

Magyarország XXI. századi felszín alatti létesítményei

Hungary's 21st century underground facilities

GRABARITS József, okl. építőmérnök

UNITEF'83 Zrt., Budapest, Bornemissza tér 12., tel.:
+36 1 205 6330, fax: +36 1 205 6325, unitef@unitef.hu, www.unitef.hu

Abstract

This article gives a sort overview of the major road tunnels planned in Hungary in the last almost two decades, such as the M6 tunnel chain which is already in operation, the M85 tunnel pair currently under construction, the M0 expressway tunnel pairs, which already have the building permission. The underground facilities presented were all designed using the so-called New Austrian Tunnelling Method (NATM), where the geological medium for the structures was either soft rock (cohesive soils) or medium to hard rock (sandstone, limestone, dolomite and granite)

Keywords: tunnelling, road tunnel, hard and medium rock, cohesive soil, NATM,

Kivonat

Jelen cikk az elmúlt közel két évtizedben Magyarországon tervezett jelentősebb közúti alagutakat, úgymint az üzemelő M6 alagútláncot, a kivitelezés alatt lévő M85 és az építési engedéllyel rendelkező M0 gyorsforgalmi utak alagútpárjait mutatja be kivonatosan. A bemutatásra kerülő felszín alatti létesítmények tervezése mindegyike az úgynevezett új osztrák alagútépítési eljárással (NÖT, angol rövidítéssel: NATM) történt, ahol a műtárgyakat befogadó földtani közeg hol puha kőzet (kohéziós talajok), hol közepes, vagy kemény kőzet (homokkő, mészkő, dolomit és gránit) volt.

Kulcsszavak: alagútépítés, közúti alagút, kemény és közepes kőzet, kohéziós talaj, NATM,

1 BEVEZETÉS

Magyarországon a ma is üzemben lévő alagutak létesítése a XIX. század második felében indult el. Elsőként Budapesten a városi utat átvezető Várhegyi alagút épült meg 1853 és 1857 között. Ezt követte néhány éven belül a Kis-Gellérthegy – Budapest Déli pályaudvar – vasúti alagút megnyitása. Az 1895. és 1911. évek között további 8 rövidebb (96 m) és hosszabb (780 m) vasúti alagút létesült. További vasúti alagutak épültek 1970-es években (Abaligeti I, II és III), majd az évezred elején megépült az ország legfiatalabb vasúti alagútja a magyar-szlovén határon.

Míg a XX. században döntően csak nagyvasúti és városi vasúti alagutak, metróvonalak létesültek Magyarországon, a XXI. században már közúti alagutak és egyéb más felszín alatti létesítmények tervezése és kivitelezése is megindult. Ilyenek az üzemelő M6 alagútlánca, a kivitelezés alatt lévő M85 autópálya alagútja és az építési engedéllyel rendelkező M0 autópálya alagútpárjai, amelyeket kivonatosan az alábbiakban ismertetek. A bemutatásra kerülő alagutak és felszín alatti létesítmények tervezése és kivitelezése az úgynevezett új osztrák alagútépítési eljárással (NÖT, angol rövidítéssel: NATM) történt, ahol a földtani közeg puha kőzet (kohéziós talajok), illetve közepes, vagy keményebb kőzet (homokkő, mészkő, dolomit és gránit).

2 AZ ÜZEMELŐ M6 AUTÓPÁLYA ALAGÚTLÁNCA

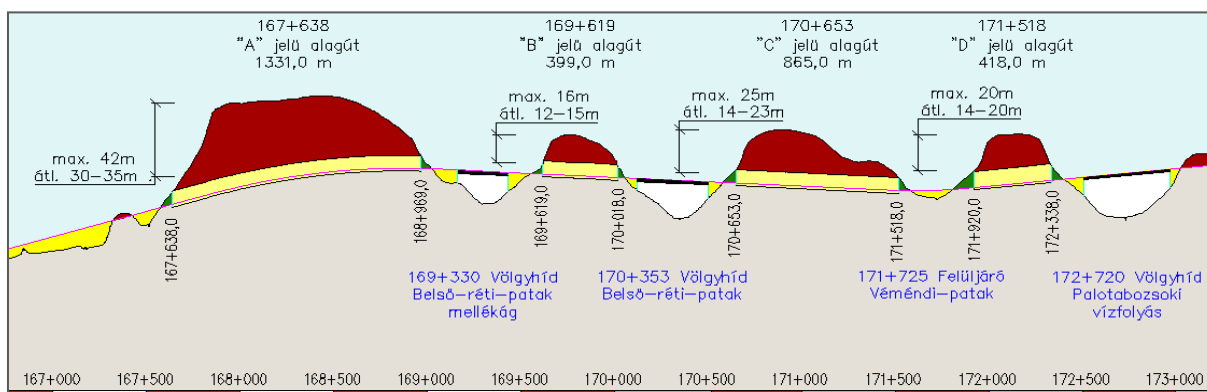
2.1 Projekt leírása

Az M6 autópálya Budapestről indul és déli irányba, Horvátország felé halad az országhatárig. Az M6 öt szakaszban valósult meg, az első négy szakasz 2004 és 2010 között készült el. Az utolsó szakasz, az országhatár előtti kb. 20 km-es szakasz most épül.

