyolítja a kőzetjövésztés megfelelő módszere kiválasztásának problémáját az alagutépítésnél. Különösen nehéz a vágathajtógép típusának megválasztása. Ezen felül az a tény is kedvezőtlen, hogy az eredetinel jelentkező törvényszerűségekkel kapcsolatban a puhább és keményebb rétegsorok a földalatti vonalainak hosszában ritmikusan ismétlődnek. A szilárdságjellemzők nemcsak a különböző rétegsorok, hanem a rétegsorokon belül az egyes rétegek között is különbözőek. A legszélsőségesebb szilárdságok az u. n. Drabov-rétegeknél fordulnak elő. Ezekben a rétegekben 1 m-es szakaszonként váltakozik a 2000 kp/cm² szilárdságú kvarcit, 150-250 kp/cm² szilárdságú pala, és 10 kp/cm² szilárdságú agyag.

A szilárdságon kívül a képlékenységi tulajdonságokat is vizsgálják. Tekintettel arra, hogy a kőzet az alagutüreg körül egy különleges szerkezetet képez, a kőzeteknél, éppen úgy, mint minden más építőanyagnál, fontos annak megállapítása, hogy csak ridegen törő anyagként viselkednek-e, vagy pedig számolhatnak-e bizonyos képlékeny tulajdonságokkal. Másrészt ezeknek a tulajdonságoknak a megkülönböztetése a vágathajtó gépek alkalmazási lehetőségeinek megítélése szempontjából is fontos, mert a korszerű marótárcsás gépek nagyon szilárd kőzetekben is képesek előrehaladni, de csak akkor, ha azok megfelelően ridegek. Ezeket a tulajdonságokat a Srejner-féle nyomóbélyegekkel állapítottuk meg. Ez a gyors laboratóriumi módszer jelenleg a legjobb módszer erre a célra. Ahogy várható volt, különösen az agyagpalák bizonyultak erősen képlékenyek, kevésbé képlékenyek voltak a keményebb kőzetek, különösen a kvarcitok.

A kőzet-tulajdonságok vizsgálatán kívül vizsgáltuk a kőzetszerkezet, mind pedig a szerkezeti szilárdság alakulását. Ilyen értelemben a prágai alap-kőzeteknél nemcsak a rétegződésük és palásodásuk, hanem egy tektonikus hatás is kedvezőtlennek bizonyult. A Barrandien-i ordoviciumi-kőzet egy posztszedi-menter tektonikus fejlődésen ment keresztül, amelyben a variszkuszi hegység kialakulása volt a legjelentősebb. A hegység kialakulása során intenzív gyűrődés következett be, de ezen kívül a különböző diszlokációs rendszerek hosszában töredezés is fellépett. Különösen fontos a nagy zavargási zóna, amit prágai törésvonalnak neveznek.

Ennek a prágai törésvonalnak a földalatti "A" vonalán való jelentkezését kb. ott tételezzük fel, ahol az erősen forgalmas "Prikopy" utca van. Feltételezzük, hogy itt az ordoviciumi medence északi része a medence középső részével szemben kb. 1000 m-rel lesüllyedt. Az eddigi nem tökéletes ismereteink szerint itt egy kb. 30 m vastag diszlokációs zóna várható, amelyet további kevésbé jelentős zavargások kísérnek. Egészében véve tehát itt egy 200 m hosszú szakasszal kell számolnunk, amelyben a kőzet intenzív tektonikus törése várható.

A kőzet tektonikus zavargásán kívül a probléma még bonyolultabbá válik azáltal, hogy egyáltalán lehetőség nyílik-e arra, hogy Prágában egy vágathajtó gépet alkalmazzanak. Ennek a gépnek ugyanis egyrészt a kvarcit rétegekben 2000 kp/cm² nyomószilárdságú kőzetet kellene jövesztenie, másrészt a prágai törésvonal környezetében a puhább agyagpalákban a vágatbiztosítás feladatát is el kellene látnia. A gépnek tehát egyrészt vágathajtógép-jellegűnek, másrészt azonban egy pajzsos gép jellegűnek kellene lennie.

További komplikáció a földalatti alagútjának a sziklaalapban való mélysége tekintetében hozandó döntésnél a külszin erős mállása, a sziklaalap mállott burkolata Prága középpontjában ami a pleisztocénben és holocénben képződött, egyrészt a hűvösebb jégkorszakokban, másrészt a melegebb interglaciális korszakokban. A hideg-klima idején főként mechanikus mállás fordult elő. A mechanikus mállás alatti mélyebb rétegekben a kémiai mállás befolyása hatott. A mállással megváltoznak a kőzet mechanikai tulajdonságai a mélység felől a külszin felé.

