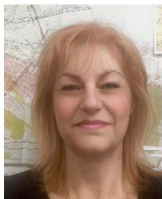


BÉCSI-DOMBI ALAGÚT MEGVALÓSÍTÁSA – 1. RÉSZ

AZ ELSŐDLEGES ALAGÚT-MEGTÁMASZTÓ LŐTTBETON SZERKEZET ÉPÍTÉSTECHNOLÓGIÁJA



Tóth Szilvia

<https://doi.org/10.32969/VB.2023.2.2>

A Bécsi-dombi alagútépítés kivitelezése magyar tervezők, kivitelezők munkája. A főbb kivitelezési folyamatokat cikksorozatban tárgyaljuk. A cikksorozat első része az alagútpár ideiglenes megtámasztásának részletezése technológiai szempontból. Az ideiglenes löttbetonos megtámasztás biztonságos kialakítása folyamatos kihívás elé állította a kivitelezőt és a technológiai, geológiai felügyeletet egyaránt. A változatos geológiai viszonyokhoz való alkalmazkodás idő- és költségvonzata igen jelentős. Az ideiglenes megtámasztás löttbeton keverékének előállítás, beépítése és ellenőrzése során jelentős adathalmaz birtokában e cikkben részletezzük a fiatal löttbeton rétegeken végzett több ezer vizsgálati eredményből készített kimutatásokat is.

Kulcsszavak: geológia, alagút, löttbeton, kötésyorsító, penetráció, becsült nyomószilárdság

1. BEVEZETÉS

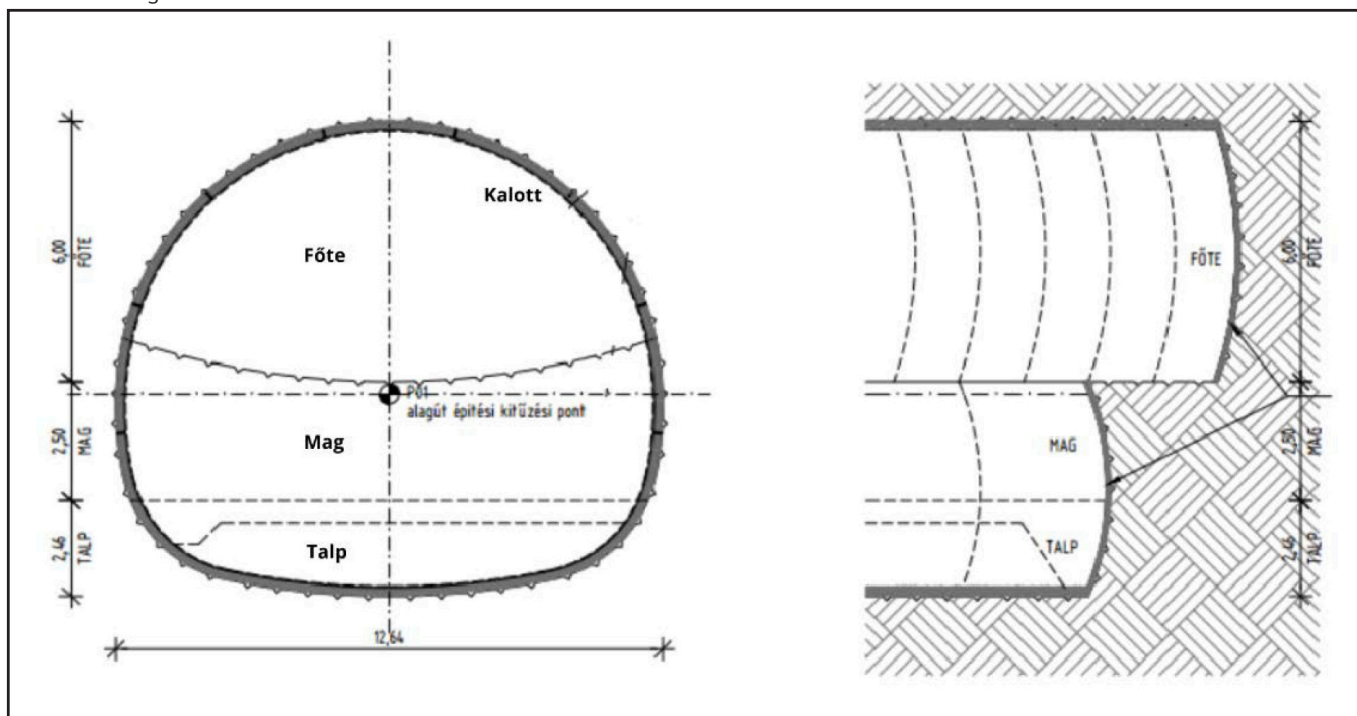
A Bécsi-dombi alagútpár az M85 gyorsforgalmi út részeként épül mintegy 800 m hosszon. A nyílt közbeszerzési eljárás során nyertes kivitelező (Subterra-Raab Kft. – Dömper Kft. – Pannon-Doprastav Konzorcium) nem csak a kivitelezést, hanem a tervezést is végezte (Kerékgyártó, 2022; Kerékgyártó, 2023).

A beruházó (korábbi NIF Zrt.) engedélyezési terveket, vala-

mint kiviteli szintű geotechnikai tervet bocsájtott a kivitelező rendelkezésére (Ajánlati Dokumentáció, 2018), melyek alapján a konzorcium szaktervezője (Pantunnel Kft.) elkészítette az elsődleges szerkezet kiviteli terveit (Tervezési beszámoló, 2020).

A gyorsforgalmi út két pályáját egy-egy alagútjárat vezet át a Bécsi-domb alatt. A bal pálya (déli) járatának zárt szakasza a 90+134,90 és 90+863,75 km szelvények között 728,85 m hosszú. A jobb pálya (északi) járat zárt szakasza a 90+134,90 és 90+872,00 km szelvények között 737,10 m hosszú. A két

1. ábra: Az alagút általános kialakítása





2-3. ábra: Támívek és talajhorgonyok



járat zárt szakasza összesen 1465,95 m hosszú. A párhuzamos járatok egymástól mért távolsága tengelyben átlagosan 24 m, a fejtés vonalában körülbelül 12 m.

Az alagút fejtési keresztmetszete függ a löttbeton héj vastagságától, valamint a szükséges fötebiztosítástól, ezért biztosítási osztályonként lett meghatározva. A tényleges fejtési vonalat a löttbeton külső vonalán definiált túrésekkel bővített keresztmetszet adja, mely figyelembe veszi a geodéziai és építési túrést, valamint a talaj alakváltozását is.

A két ideiglenes alagút bejárati portál között épített zárt szakaszon az alagútfejtési és biztosítási munkákat mechanikus vágathajtással, bányászati módszerekkel, valamint löttbetonos biztosítással végeztük, míg a nyitott szakaszokon lévő ideiglenes bevágásban, nyitott, úgynevezett CUT & COVER módszerrel történt az alagút építése.