A 2008-2010 között megépülő Szekszárd - Bóly közötti 78 km hosszú negyedik szakasz a Mecsek lábánál elhelyezkedő, északnyugat-délkelet irányultságú Geresdi dombság lösz dombvonulatai között halad. Az autópálya forgalmi igényeit kielégítő és a vonalvezetés műszaki követelményeinek megfelelő hagyományos – alagutak nélküli - nyomvonallalvezetés négy hosszabb, 26-50 m mély bevágás, és a dombok közötti völgyekben hosszú hidak, viaduktok létesítését igényelte volna, és a mélybevágásokból kitermelt földmennyiség 7 millió m³ földfelesleget eredményezett volna. Az alternatív nyomvonalak vizsgálata után az építendő magyar állam a környezet-, táj- és élővilág védelmi előnyöket előtérbe helyezve, valamint a biodiverzitás megőrzése mellett gazdaságossági szempontokat is mérlegelve azt a nyomvonalat választotta ki, amely 4 alagútból álló alagútlánc építését tartalmazta. Ezzel a nyomvonalváltással jelentősen csökkenthető volt a földmunka mennyisége és a terület kisajátítás igénye.



1. ábra: Alagútlánc helyszínrajza



2. ábra: Alagútlánc hossz-szelvénye

2.2 Az alagútlánc műszaki paraméterei

Az alagútlánc alagútpárjainak tervezett hossza 1331 m („A” jelű), 399 m („B” jelű), 865 m („C” jelű) és 418 m („D” jelű). A járatok közötti tengelytávolság 24 m. Az „A” jelű alagút maximális takarása kb. 40 m, átlagos takarása 30-35 m. A „B”, „C” és a „D” jelű alagutak maximális takarása kb. 25 m, az átlagos takarás 17-22 m. Az „A” jelű alagútban három vészátjáró és egy leállóöböl, a „C” jelű alagútban két vészátjáró létesült.

Az átvezetendő autópálya forgalmi igényeinek megfelelő és az alagútba beépítendő vezetékek, szellőztető rendszer, jelzőrendszerek, közlekedési táblák, stb. elhelyezését is biztosító alagút egy alagútjáratának nettó keresztmetszeti mérete 68,2 m². A forgalmi ürszelvény járatonként két forgalmi sávot tartalmaz, amelyek szélessége 3,5 m, az ürszelvény magassága 5,0 m, korlátlan használatú. Az útpálya szélessége 8,0 m, oldalesése 2,5-3,0 %. A kezelőjárda, menekülő járda szélessége 0,75 m, a kiemelt szegély magassága 0,25 m.

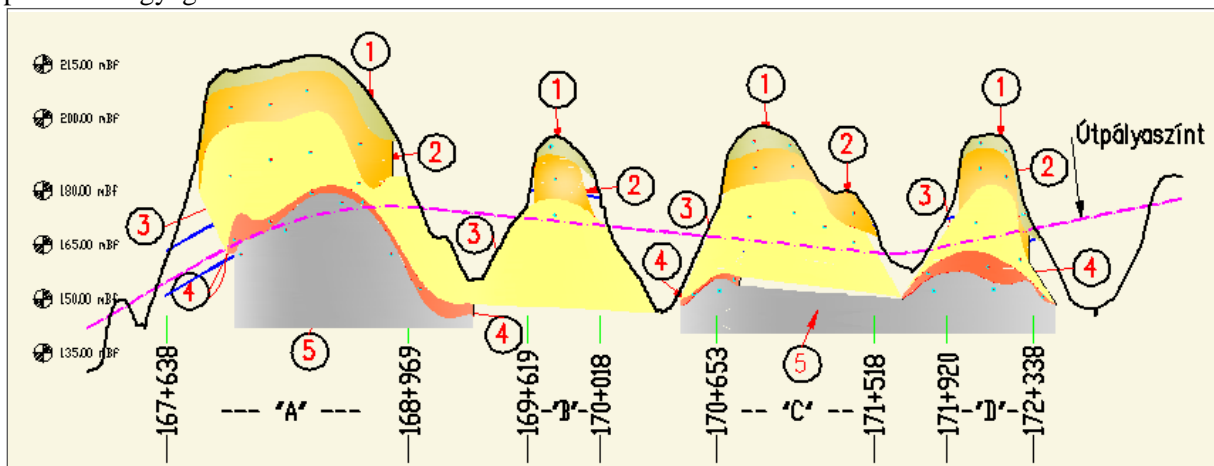
2.3 Alagútjáratok szerkezeti kialakítása