Nagyon érdekesek a helyszíni vizsgálatok eredményei, amelyekkel ellenőrizték a választott technológiát. A prágai sziklalapban végzett alagutfúrásnál, az u. n. gyűrűs módszert alkalmazzák. Ennek során csak az egyvágányos vonalalagut furásáról van szó, mert a jelenleg építés alatt álló "C" vonalon minden állomást nyitott építésmóddal építik. A gyűrűs módszernél a vonal-alagutat teljes profilban hajtják előre, és a jövesztett profilt azonnal a végleges burkolattal biztosítják. Ezt a burkolatot előregyártott elemekből szerelik össze. Egyes esetekben öntöttvas-tübingeket alkalmaznak, más esetekben pedig előregyártott vasbetonrészeket. A burkolat szerelését gyűrűként hajtják végre, mégpedig egy szerelődaru (erektor) segítségével.

A gyűrűs építésmódnál az alábbi problémák merülnek fel:

- 1) Megbizunk a mintegy 5 m magas homlokfal természetes stabilitásában.
- 2) A homlokfal és az első beépített gyűrű közötti teljes lejövesztett terület biztosítás nélkül marad. Ennek a biztosítatlan felületnek még a legkisebb stabilitású kőzetekben is nagyobbak kell lennie, mint az egyes gyűrűk szélessége. Ez a szélesség öntöttvas-tübingeknél 100 cm.
- 3) A lefejtett felületnek lehetőség szerint simának kell lennie. Erre a célra kialakították a sima robbantásos módszert. Ennek a módszernek az alkalmazása nehézségekbe ütközik a palásodás, repedezettség és gyűrődés következtében.
- 4) A földalatti alagutjának a beépített külszin alatti viszonylag csekély mélységű helyzete arra kényszerít, hogy az alagutfurási munkákat csekély rezgési hatással hajtjuk végre, és a külszin süllyedését lehetőleg korlátozzuk.

A problémákat kísérleti robbantásokkal vizsgáltuk. Ezeket a vonal tipikus helyein hajtottuk végre. A legérdekesebb felismerésekként a kísérleti alaguthajtásnál azokat tekintem, amelyek az alagutfurás feletti fellazult zóna terjedelmének a méréseire vonatkoznak.

A méréseket egy furólyukháló segítségével hajtottuk végre. A furólyukakat a külszinről furtuk, és azok a még nem kihajtott alagut főtéjéig hatoltak. A furólyukakba szereltük be a horgonyokat, amelyeket a furólyukfalakon feszítettünk ki. Ezután következett a kísérleti alaguthajtás. A jövesztett felület feletti fedőrétegek egy részének a fellazulásánál a horgonyok függőlegesen eltolódtak, és az eltolódásokat egy acélhurral vittük át a külszinen lévő mérőberendezésekhez. A külszin pontos szintezésével együtt ezek a kísérletek lehetővé tették a lazulási zóna magasságának meghatározását, mégpedig különböző tényezők, többek között az alagut nem burkolt szakaszainak hossza függvényében.

A következőkben néhány tipikus geológiai helyzetet kívánok bemutatni, amelyekben a prágai földalattit építik.

Jelenleg építés alatt áll a prágai földalatti u. n. "C" vonalának egy része. A mélységi helyzetét jelentősen befolyásolja az eredeti, de ma már végleg elutasított kéregvasut-elgondolás. Az első vonalszakaszt a főpályaudvar- és muzeum-megálló között nyitottan építették, mégpedig résfalak segítségével.

A muzeum-megálló mögötti szakaszt a gyűrűs építésmóddal a sziklás alapon alagutfurással hajtották végre, mégpedig öntöttvas-tübingburkolattal. A sziklás alapon zavargásos zónák vannak, és a kőzet erősen tektonizált. A talajvíz felszine összefüggő tükröt képez a teraszos üledékek alapján, és helyenként a víz beszivárog a sziklás alap mállott rétegeibe. A víz átáramlik a sziklás alap repedéseiben, és zavargásos zónáin is. Ez a víz gyakran erősen ásványos. Egyes ordoviciumi rétegsorban ugyanis finom szemcsés pirit van szétosztva jelen. Ez a pirit az időjárás hatására könnyen felbomlik vízhidroxiddá és szulfátokká. A szulfátok a réteg- és repedésfelületeken bevonatot képeznek, amit az áramló talajvíz felold, és amitől ásványossá válik.

A további szakaszban a vonal alagutak viszonylag kis mélységben haladnak, azonban a viszonylag szilárd Letná rétegekben hajtják ki azokat.