Az alagúthajtás alapvetően a következő folyamatok ciklikus ismétlésével folyt: előbiztosítás (amennyiben szükséges); gépi alagútfejtés; rakodás; fejtési anyag elszállítása; kőzetbiztosítások beépítése folyamatos szellőztetés mellett.

A zárt alagútszakaszok az osztrák módszerrel épültek (Neue Österreichische Tunnelbaumethode, NÖT). A NÖT technológia során az alagút *kalott*, *mag* és *ellenbolt* (*talp*) kialakítással épült. Főte a fejtési szelvény felső része, ezen belül a *kalott* ennek süvegszelvénye, az alagútszelvény felső íves része (*1. ábra*). Részekre osztott fejtés esetén a fejtési keresztmetszet kalott alatti (és az oldaltárók – ha ilyen van – közötti) és talpszelvény feletti része a mag. A fejtés alsó szelvénye, amely a falazat alapját, a talplemezt, vagy az ellenboltozatot fogadja magába az alagút talpszelvénye, ellenboltja.

Az alagúthajtás területének felosztása kalottra, magra és ellenboltra minimalizálja a környező talaj megzavarását és korlátozza a túljövesztést. A környező talaj- vagy kőzetszerkezet egysége ezáltal nagyrészt megőrizhető.

Az alagútfejtés a különböző fejtési osztályokban eltérő módszerekkel történt, hogy eltérő geológiai viszonyok esetén is azonos minőségi és biztonsági szintek legyenek tarthatók.

Az alagúthajtást követően az elsődleges biztosítás általános esetben azonnal beépült, ami szükséges ahhoz, hogy stabilizálja a talajt, és megakadályozza a környezet állapotának romlását. A biztosítást az érintett geológiai sajátosságok függvényében tervezett biztosítási osztályok szerint kellett kialakítani, betonacél háló, löttbeton, kőzethorgonyok és rácsos támívek felhasználásával.

A támívek egyedi gyártású háromövű rácsos tartók, melyek két típusát különböztetjük meg (*2-3. ábra*): T150 és T120. Ezek felhasználása a geológiai viszonyok alapján meghatározott egyes biztosítási osztályok szerinti volt.

A különböző, az alagút általános keresztmetszetéből kinyúló

fülkék és a járatok közötti átjárók fejtését és biztosítását az alagútjáratok biztosításának elkészülte és megfelelő teherbíró képességének elérése után, utólag lettek kialakítva.

2. TERVEZÉS

A fejtési és biztosítási munkálatok elvégzésére a geológiai hossz-szelvények és a várható mérnökgeológiai osztályok alapján – hatóság által jóváhagyott – hat különböző fejtés-biztosítás osztályt tervezett a tervezőcsapat, valamint ezekhez kiegészítő biztosítási tervek készültek, melyek kombinálhatók voltak. Ezt későbbiekben még egy újabb biztosítási osztály típusal bővítettük (*1-2 táblázat*).

3. KIVITELEZÉS

A kivitelezés megkezdése a keleti portál *bevágás-süllyeszté*sével kezdődött, ahol alkalmunk nyílt az elsődleges szerkezethez alkalmazni kívánt löttbeton és géppark tesztelésére is.

A bevágás-süllyesztés acélháló és löttbetonos biztosítással készült, majd a terv szerint kitzűzött helyeken a beton szilárdulása után talajhorgonyokat építettünk be (*4-7 ábra*).

A várható geológiai talaj és kőzetviszonyoknak megfelelően állítottuk fel az alagúthajtás során alkalmazható gépparkot és alakítottuk ki a műszaki operatív, valamint az alagút fejtést végző csapatokat, ekkor még csak egy alagút fejtésére koncentrálván.

A tervezési fázisban az első 32 m hosszú szakaszon 1,0 m/nap előrehaladással, később a prognosztizált kedvezőbb geológiai szakaszban 2,0 m/nap átlagos előrehaladással számoltunk. A valóságban a jóval kedvezőtlenebb, előre nem várt

4-7. ábra: A keleti portál bevágás-süllyesztése 2020-ban



1. táblázat: Fejtési szelvények mérnökgeológiai osztályba sorolása

Alagút szakasz	Várható		Pozíció	Szükséges intézkedés
	Geológia	Biztosítási osztály		
8-40 m és 645-706 m	4-es mérnökgeológiai osztály	BO1	Főte	a csőernyő elhagyható, ha a főte felett a geotechnikai előfúrás szerint minimum 2m vastagságban erősen cementált homokkő (1-es mérnökgeológiai osztály) található
			Főte	a csőernyő előtűző nyársra váltható, ha a főte felett a geotechnikai előfúrás szerint minimum 2m vastagságban kellően cementált homok (2-es mérnökgeológiai osztály) található és a teljes takarás eléri a 10m-t
			Mag és ellenbolt	amennyiben a magban illetve az ellenboltban 4-es mérnökgeológiai osztályú talaj szükségessé teszi a háromövű rácsos tartó zárása lehet szükséges, minden 2. fogásban (T 150 típusú tartó alkalmazása az adott fogásban teljes keresztmetszetben)
			Homlok	a fejtési homlokban található 4-es mérnökgeológiai osztályú talajok részleges vagy teljes bevonása szükséges
300-645 m	3-as mérnökgeológiai osztály	BO2a	Főte	lokális előbiztosítás (előtűzéssel) szükséges ahol az alagút főtéjében a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrás kis kiterjedésű, az alagút stabilitását nem veszélyeztető 4-es mérnökgeológiai osztályt mutat
			Főte	szisztematikus előbiztosítás (előtűzéssel) szükséges ahol az alagút főtéjében a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrások az alagút stabilitását veszélyeztető 4-es mérnökgeológiai osztályba sorolt réteget mutatnak
			Mag és ellenbolt	amennyiben a magban illetve az ellenboltban a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrás 4-es mérnökgeológiai osztályt mutat a háromövű rácsos tartó zárása szükséges minden 2. fogásban
			Homlok	a fejtési homlokban található 4-es mérnökgeológiai osztályú talajok részleges vagy teljes bevonása szükséges
40-300 m	2-es mérnökgeológiai osztály	BO2b	Főte	lokális előbiztosítás (előtűzéssel) szükséges ahol az alagút főtéjében a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrás kis kiterjedésű, az alagút stabilitását nem veszélyeztető 4-es mérnökgeológiai osztályt mutat
			Főte	szisztematikus előbiztosítás (előtűzéssel) szükséges ahol az alagút főtéjében a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrások az alagút stabilitását veszélyeztető 4-es mérnökgeológiai osztályba sorolt réteget mutatnak
			Mag és ellenbolt	amennyiben a magban illetve az ellenboltban a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrás 4-es mérnökgeológiai osztályt mutat a háromövű rácsos tartó zárása szükséges minden 2. fogásban (T 150 típusú tartó alkalmazása az adott fogásban teljes keresztmetszetben)
			Homlok	a fejtési homlokban található 4-es mérnökgeológiai osztályú talajok részleges vagy teljes bevonása szükséges
			Teljes szelvény	A belső hegesztett háló a fejtést megelőző vizsgálatok és a monitoring mérések alapján, a felelős tervező döntése szerint elhagyható