Az alagútjáratok létesítése az úgynevezett új osztrák alagútépítési módszer – NATM – elvei alapján valósult meg, került megtervezése és kivitelezésre a vonatkozó magyarországi műszaki előírások betartásával, illetve nemzetközi (osztrák, német, svájci) előírások figyelembevételével.

Az alagutak eleje és vége egy-egy rövidebb hosszúságú szakaszon, azaz a portálszakaszokon nyitott építési módszerrel, a portálok közötti hosszabb szakaszok pedig zárt építési módszerrel készültek. A zárt építésű alagútjáratok elsődleges megtámasztását a vasalással erősített és horgonyzással kiegészített lövelltbetonos alagútbiztosítás adta, amely védelme alatt készült el a végleges alagútfalazat monolit vasbetonból. Az alagútjárat víz elleni védelmét a két falazat közé elhelyezett műanyag alapú alagútszigetelés biztosítja.

2.4 Geológia és talajfizikai paraméterek

Az alagutak környezetében túlnyomóan áthalmazott pleisztocén lösz és löszös agyag, majd pannon (pliocén) agyag rétegek települtek, jellemzően vízszintes rétegződésben. A többször áthalmazott rétegsorokat az alagutanként készült geotechnikai szakvélemény öt karakterisztikus földtörténeti kor-réteggel jellemezte. Ezek a földtörténeti korok a fiatal pleisztocén ①, a középső pleisztocén kori iszapos homokliszt, illetve sovány és közepes agyagok ②, alsó pleisztocén kori iszapos homokliszt, illetve sovány és közepes agyagok ③, az alsó pleisztocén kori közepes és kövér agyag ④, valamint a felső pannóniai agyag ⑤.



3. ábra: Az alagútlánc geológiai hossz-szelvénye

Az iszap, iszapos homokliszt, illetve sovány és közepes agyag üledékes kőzetek, összefoglaló néven lösznek nevezett kötött rétegek közepesen kohéziósak, súrlódási szögük 19-29 ° közötti, míg a kohéziójuk 60–100 kPa között változott. A mélyebben fekvő alsó pleisztocén közepes, illetve kövér vörös agyag és a felső pannóniai agyag súrlódási szöge 0-14 °, kohéziója 200–230 kPa között került felvételre. A harántolt rétegek összenyomódási modulusai a mélységgel változtak, értékeiket a felkeményedő anyagmodell (HS) figyelembevételével, a terhelés-újraterhelés viszonyszám megadásával határozták meg, amely szerint az E_s értéke 10–30 MPa, míg a felkeményedési viszonyszám 3,5-5,0 között mozgott.

A fenti geológiai szelvényen látható, hogy az „A” jelű alagút középső harmada az alsó pleisztocén és felső pannóniai kövér agyag réteget harántolja, míg az alagút első és utolsó harmada, illetve a további három alagút teljes mértékben az ún. lösz rétegekben halad.

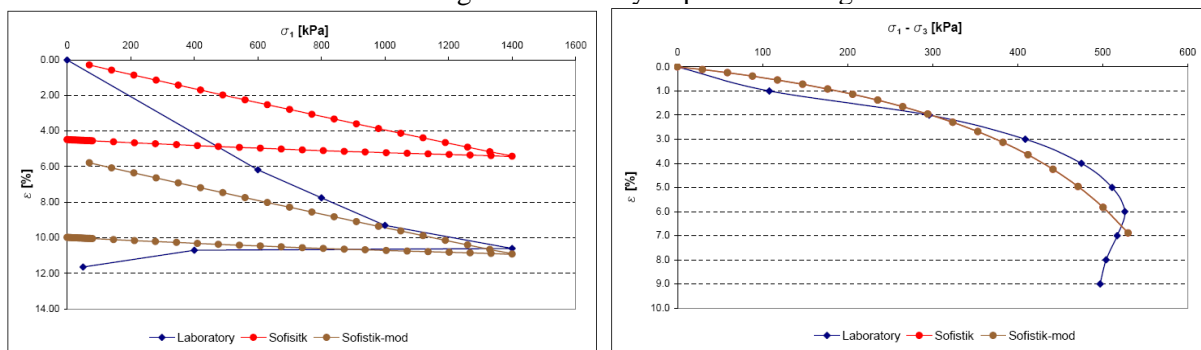
A geotechnikai szakvélemény az „A” jelű alagút második negyedében, az alsó pleisztocén kövér agyag (④) felett, illetve magában a rétegben, az alagút magasságában rétegvizek megjelenését jelezte elő.

