

3. A „KELENFÖLDI PÁLYAUDVAR” METRÓÁLLOMÁS KIVITELI TERVEZÉSE



Pál Gábor

A kelenföldi metróállomás építése és tervezése a résztvevők: tervezők, kivitelezők számára komoly kihívást jelentett. Az üzemelő vasúti pályaudvaron végzett munka szigorú technológiai fegyelmet követelt. A milánói módszer alkalmazása lehetővé tette a felszín csak időleges zavarását, a befejező munkáknak az üzemelő vasúti területen kívülre organizálását. A hazánkban újszerű technológiák alkalmazása értékes tapasztalatokkal gazdagította a résztvevőket.

Kulcsszavak: metró, mélyépítés, vasúti híd, aluljáró, résfal, alagút

1. HELYSZÍN

A 4. metróvonal kelenföldi állomása a Kelenföldi pályaudvar 28 vasúti vágánya alatt épül. Az állomás a metró-vasút kapcsolaton túl aluljáróként köti össze Kelenföldet és Órmezőt és csatlakozik a meglévő és fejlesztés alatt álló közlekedési kapcsolatokhoz. A szerkezet tervezését és építését jelentősen befolyásolta az üzemelő vasútállomás, melynek biztonságos üzemeltetését az építés alatt is meg kellett oldani.

2. ELŐZMÉNYEK

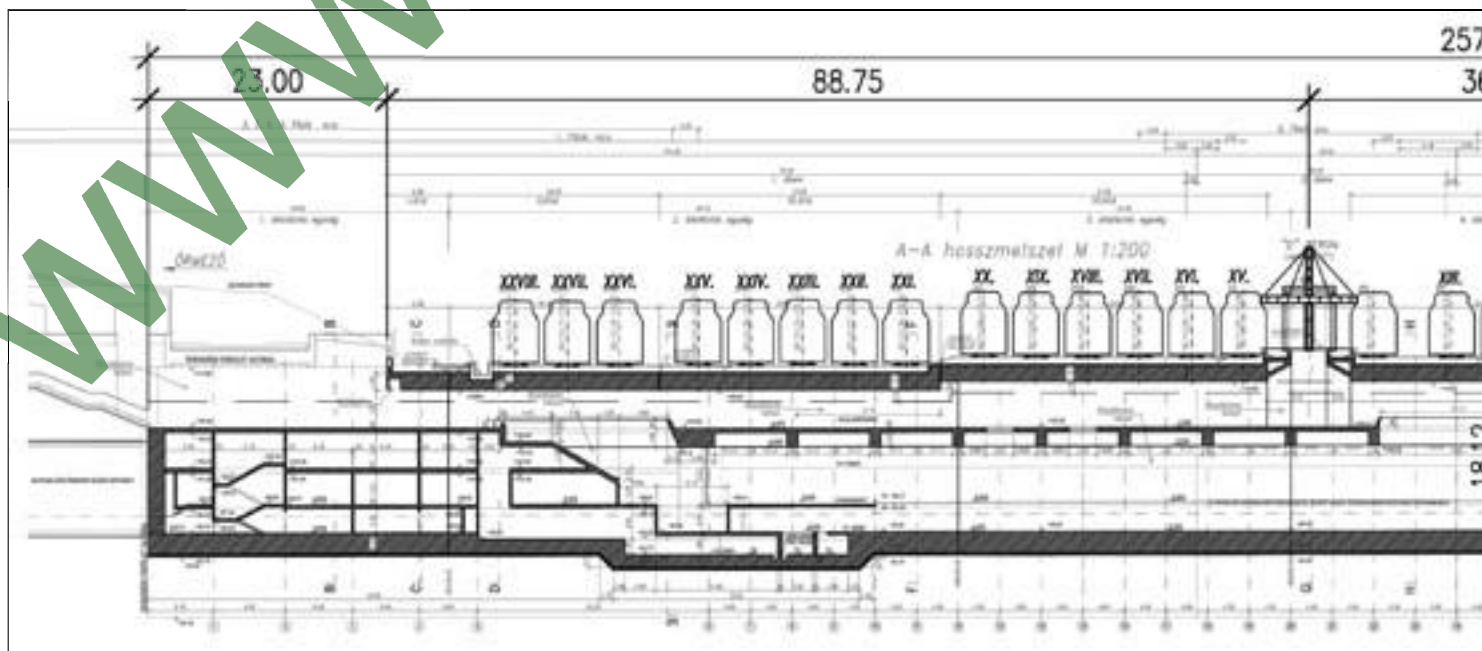
A metróállomás engedélyezési és tender terveit a Palatium Stúdió építészeti elképzelései alapján a Főnterv Zrt. készítette. Az e tervek alapján kiírt FIDIC sárga könyv szerinti tenderi a Hídépítő Zrt. nyerte 2007-ben. A tender-győztes kivitelező megbízásából a kiviteli terveket a Speciáalterv Kft. készítette. A megbízás az épülő teherhordó szerkezetek és a megépítéshez szükséges vasútállomás-átalakítás komplett kiviteli tervezését tartalmazta. Az engedélyezési és tender tervek alapján a vasút

alatti szerkezet, milánói módszerrel valósult meg, melynek lényege, hogy a felső födémelek elkészülte után a felszínt – ez esetben a vasúti pályát – visszaállítva történik a födém alatt a földkiemelés, a továbbépítés.