300-645 m	3-as mérnökgeológiai osztály	BO4a	Főte	lokális előbiztosítás (előtűzéssel) szükséges ahol az alagút főtájában a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrás kis kiterjedésű, az alagút stabilitását nem veszélyeztető 4-es mérnökgeológiai osztályt mutat
			Főte	szisztematikus előbiztosítás (előtűzéssel) szükséges ahol az alagút főtájában a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrások az alagút stabilitását veszélyeztető 4-es mérnökgeológiai osztályba sorolt réteget mutatnak
			Mag és ellenbolt	amennyiben a magban illetve az ellenboltban a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrás 4-es mérnökgeológiai osztályt mutat a háromövű rácsos tartó zárása szükséges minden 2. fogásban (T 150 típusú tartó alkalmazása az adott fogásban teljes keresztmetszetben)
			Homlok	a fejtési homlokban található 4-es mérnökgeológiai osztályú talajok részleges vagy teljes bevonása szükséges
			Főte előrehajtás	a főte max. 20m-es hosszban előrehaladhat főteláb kialakítása mellett a mag + ellenbolthoz képest amennyiben a főte alatt található kőzet 1-es mérnökgeológiai osztályba esik (a főteláb teljes szélessége minimum 45 cm) a főte max. 20m-es hosszban főte ellenbolt létesítésével előrehaladhat a mag + ellenbolthoz képest amennyiben a főte alatt található kőzet/talaj 2-es mérnökgeológiai osztályba esik amennyiben a főte alatt található talaj 3-as vagy rosszabb mérnökgeológiai osztályba esik a mag + ellenbolt azonnali zárása szükséges
40-300 m	2-es mérnökgeológiai osztály	BO4b	Főte	lokális előbiztosítás (előtűzéssel) szükséges ahol az alagút főtájában a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrás kis kiterjedésű, az alagút stabilitását nem veszélyeztető 4-es mérnökgeológiai osztályt mutat
			Főte	szisztematikus előbiztosítás (előtűzéssel) szükséges ahol az alagút főtájában a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrások az alagút stabilitását veszélyeztető 4-es mérnökgeológiai osztályba sorolt réteget mutatnak
			Mag és ellenbolt	amennyiben a magban illetve az ellenboltban a geológiai térképezés vagy az itt létesített geotechnikai előfúrás 4-es mérnökgeológiai osztályt mutat a háromövű rácsos tartó zárása szükséges minden 2. fogásban (T 150 típusú tartó alkalmazása az adott fogásban teljes keresztmetszetben)
			Homlok	a fejtési homlokban található 4-es mérnökgeológiai osztályú talajok részleges vagy teljes bevonása szükséges
			Főte előrehajtás	a főte max. 20m-es hosszban előrehaladhat főteláb kialakítása mellett a mag + ellenbolthoz képest amennyiben a főte alatt található kőzet 1-es mérnökgeológiai osztályba esik (a főteláb teljes szélessége minimum 45 cm) a főte max. 20m-es hosszban főte ellenbolt létesítésével előrehaladhat a mag + ellenbolthoz képest amennyiben a főte alatt található kőzet/talaj 2-es mérnökgeológiai osztályba esik amennyiben a főte alatt található talaj 3-as vagy rosszabb mérnökgeológiai osztályba esik a mag + ellenbolt azonnali zárása szükséges
Teljes szelvény	A belső hegesztett háló a fejtést megelőző vizsgálatok és a monitoring mérések alapján, a felelős tervező döntése szerint elhagyható			

-	1-es mérnökgeológiai osztály	BO3	Főte vagy mag	ha a kőzet tagoltsága alapján szükséges, szisztematikus (teljes) horgonyzást kell az elsődleges biztosítás részeként használni a főte teljes kerületén
			Főte vagy mag	ha a kőzet tagoltsága alapján egyedi kőzettestek kimozdulása valószínűsíthető (az erősen cementált homokkő magas szilárdságú részein fordulhat elő), szükség szerinti (eseti) horgonyokat kell az elsődleges biztosítás részeként használni, hogy az instabil kőzettömböket a stabil kőzettestbe rögzítsük
			Váltás	A cementáltság csökkenése vagy egyéb talaj megjelenése esetén az alagút keresztmetszet azonnali zárása szükséges.

2. táblázat: Mérnökgeológiai osztályok meghatározása

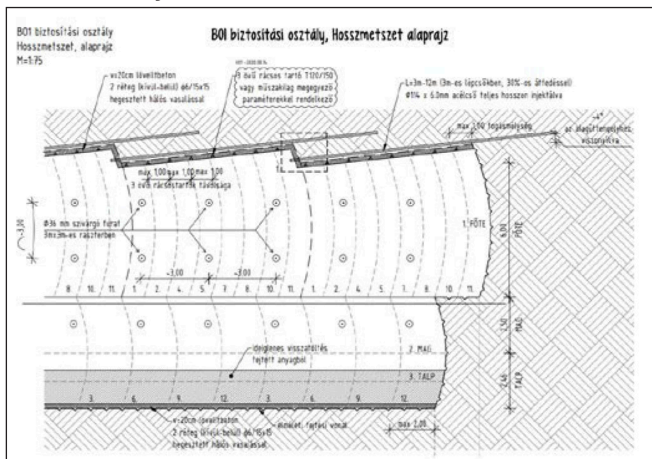
Mérnökgeológiai kategória	Talaj jelölés	Talajfajták	Szemcse színe	Szemcse mérete/ megjelenése
1 Kőzet	K3/1	Erősen cementált mészhomokkő és konglomerátum	Piszkosfehér, szürkés sárga, világosszürke	Finom-, közép-, nagyszemcsés és darakavicsos homok
	K3/2	Erősen cementált meszes konglomerátum	Piszkosfehér, szürkés-sárga. Világosszürke Fehér, zöld, barna és fekete kavicsokkal	Finom-, közép-, nagyszemcsés és darakavicsos homok, lekerekített kvarc és sarkos a mészkő kavicsokkal
2 Kötött vagy jól cementált talaj	T5 és 6/2	Szürke cementált homok homokkő	Piszkosfehér, szürkés sárga, halványbarna, drapp, szürke	Nedves homok, finom és aprószemcsés homokkő, mészhomokkő
	T7/1 és 2	Zöldes és kékeszürke (homokos) agyag	Kékes ill. zöldesszürke, sötétszürke	Homogén, plasztikus, összeálló (kemény) agyag
3 Kevésbé kötött vagy kissé cementált talaj	T4	Szürkésbarna kemény agyag	Sárgás-barnászöld, fehér mészmorzsalék	Homogén, plasztikus, töredezett, morzsolt agyag
	T6/1	Szürke kissé cementált homok	Piszkosfehér, szürkés sárga, halványbarna, drapp, szürke	Nedves homok, finom és aprószemcsés homokkő, mészhomokkő
4 Termett talaj	T1	Barna meszes agyag, -iszap	Sötét-, világosbarna, illetve vörösbarna, fehér mészmorzsalék	Homogén, plasztikus agyag d0,5-3cm kerek kvarc kavicsok
	T2/1 és 2	Szürke homok-iszap	Sárgás-világosszürke	finom és középszemcsés homok d0,5-5cm kerek kvarc vagy pala kavicsok