2.5 Elsődleges biztosítás geotechnikai méretezése

Az alagútszelvények geotechnikai méretezése a fenti öt földtörténeti kor-réteg kőzetviselkedésének meghatározása után analitikus és numerikus módszerrel történt. Az ideiglenes biztosítás közelítő analitikus számítása a Panet szerinti kőzet/biztosítás jelleggörbe (Convergence-Confinement Method / Ground Characteristic Curve-GCC) eljárás segítségével történt. Az analitikus

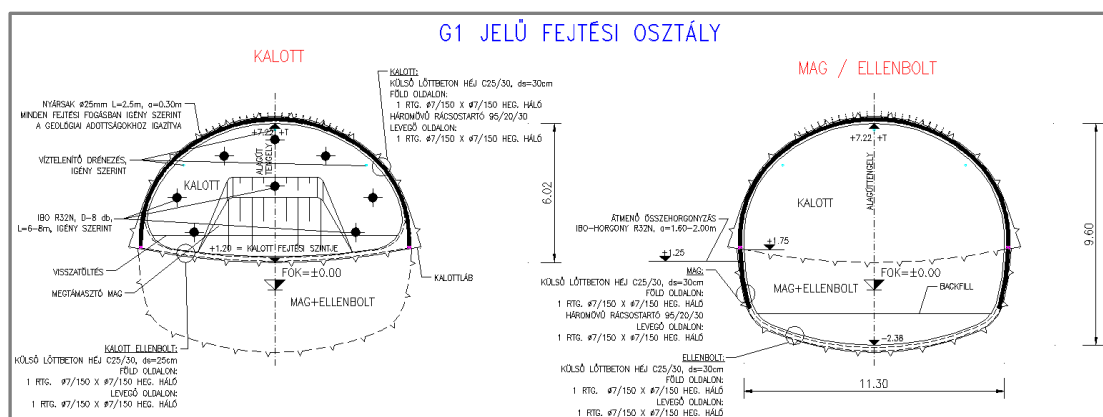
számítás egy széles tartományt lefedve készült el, amely 10 m-től 50 m-ig terjedő takarást, 40 Mpa - 250 MPa közötti E-modulust és 50 kPa-tól 400 kPa-ig terjedő kohéziót vett figyelembe. A talajfizikai paraméterek tartományának kiszélesítésével 8 db fejtési és biztosítási osztály került meghatározásra A-H terjedő jelöléssel, amely lefedte a vártnál jobb („A”, „B” fejtési osztályok) és rosszabb („G” és „H” fejtési osztályok) geológiai viszonyokat, és ezek észlelése, rögzítése esetén kerültek volna alkalmazásra. A közelítő módszerrel meghatározott sugárirányú alakváltozások egy-két centimétertől 20-30 cm-ig terjedtek, míg a sugárirányú peremterhelés 40-260 kPa között mozogtak.

Az analitikus módszerrel meghatározott fejtési és biztosítási osztályokat numerikus számításokkal pontosítottuk és véglegesítettük. A numerikus vizsgálat kiterjedt az agygréteg esetleges duzzadásának a vizsgálatára is. Az alagútszelvények numerikus vizsgálatai felkeményedő anyagmodell alkalmazásával készültek, az ideiglenes biztosítást és a végleges alagútfalazatot egy modellben vizsgálta, és a számított igénybevételek alapján elkészültek azok keresztmetszeti méretezései is. A numerikus vizsgálatokhoz a különböző föltörténeti kor-rétegre vonatkozó, fentiekben ismertetett talajfizikai paramétereket a triaxiális és ödométer tesztek modellezésével kalibráltuk, amely során a triaxiális és ödométer tesztek laborvizsgálati eredményeit próbáltuk meg rekonstruálni.



4. ábra: Talajfizikai paraméterek kalibrálása triaxiális és ödométer vizsgálatok modellezésével

Az analitikus és numerikus módszerrel végzett vizsgálat eredményeként a folyó alagútszelvényhez nyolc fejtési és biztosítási osztályt (A-H), és a leállóöböl szelvényhez egy fejtési és biztosítási osztályt (DB) határoztunk meg, amely a takarás, a kohézió és az E-modulusának függvényében egy mátrix táblázatot adtak. A kivitelezés során e mátrix és a helyszínen mért talajfizikai jellemzők és takarás függvényében kellett az alkalmazott fejtési és biztosítási osztály helyességét a naponta végzett értékeléssel igazolni, illetve szükség esetén módosítani, változtatni. Alábbiakban a leggyakrabban alkalmazott fejtési és biztosítási osztályt mutatjuk be. A fejtési szelvény mérete közel 100 m².