A Botic patak kb. 50 m mély völgye felett a vonal egy hidon halad át. A további szakaszban a csekély mélységű vonal a folyó terrasza laza üledékein halad át, és az alagut-furási munkákat egy kézi pajzs segítségével végzik. A vonal további részei az elővárosokon haladnak át, és a mi szempontunkból nem túl érdekesek.

Sokkal érdekesebb az ez idő szerint előkészítés alatt álló "A" vonal geológiai helyzete. A hossz metszete egyúttal Prága belső kerületein keresztül végzett jellegzetes geológiai metszet. Ha azt mondom, hogy a geológiai feltételek érdekesek, úgy természetesen az alagutépítésnél fellépő nehéz feltételeket értem.

Az "A" vonalat a Királyi Szőlők elnevezésű városrészből az újvárosra és az óvárosra keresztül Letná körzetében és tovább a Dejvice elővárosba vezetik. A vonalnak tehát Prága központi területéről, a prágai medence völgy szintjéről magasabban fekvő folyami terraszkra a Királyi Szőlők irányába kell felemelkednie. Az ellenkező irányban még egy akadályt is le kell küzdenie, mégpedig a Letná-i hegyet. Ez a hegy a prágai medence fölé nyúlik a szelektív erózió hatására, aminek a viszonylag szilárd Letná palák ellenálltak.

Az így keletkezett magasságkülönbség már önmagában is komplikálja a vonal magassági vonalvezetését. További komplikáció keletkezik azonban a vonal mély fekvésének hatására a prágai medence felszine alatt.

Az eredeti elképzelés az volt, hogy a vonal az óváros és az újváros alatt sekély mélységben fog haladni. A vonal alagutakat és az állomásokat nyitott építőgödörben kívánták építeni. Itt korábban a berlini építési móddal számoltak. Ez után a résfalas építésmód alkalmazásáról gondolkodtak. Ezzel a módszerrel akarták a prágai földalatti vonalalagutjait és állomásait építeni.

Ezeket az alagutakat a külszín alatt max. 15 m mélységben kívánták vezetni, hogy ne nyuljanak bele a sziklás alapkőzetbe. Ezzel egy súlyos probléma adódott. A Moldva völgyterrasza homokos kavicsból áll, magasabb

homokrégekkel és homokos beágyazásokkal. A völgyterasz felületén holocén eredetű fiatal lerakódások találhatók. A már régóta lakott ó-városban ezek a lerakódások váltakoznak művelt talajjal, homokkal és feltöltésekkel. A Moldva alacsony partjai ugyanis nem nyújtottak védelmet az árvizek ellen és a város lakói igyekeztek a település magassági szintjét feltöltések segítségével megemelni. Az ó-városban a feltöltések magassága 6-7 m-t ér el. Ezenkívül a talajvíz a homokos kavicsban egy összefüggő tükröt képez és párhuzamosan áramlik a Moldva folyóval. A Moldva vize ugyanis ezáltal lerövidíti az útját mégpedig ott, ahol a Moldva nagy ívben megkerüli az ó-várost. A talajvizet ebben az áramlásában a vízfelületek magasság-különbsége támogatja, ami a Moldva zsilipek hatására jön létre. Ezek a zsilipek duzzasztják a folyóvizet és hozzájárulnak a prágai Hradsin pompás panorámájához a Moldván keresztül.

A vonal sekély fekvése a leírt geológiai feltételek mellett veszélyeztette az ó-város sűrű és történelmileg különösen értékes beépítését.

Az ez idő szerint még összes részleteiben nem tökéletesen kidolgozott jelenlegi végleges megoldás az "A" vonal mély vezetésével számol ezeken a helyeken. A vonal alagútjának mélysége több 10 méter mélyen lesz a külszín alatt és az alagutakat a sziklás alapkőzetben fogják vezetni. Az alagútépítés módját ez idő szerint még nem határozták meg véglegesen, mert a geológiai vizsgálat még nincs befejezve. Ez a mélyen történő vezetés is komoly problémákat vet fel. Az első probléma az ordoviciumi kőzetek már leírt tulajdonsága. A második probléma abban áll, hogy vigyázni kell az értékes történelmi épületekre, amelyek alatt az alagutakat vezetik.

Minden családnak meg van a maga életében a maga sajátos problémája. Ugyanigy az alagútépítés nagy családja is számos problémával küzd meg, amikor egy földalatti vasutat építenek egy nagy városban. A prágai földalatti vasút építésének mérnöki-geológiai jellegzetességeit igyekeztem megmagyarázni.