geológiai viszonyok miatt a kezdeti teljesítmény a csőernyővel biztosított szakaszon csak 0,7 m/nap átlagos előrehaladás volt.

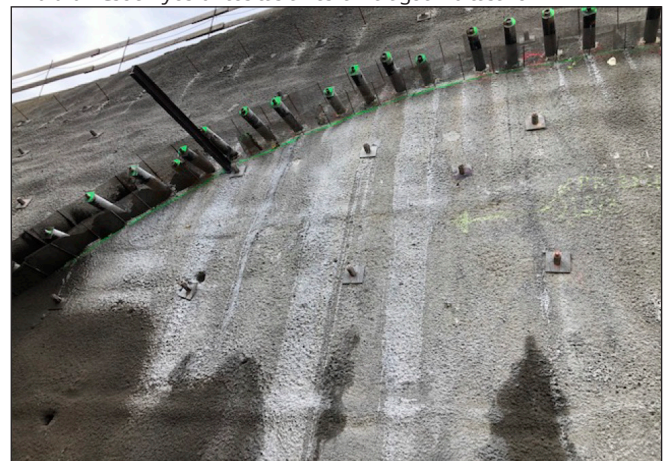
A csőernyő (8-9 ábra) elhagyásakor azonban az omlékony talajt kemény kőzet váltotta fel, amit hidraulikus kalapácsok-

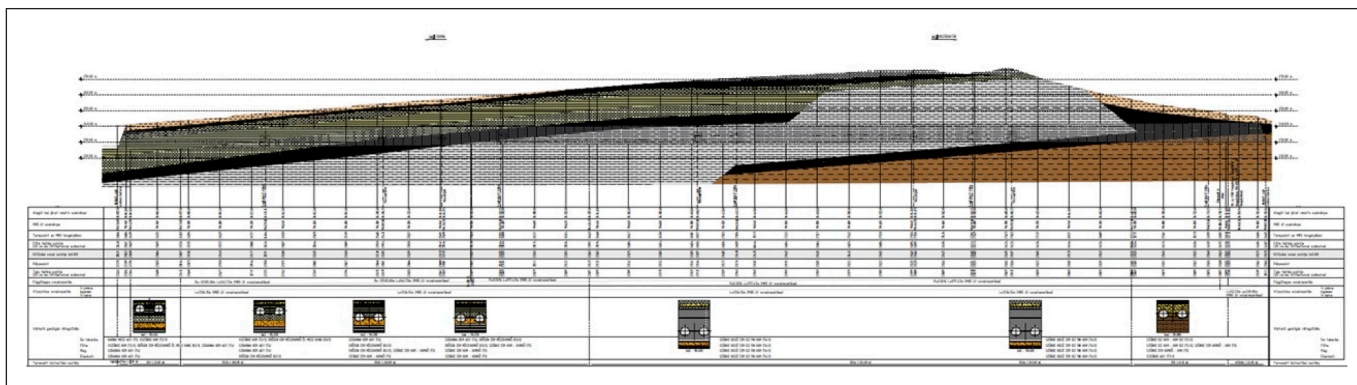
kal és marófejekkel lehetett csak bontani. A kemény kőzet mellett hamar megjelent a talpban egy agyagos, majd az előre jelzett kavicsos/homokos réteg is. A kemény kőzetű szakasz után egy rövid, kedvezőbb rész után egy jóval kedvezőtlenebb kavicsos réteggel talákoztunk a főtében, helyenként a

8. ábra: Csőernyős biztosítás tervrészlete

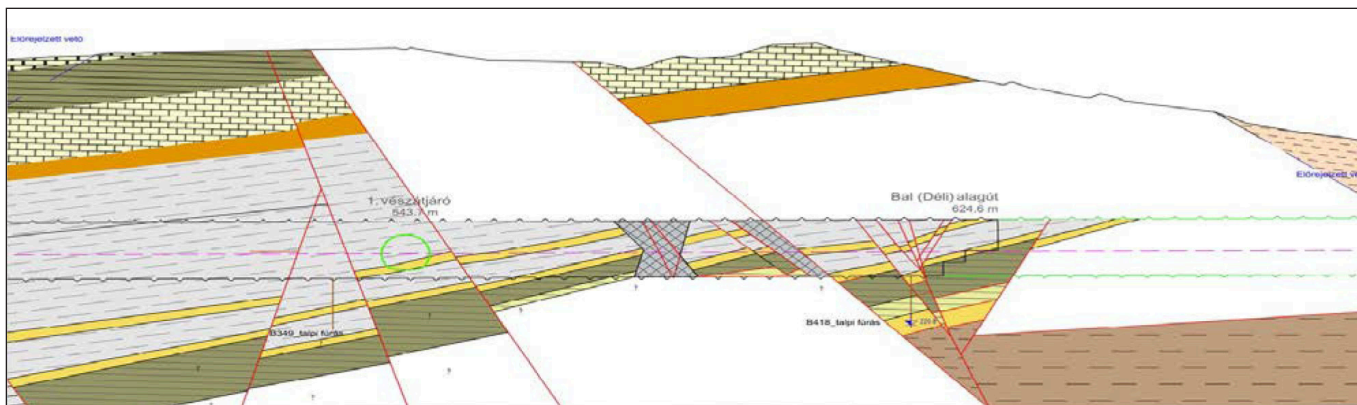


9. ábra: Csőernyős biztosítás az északi alagút indításakor





10. ábra: A tender szerinti geológiai hosszszelvény



11. ábra: A megvalósult geológiai hosszszelvény

magban, is ezért a tervektől eltérően fogásonként 50-60 db 3 m hosszú előtűző pallót kellett beépíteni. A továbbiakban homokos szakasz következett, amit előtűző nyársakkal tettünk fejtésre alkalmassá. Később is homokos szakaszban történt az alagút fejtése, előtűző nyársak, valamint injektált homlokhorgonyok beépítése mellett.