5. ábra: Folyóalagút tipikus fejtési és biztosítási osztálya

2.6 Alagútjáratok elsődleges biztosítása

Az NATM alagútépítési módszer a legkülönbözőbb kőzet környezetben (köztük laza, üledékes talajok), terepviszonyok, városi beépítettség mellett is sikeresen alkalmazható. Ez az eljárás az alagútszerkezet alapvető teherviselő elemének magát az alagutat körülvevő kőzetet tekinti. Ezt

figyelembe véve az alagútjáratok ideiglenes biztosítását általánosságban acél támívekkel és egy vagy kettős betonacél hálóvasalással erősített, egy vagy két rétegben felhordott, 10-35 cm vastagságú C25/30, vagy C30/37 (SpC 25/30(28)/II/J2/XC1/GK8) minőségű lövellt beton „héjszerkezet” adja, egyedi vagy raszterben beépített horgonyokkal kombinálva. A lövellt beton biztosításnak „csak” a ráható terhek, földnyomások viselését kell biztosítani, adott biztonsági szint mellett. A lövellt beton biztosítással, mint ideiglenes szerkezettel szemben tartóssági követelményeket, úgymint korrózióvédelem, repedéstágasság nem támasztottunk.

2.7 Az alagútjáratok végleges alagútfalazata

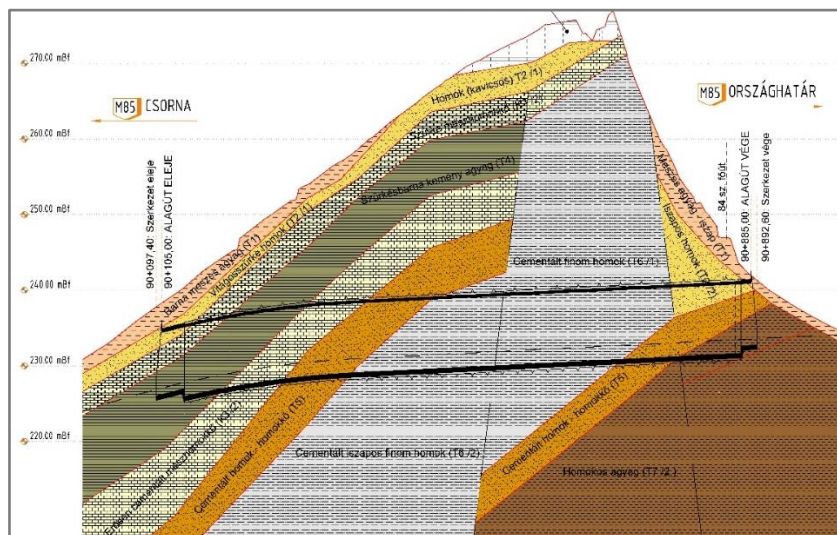
A zárt építésű alagútjárat végleges tartószerkezete az alagútfalazat az elsődleges lövellt betonos biztosítás védelme alatt, az arra rögzített alagútszigetelésen belül készült, amely 35 cm vastag C30/37–XF2–24–F4 minőségű, kettős betonacélhálóval vasalt, tűz-, só- és fagyálló, helyszínen készült vasbeton boltívből és a hozzá átmenő vasalással nyomatékbíróan csatlakozó 60 cm vastagságú, azonos minőségű, helyszínen készült C30/37 vízzáró vasbeton ellenboltozatból áll, mely szintén kettős hálóvasalással készült.

A nyitott építésű alagútjárat végleges alagútfalazata az előbevégek tömörített földmunka tükre megépült, 65 cm vastag, C30/37–XA1–XV2(H)–32–F3 minőségű vízzáró betonból készült vasbeton alaplemezből és a nyomatékbíróan csatlakozó 50 cm vastag, C30/37 betonminőségű tűz-, fagy- és sóálló vasbeton boltozatból áll.

Az alagút falazatának belső felülete a járdaszint feletti 5 méteres magasságig sókorrózió elleni bevonatot, valamint fényvisszaverő festést kapott. A festés a falazat könnyebb tisztíthatóságát szolgálja, valamint kedvezőbb fényviszonyokat biztosít.

3 M85 AUTÓÚT BÉCSI-DOMBI ALAGÚTJA

A Bécsi-dombi alagút engedélyezési tervei a fentiekben ismertetett M6 alagútlánhoz hasonló kialakítással, tervezési és építési koncepcióval – NATM – készült. Az alagút a Sopron városától ÉNy-ra elhelyezkedő, É-i irányban hosszan elnyúló Bécsi-dombot keresztezi 780 m hosszban. A Bécsi-domb nyugati oldalában húzódik a jelentős forgalmat bonyolító 84. sz. főút, melynek alulról, a forgalom korlátozása nélkül történő keresztezése elsődleges szempont. Az alagút a Bécsi-domb más részein Natura 2000-es területeket, illetve belterületi lakó- és üdülőövezetet keresztez. A különválasztott, forgalmi irányonként 2-2 sávot átvezető alagútjáratok tengelytávolsága 24 m, ezeket 3 db vészátjáró köti össze. Az alagútszerkezet a portálok környezetében, a kis takarású szakaszokon nyitott módszerrel épül. A közbenső, zárt építési szakaszon a takarás 4,5 – 36 m között változik. Az alagút kivitelezése jelenleg is tart.



6. ábra: Bécsi-dombi alagút geológiai hossz-szelvénye

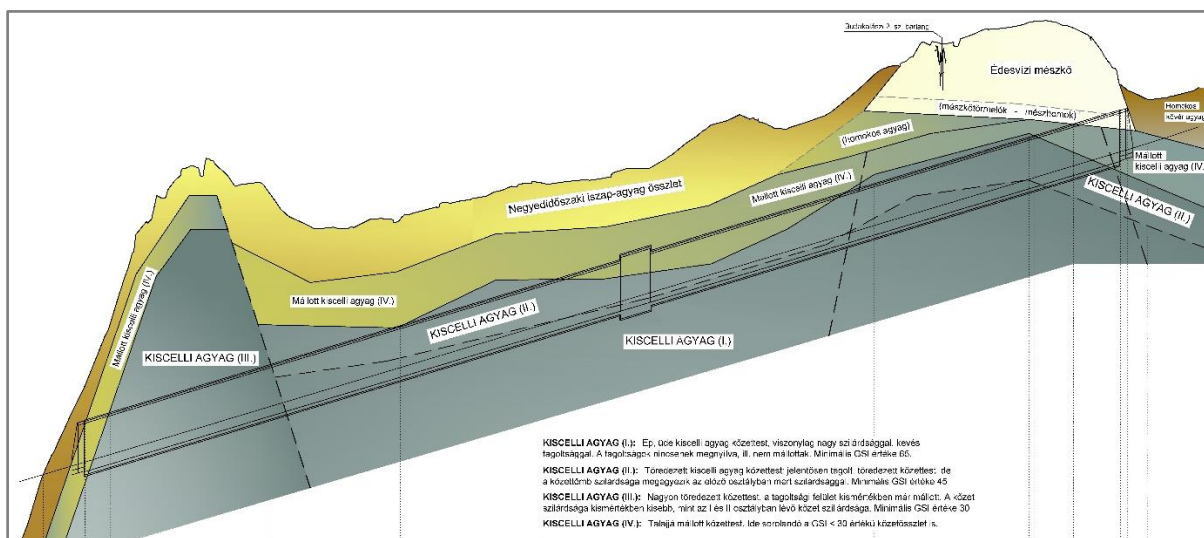
A Bécsi-dombi alagút térségében az alaphegység a Soproni hegység, amely a miocén időszak bádeni emeletében képződött többféle üledékből áll, amely egyik legismertebb formációja a Bádeni Agyag, agyagmárga. A kőzet uralkodóan szürke, kékes- vagy zöldesszürke színű, nem nagy képlékenységgű, kőzetlisztes kifejlődésű. A Bécsi-domb fedőkőzete az alkonglomerátumra, vagy a bádeni rétegre települt mészköves, homokköves, konglomerátumos rétegsor. Az alagút ezeket a geológiai rétegeket – a Bádeni Agyagot, illetve a rátelepült réteget – harántolja. A fejtési szelvény mérete 112 m².

A folyóalagút szelvényének hasznos keresztmetszeti területe 71,3 m². A forgalmi űrszelvény járatonként két forgalmi sávot tartalmaz, amelyek szélessége 3,5 m, az űrszelvény magassága 5,0 m, korlátlan használatú. Az útpálya szélessége 8,0 m, oldalesése 2,5-3,0 %. Az alagút helyszínrajzilag egy egyenesben helyezkedik el, szelvényezés szerinti 3%-os emelkedőben.