A vágathajtás során 20 m-es geológiai előfúrásokat végeztünk, valamint homlokellenőrzés vizsgálatok is folyamatosan folytak a laboratórium részéről. Ezekből az adatokból a geológusok összeállították a valós geológiai környezetet.

A vártnál lassabb fejtés miatt a projekt vezetősége a tervezettől eltérően jobb oldali alagút fejtésének párhuzamos szervezésű megindítása mellett döntött. Ekkor a gépparkunkat, valamint a létszámot is bővítettük, és megkezdtük az alagutak párhuzamos építését.

A déli alagút lyukasztása 2021. július 1-én, az északi alagút lyukasztása 2023. február 9-én volt (10-11 ábra).

4. LÖTTBETON ÉS VIZSGÁLATA

A löttbeton keverék tervezésére Magyarországon nincs előírás, ezért a közbeszerzési tender III. kötete (Műszaki Előírások) is az osztrák építéstechnikai és betonszövetség (ÖBV) által kiadott irányelv alkalmazását írta elő (Österreichische Bautechnik Vereinigung: Sprayed Concrete Guideline 2013. április).

A jóváhagyott kiviteli tervek szerint a löttbeton J2 szilárdsági osztályú kellett, hogy legyen (ÖBV szerint).

Az elsődleges szerkezet kétrétegű hálós vasalással, rácsos tartók alkalmazásával készült 20-25 cm vastag löttbetonnal, melyet három fázisban hordtunk fel. Alagútbiztonsági szempontból az előírás az, hogy a löttbeton alapkeverék a fejtés megkezdésekor a helyszínre érjen. Ennek megfelelően a beton a fejtés befejezéséig a helyszínen várakozik, ezért az alapkeveréktől elvárt eltarthatóság ~2 óra volt. Az irányelv

alapján a löttbeton alapkeverék konzisztenciáját 550-650 mm között kellett tartani. A konzisztenciát az alkalmazott lövőgépek műszaki adottságai határozzák meg, ezért a korábbiakban említett bevágás-süllyesztés során kísérleteztük ki az alapkeverék konzisztenciáját (12-14 ábra).

A löttbeton alapkeverék minősége: C30/37-XC1-8-F5 volt, a próbálövések alapján az alkalmazott konzisztencia 610 mm (-10 mm; +20 mm) volt. Fontos követelmény volt a betonminőség egyenletessége, ezért az alagút felvonulási területére fél éven belül telepítettünk egy új betonüzemet, mellyel 1m³-es keverékadagokkal gyártottuk a betont.

A löttbeton alapkeverékből próbakeverés, valamint a lövőgépekkel próbálövések készültek, melyek eredményeit értékeltük és minősítettük.

A próbálövések során állítottuk be a löttbetonhoz alkalmazott kötésgyorsító vegyszer adagolását.

A betonlövő gépeink SPM 200 típusú vegyszeradagoló-szoftverrel rendelkeznek, így a beton főbb adatainak mag-



12-14. ábra: Próbálövések bevágás-süllyesztés során



15-16. ábra: A lövőgép kijelző panelje



17. ábra: A főte lövése

adása után a megadott kötésgyorsító adagolást automatikusan végzik (15-16 ábra). A kötésgyorsító mennyisége a cementmennyiségre vetítve tömeg %-ban adtuk meg a próbálövés kiértékelésekor megállapított értékkel (17. ábra).

A fiatal löttbeton vizsgálata során 1 óras korrig mértük a penetrációt, melyből becsült szilárdág értéket kaptunk. Ezt a mérést lehetőség szerint fogásonként, rétegenként végeztük.

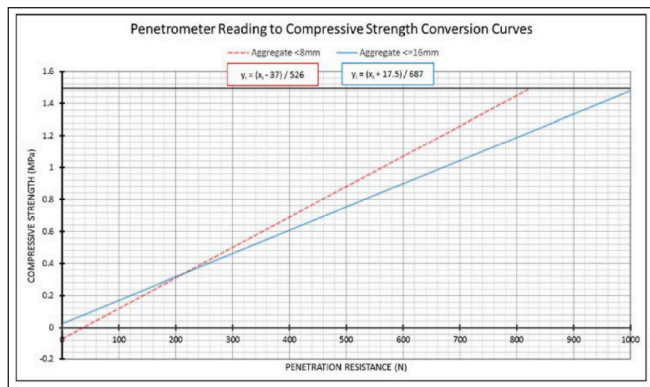
A löttbeton második rétegen volt lehetőség a beton szilárdág becslését 22-24 óras korában is ellenőrizni szögbelövéses és kihúzó erő mérésével. Így a beton szilárdulási folyamata nyomon követhető volt (ezen vizsgálatok az MSZ EN 14488 1; 2 szabványban rögzítettek). Előírt érték 5 N/mm² volt (18 ábra).

A kivitelezés során a minőségellenőrző vizsgálatokat az

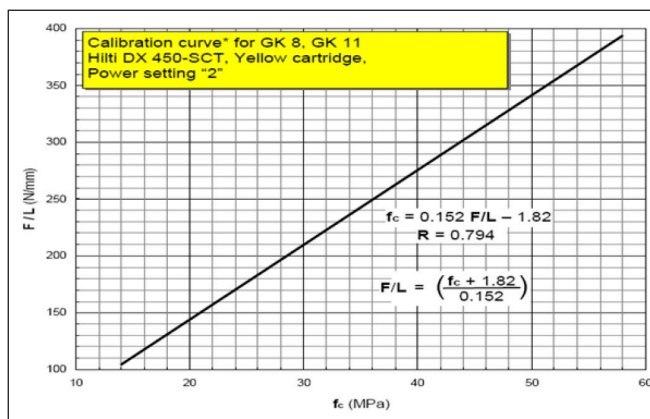
18. ábra: Penetráció mérés a lövőládán



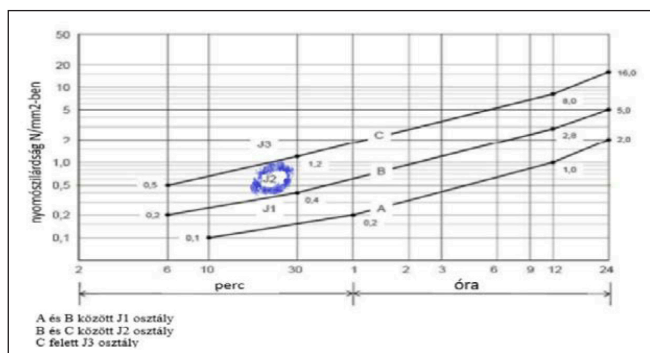
19. ábra: A HILTI szögbelövéses módszer eszközei



20. ábra: Penetrométer kalibrációs görbék szilárdág becsléséhez



21. ábra: Hilti módszerű kalibrációs görbe a szilárdág becsléséhez



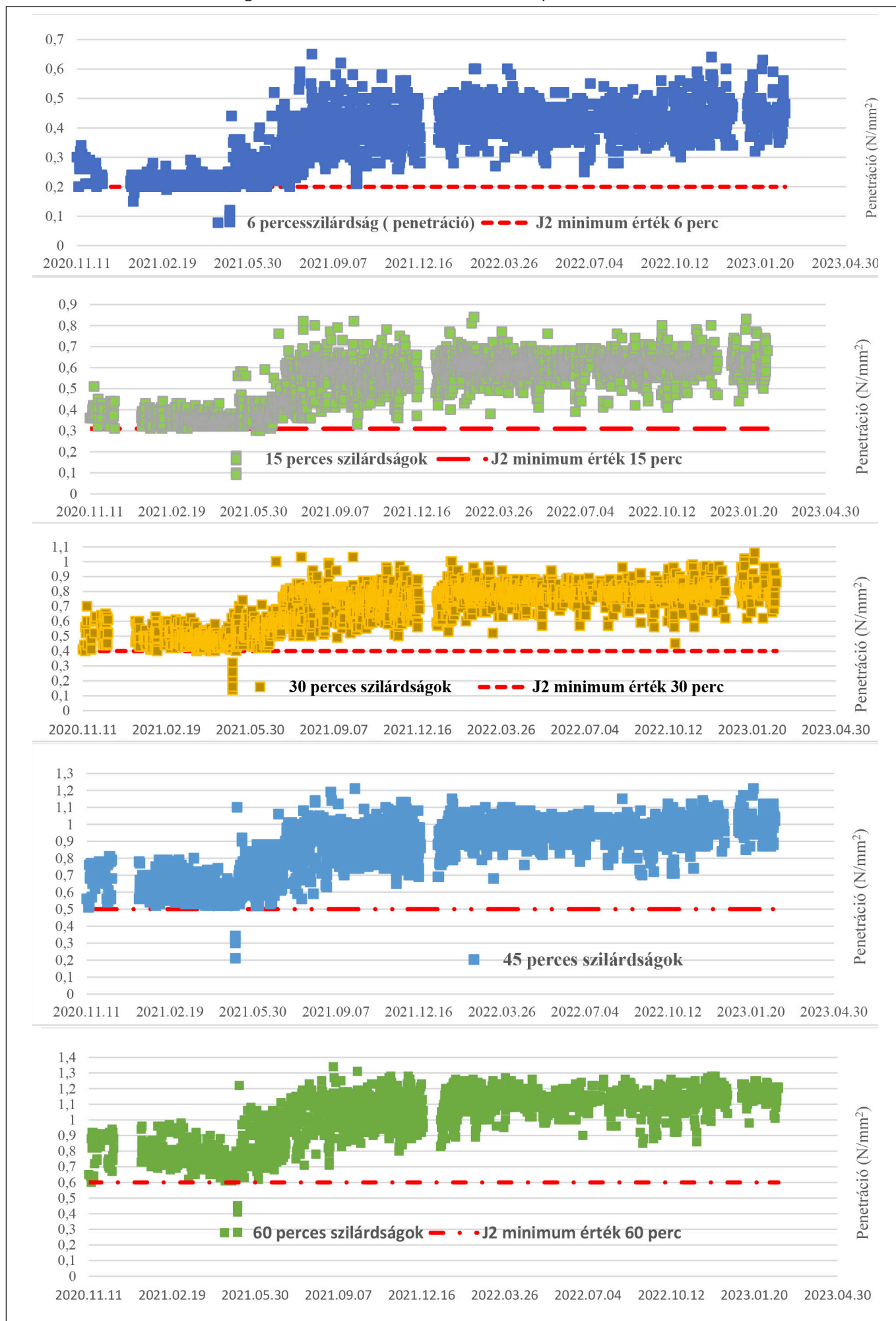
22. ábra: A fiatal löttbeton előírt nyomószilárdág értékei az ÖBV irányelv alapján

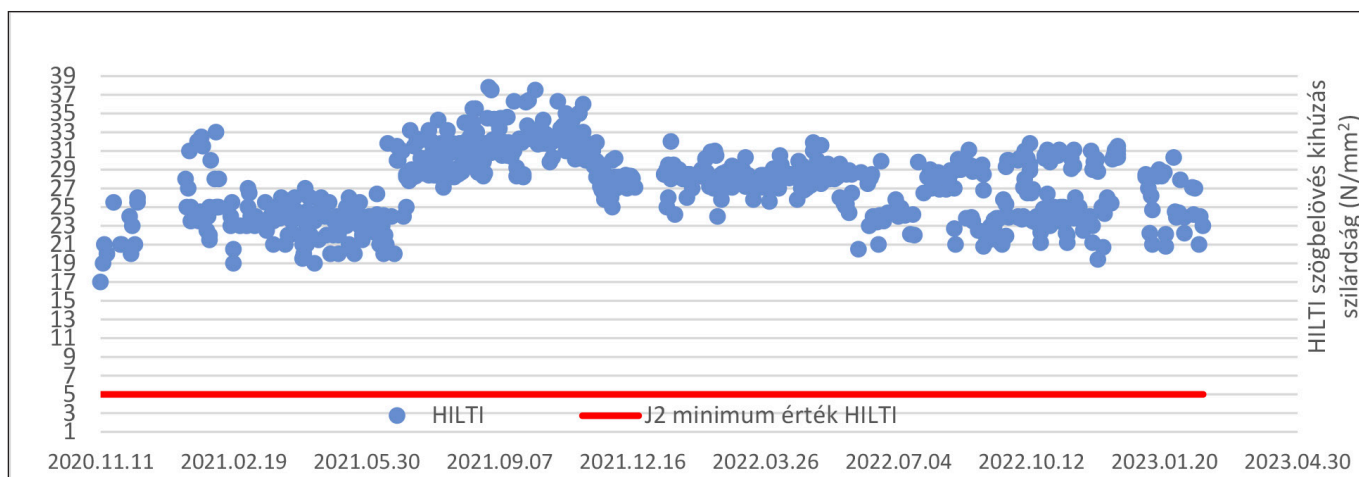
Innovia Kft. laboratóriuma végezte. Az alagút építéséhez előállított keverékeket mixerenként vizsgálták a laboratórium munkatársai, a löttbetont rétegenként és szerkezetenként is vizsgáltuk, napi 24 órában, ahogy az alagútépítés haladt. A megszilárdult löttbeton nyomószilárdágát lövőládákba kifűrt mintákon vizsgáltuk 24 óras és 28 napos korban. Az alagút-hajtás során lövőládát 100 m³-ként készítettünk (19-22 ábra).