4 M0 AUTÓÚT ÉSZAKI SZEKTOR ALAGÚTJAI

Az M0 autóút északi szektor 11. sz. főút – 10. sz. főút között vezető nyomvonala Budapest III. kerület, Budakalász, Üröm, Solymár és Pilisborosjenő települések határán, a Kő-hegy és a Köves-bérc alatt vezetve halad. Az autóút vízszintes és magassági vonalvezetése, a dombok, hegyek és árkok elhelyezkedése, valamint egyéb környezetvédelmi kötöttségek és a lakossági igények kielégítése alagutak létesítését teszik szükségessé. Az autóút északi szektorának, mintegy 7,6 km-es szakaszán két alagút létesül, mindegyik két alagútjárattal, járatonként két-két forgalmi sávval. Az „A” jelű alagút előtt Budakalásznál és a „B” jelű alagút után Solymárnál völgyhidak épülnek.

Az alagutak tervezett hosszai 2030 m („A” jelű) és 3345 m („B” jelű). A járatok közötti tengelytávolság 24-30 m. Az „A” jelű alagút a Kiscelli Agyag (szürke árnyalatai) különböző mélységben elhelyezkedő rétegeit harántolja. A maximális takarása kb. 45 m, a minimális kb. 5,0 m, az átlagos takarása 16,0-28,0 m.



7. ábra: „A” jelű alagút geológiai hossz-szelvénye

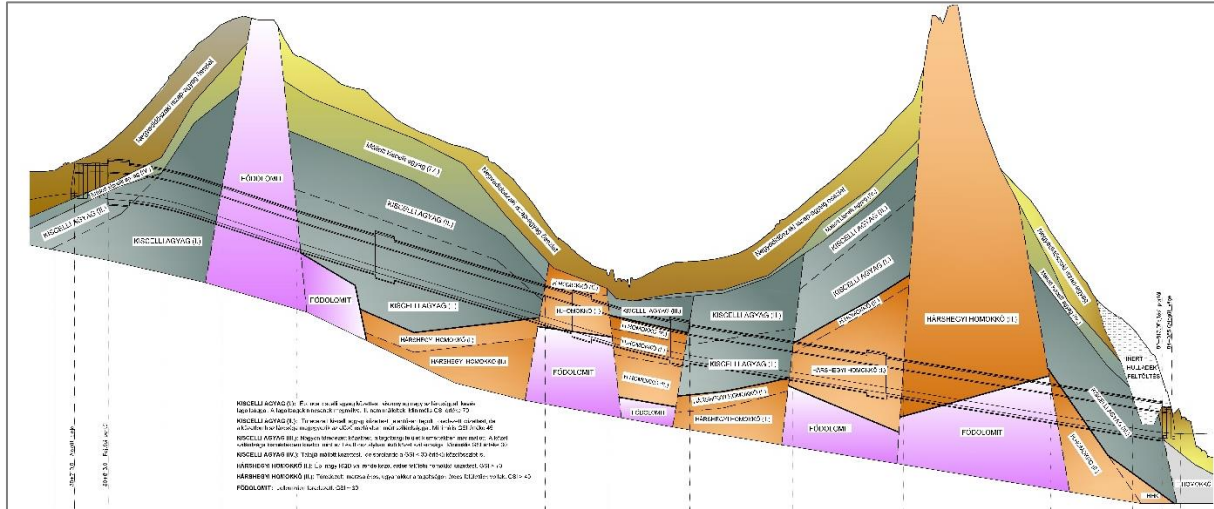
A „B” jelű alagút váltakozva Kiscelli Agyagot (szürke szín), Földolomitot (magenta), Kiscelli Agyagot, Hárshegyi Homokkővet (barna szín), Kiscelli Agyagot, Hárshegyi Homokkővet és Kiscelli Agyagot harántol. A maximális takarás kb. kb. 110,5 m, a minimális kb. 4,5 m, az átlagos takarás 18-48 m.

A Kiscelli Agyag rétegek és a Hárshegyi Homokkő az alsó-oligocén, míg a Földolomit a triász földtörténeti korban képződtek.

Az alagutak szerkezeti kialakítása, építési módja azonos. Az alagútportálok és az azt követő, illetve megelőző kb. 21,5-111,5 m hosszú szakaszok nyitott építési móddal, szegezett rézsűkkel biztosított munkagödörben épülnek meg. A nyitott építésű szakaszok közötti részek pedig

konvencionális alagútépítési módszerrel (NATM) készülnek. A folyó alagútjáratok fejtési szelvény mérete 107,3-122,4 m², illetve a leálló öblöké kb. 154,6-159,3 m².