A 24 óras korra előírt nyomószilárdág min. 13 N/mm²; 28 napos korra a C30/37 szilárdágú osztálynak megfelelően a hengeren mért értékhez igazodva min. 30 N/mm² volt.

Az előrehaladás során heti kockázatértékelő megbeszélések alkalmával – melyen a beruházó, a mérnök, a közútkezelő, az

23-27. ábra: Penetráció mérések grafikus ábrázolása: 6, 15, 30, 45 és 60 perces korban





28. ábra: A HILTI szögbelövés módszer 22-24 órás korban mért eredményeinek grafikus ábrázolása

alagút biztonsági tiszt és a kivitelező képviselői vettek részt – az alagútépítés előrehaladását és annak minőségét elemeztük és értékeltük. A löttbeton vizsgálatok eredményeiről grafikus kiértékelés is készült, melyek az elsődleges szerkezet löttbeton rétegek penetráció mérések tekintetében közel 4000 mérést jelentett.

A grafikus eredményekből látható (23-27 ábra) markáns emelkedés oka a cementgyártó változtatása volt 2021. június elején, mivel az alkalmazott cement (CEM I. 52,5N) a kötőgyorsítóval nem hozta a várt eredményeket kellő biztonsággal és a magasabb kötőgyorsító adagolás sem hozott jobb eredményt. A cementgyártó váltása után a grafikonon látható, hogy a mérési eredmények nagy biztonsággal teljesítették az előírásokat a J2 löttbeton szilárdsági osztályra vonatkozóan 60 perces korrig.

Meg kell jegyezni, hogy a magas kötőgyorsító adagolás a beton végszilárdságát nagymértékben rontja, így a pontos vegyszeradagolás fontos követelmény a betonlövésnél. Ezt a lövőgépek mixerenkénti vegyszerfogyásának folyamatos ellenőrzésével és kalibrálással lehetett elérni.

Hideg időjárásban a kötőgyorsító vegyszer melegítéséről is gondoskodni kellett, mert az adalékszer +15°C feletti hőmérsékleten fejt ki optimális hatását. Ennek megfelelően a betont is általánosan +20°C hőmérséklet körüli hőmérsékleten tartottuk még hideg időben is.

Az alapkeverék 28 napos nyomószilárdságát napi mintavétellel igazoltuk, melyek túlnyomó részben C45/55 és C50/60 nyomószilárdsági osztályúak voltak (MSZ 4798 szerint).

A betonszilárdság becsüléséhez a *Hilti szögbelövéses módszert* is alkalmaztuk (28-30. ábra). A mérési elve: az azonos korú (22-24 órás) löttbeton rétegbe, Hilti DX 450

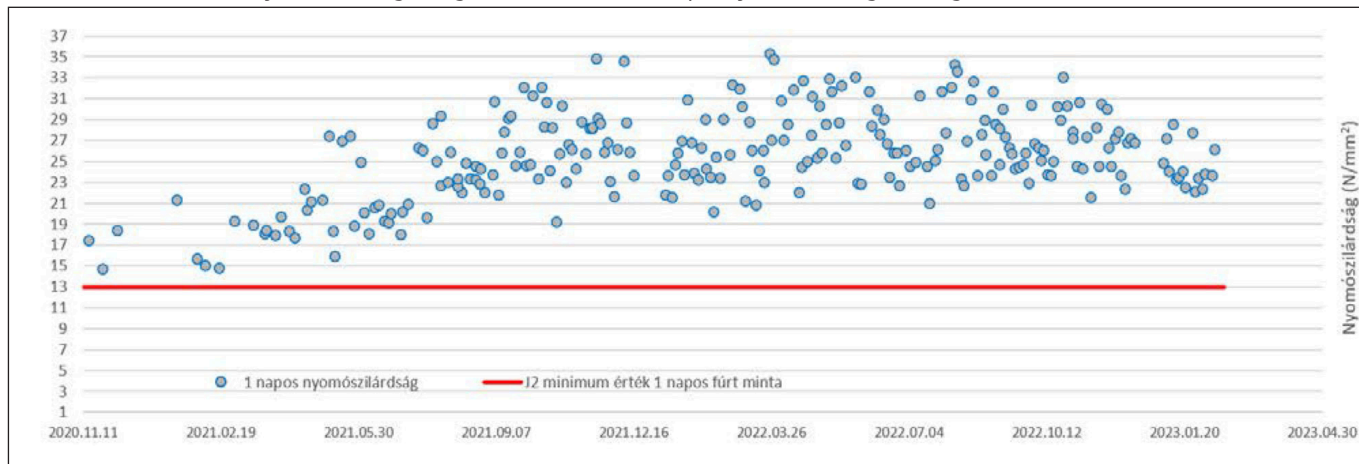
szögbelövő pisztollyal, a pisztolyon beállított azonos erővel belőtt szegek behatolás mélységéből, valamint ezen szegek kihúzó berendezéssel, a húzás során mért kihúzóerőből lehet becsülni (grafikonról leolvasni) a beton nyomószilárdságát. A 24 órás vizsgálatnál már látható a vegyszeradagolás és a cement ingadozásából adódó szórás.

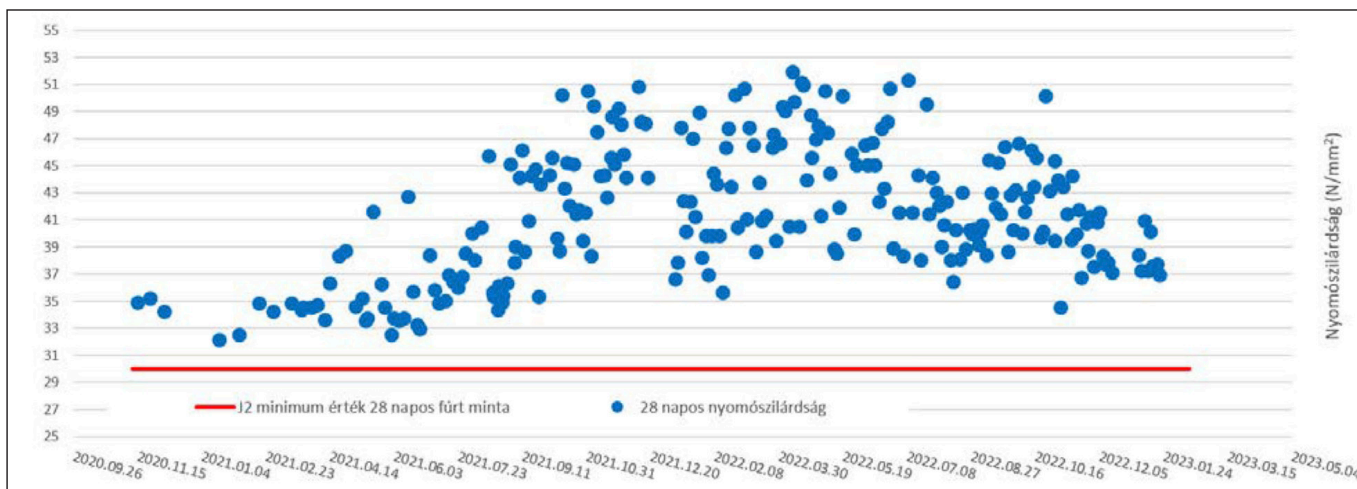
A lövőládából a magmintákat 20 óras korban fúrtuk ki, majd méretre vágás, tömegmérés és méretfelvétel után 24 óras korban vizsgáltuk azok nyomószilárdságát. A vizsgálati eredményekben itt is látható a cementváltás, valamint a vegyszeradagolás és a cement minőség ingadozása is.

A 28 napos korban vizsgált magminták eredményein már markánsan jelentkezett az, ha a kötőgyorsító adagolásban eltérés volt (31-32. ábra). Az időben korábbi eredmények a cementváltás idején (2021. júniusig) **magasabb kötőgyorsító adagolással** készültek, így a 28 napos eredmények az előírtnál átlagosan max. 20%-kal voltak magasabbak. Ez számunkra nem volt megnyugtató, ezért ez is még egy indok volt a cement váltásra. Az idő előrehaladtával látható, hogy a korábbi legmagasabb értékekhez hasonló eredmények voltak a legalacsonyabb eredmények. Az utolsó három hónapban átlagosan 0,5%-kal magasabb kötőgyorsító adagolással folyt a betonlövés annak érdekében, hogy a korai 30-45 perces penetrációk mérése után a hálószerelés biztonsággal megkezdődhessen. A vegyszeradagolás további növelése a 28 napos nyomószilárdságok csökkenését okozta volna.

A túlzott vegyszeradagolás másik negatívuma, hogy a beton túlságosan kiszárad mire a falhoz becsapódik, ezért annak tömörsége nem lesz megfelelő. A nem megfelelő tömörségű betonnak a nyomószilárdságra negatív hatása van.

29. ábra: Löttbeton korai nyomószilárdságának grafikus ábrázolása – 1 napos nyomószilárdság fúrt magmintából





30. ábra: Löttbeton nyomószilárdságának grafikus ábrázolása: 28 napos nyomószilárdság fűrt magmintából



31. ábra: Fűrt magminták méretre vágás után



32. ábra: Fűrt magminták vizsgálat után

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az előzőekben leírtak alapján elmondható, hogy az alagútfejlesztés előrehaladásában nagy szerepet kapnak az előzetes vizsgálatok a geológiai és talajmechanikai környezetre vonatkozóan. A közben, kivitelezés során végzett előfúrások és mintavételek eredményeinek kiértékelése alapján kialakított biztosítási osztályok nagyban elősegítik a biztonságos munkavégzést és az előrehaladás megtervezését.

A löttbeton alapkeverék és a löttbeton minőségének meghatározására szánt idő nagyban elősegítette a későbbi biztonságos előrehaladást.

Az előzőekben részletezettek alapján fontos következtetéseket lehet levonni: a löttbeton alapkeverékhez alkalmazott cement megfelelősége, valamint a lövés során adagolt kötés-gyorsító mennyiségi kontrollja elengedhetetlen feltétele annak, hogy a löttbeton réteg funkcióját nagy biztonsággal betöltsék. A löttbeton egyenletes minősége, szakszerű felhordása és a minőség szigorú ellenőrzése nagy hangsúlyt kapott a biztonságos munkavégzésben.

6. IRODALOM

- Ajánlati Dokumentáció (2018) – III. kötet. Műszaki Előírások az M85 gyorsforgalmi út Fertőrákos csomópont – Sopron oh. szakasz a meglévő 84. számú főúti Határátkelőhelyhez történő ideiglenes visszakötéssel, valamint a 8647. jelű Sopron Ény-i elkerülő út kivitelezése, és a kiviteli tervek elkészítése tárgyában. 2018. szeptember 4.
- Kerékgyártó A., (2022) „M85 Alagútépítés változatos geológiai és geotechnikai környezetben” Hidász napok 2021 Előadásainak gyűjteménye, Lánchíd füzetek 29. pp. 98-107
- Kerékgyártó A. (2023) „M85 gyorsforgalmi út Bécsi-dombi alagútjának

építése” Hidász napok 2022 Előadásainak gyűjteménye, Lánchíd füzetek 35. pp. 161-164

Österreichische Bautechnik Vereinigung: Sprayed Concrete Guideline 2013. április

Tervezési beszámoló (2020) Utiber Kft. – Ecoroad Kft. Konzorcium, Hidroduna Kft. Zárt alagútszakasz ideiglenes megtámasztásának kiviteli tervei Tóth Sz., Németh F. (2021), „Sopron, M85 alagútépítés löttbeton munkái”, Betonújság, augusztus XXIX. évf. IV. szám pp. 26-27

MSZ 4798 Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon.

MSZ EN 14488-1:2005 Fialat löttbeton vizsgálata. Mintavétel friss és megszilárdult löttbetonból.

MSZ EN 14488-2:2007 Löttbeton vizsgálata. 2.rész. Fialat löttbeton nyomószilárdsága

Tóth Szilvia (1971) építőmérnök, szerkezetépítő, betontechnológus szakmérnök, az SDD Konzorcium főtechnológusa. 1997 óta a kivitelezésben dolgozik. 2005 óta az Innovia Minőségellenőrzési, Technológiai és Innovációs Kft. vezetője. Szakterülete: minőség-ellenőrzés, minősítés, technológia, a gyorsforgalmi és egyéb utak, kiemelt beruházások út-, híd-, vasút-, alagút-, valamint vízépítés területén.

IMPLEMENTATION OF THE BÉCSI DOMB TUNNEL – PART 1 CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF THE PRIMARY SHOTCRETE TUNNEL STRUCTURE

Szilvia Tóth

Construction of Bécsi-domb tunnel is made by Hungarian designers and contractors. The main construction processes are discussed in a series of articles. The first part of the series details the temporary structure of the pair of tunnels from a technological point of view. Safe construction of the temporary shotcrete structure posed a continuous challenge to the contractor and the technological and geological supervision. The time and cost implications of adapting to diverse geological conditions are very significant. Huge amount of data is generated during the production, installation and inspection of the shotcrete mixture of the temporary structure. In possession of this huge amount of data, in this article we also detail the reports made from the thousands of inspection results carried out on young shotcrete layers.