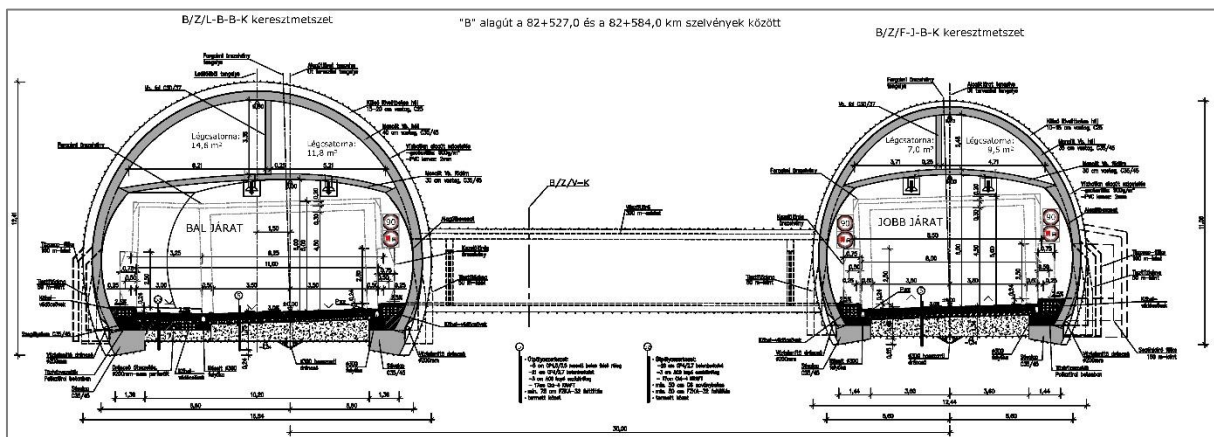
Az „A” jelű alagútban egy leálló öböl-pár létesül harántjárattal és hat vészátjáró, illetve a „B” jelű alagútban kettő leálló öböl-pár létesül harántjárattal, ezentúl járatonként egy-egy leálló öböl létesül vészátjáróval és további hat vészátjáró.



8. ábra: „B” jelű alagút geológiai hossz-szelvénye

A nyitott építésű szakasz szerkezeti kialakítása: a felső boltíves rész 50 cm vastag monolit vasbetonból épül, amely külső PVC víz elleni szigetelést kap. A felső boltív 80 cm vastag vízzáró vasbeton alaplemeze kerül. A zárt építésű szakaszon 10-35 cm vastag ideiglenes vasalt és horgonyzással kiegészített lövelltbetonos biztosítás készül, ennek védelme alatt épül meg a végleges alagútfalazat, amely 35-40 cm vastag monolit vasbeton felső boltívből, valamint a puhább kőzetben a 60 cm vastag vízzáró monolit vasbeton ellenboltból áll. A felső boltív falazat és az ideiglenes lövelltbeton biztosítás közé PE alapú vízelleni alagútszigetelés kerül.

Az alagútjáratok forgalmi űrszelvény mérete kb. 38,4 m², amely két 3,5 m széles forgalmi sávot foglal magába. Az alagútjáratokban rendelkezésre álló nettó légtér kb. 61,0 – 68,0 m². Az „A” jelű alagút szellőztetése hosszárámú, míg a „B” jelű alagút szellőztetése keresztárámú.



9. ábra: „B” jelű alagút mintakeresztmetszete

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] M. Panet, The Convergence-confinement Method, AFTES, 14.11.2001.
- [2] N. Vlachopoulos, M. S. Diederichs, Improved Longitudinal Displacement Profiles for Convergence Confinement Analysis of Deep Tunnels, Rock Mechanics and Rock Engineering, 2009, 42:2, 131-146.
- [3] E. Hoek, E. T. Brown, Underground excavations in rock, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980.
- [4] F_M-6_2_167+625_TU_TA/B/C/D-002_000_CS, M6 Motorway, II. Section (161+700 – 192+200), TU. Tunnel Construction, General Tunnel Layouts, Tunnel A, B, C, D, 2008-2010, Unitef 83 Zrt.
- [5] M85 gyorsforgalmi út, Csorna II. – Pereszteg – Sopron – Országhatár közötti szakasz, 3.1 Tervezési szakasz Fertőrákos csomópont – Országhatár, ideiglenes visszakötés, része meglévő határátkelőhely akadálymentesítése (89+000 – 92+950 km. sz.), 3.1.TB2 Általános alagúttervek, Engedélyezési terv, 2017. február, Unitef 83 Zrt.
- [6] M0 Autóút, Északi szektor 11. sz. főút – 10. sz. főút közötti szakasz, 1. szakasz 76+525 – 84+100 km sz. között, 1.TAB2. Általános alagúttervek – „A” jelű alagút, Engedélyezési terv, 2016. 09., Unitef 83 Zrt.
- [7] M0 Autóút, Északi szektor 11. sz. főút – 10. sz. főút közötti szakasz, 1. szakasz 76+525 – 84+100 km sz. között, 1.TBB2. Általános alagúttervek – „B” jelű alagút, Engedélyezési terv, 2016. 09., Unitef 83 Zrt