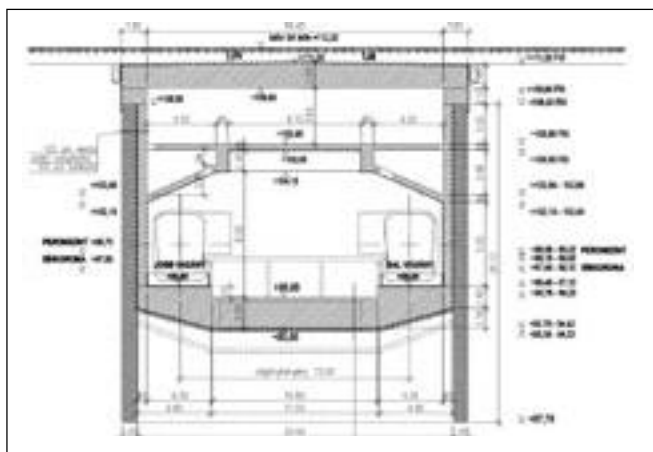
3. ÁLTALÁNOS ISMERTETÉS, ÉPÍTÉS

A vasúti vágányok alatt megépülő szerkezet az Etele téri oldalon a korábban megépített pajzsindító műtárgyhoz csatlakozik. Az aluljárós műtárgyszerkezet mintegy 260 m, mely az órmezői oldalon csatlakozó kihúzó műtárggyal együtt 340 m hosszúságú. A réselt szerkezetű kihúzó műtárgyból indul a 90 m hosszú bányászati módszerrel megépített alagút, tehát a teljes tervezett mélyépítési műtárgyhossz: 430 m, mellyel a kelenföldi állomás a DBR 4 metró leghosszabb állomása (1. ábra).

A műtárgy a vasúti vágányok alatti szakaszon két 22-23 m mélyre lenyúló, 1,00 m vastagságú résfallal épül, melyek 21,60 m tengelytávolságban helyezkednek el egymástól. A résfalak tetején épített résösszefogó gerendákon csuklós kialakítású vasalt kapcsolattal épült a zárófödém mely



1. ábra: Az állomás hossz-metszet



2. ábra: Vasúti hidak alatti általános keresztmetszet

funkcióját tekintve ágyazat átvezetéses vasúti híd (2. ábra). A zárófödém megszilárdulása után a felső felületen szigetelést, szivárgókat, ágyazatot és vasúti pályát építettek, míg „alul” a résfalak között történt a földkiemelés.

A résfalak közötti földkiemelés egy ütemben készült az alaplemez alsó síkjáig, mely cca. -18 m-en található a felszínhez képest. Ezen ideiglenes építési állapotban a résfalakra jutó víznyomást elkerülendő a réstáblákat ideiglenesen kilyukasztva „beengedték”, a kötött vízzáró talajban esetleg található rétegvizeket. Az alaplemez nyomatékbíró kapcsolattal csatlakozik a résfalhoz. Az erőátadó kapcsolat lentonok alkalmazásával történt (3. ábra). A lenton menetes betonacél toldó elem, ahol a hagyományos bordás betonacélok végét kúposra esztergálva csavarják rá a toldó hüvelyt. A hüvely átmenetileg szabad végét a betonozás idejére becsavart műanyag kupakok zárják. E kupakokat kell a résfalak kibontása után a felületi beton alatt feltárni és a toldott betonacélokat ezek helyén becsavarva csatlakoztatni.

Az alaplemez betonozása után a bélésfalak vasszerelése és betonozása készült el. E falak jelentős része látszó beton felület, melynek esztétikus megvalósításához speciális felületű zsalu, betontechnológia és szigorú technológiai fegyelem szükséges (4. ábra).

Az állomás peronok alatti szakasz legnagyobb részén ferde kítamasztású födém készül (5. ábra).

A felső aluljáró szintről a vágányok közötti peronokra liftek, lépcsők és mozgólépcsők biztosítják a kapcsolatot. A földalatti



3. ábra: Résfal-alaplemez kapcsolata lentonok alkalmazásával

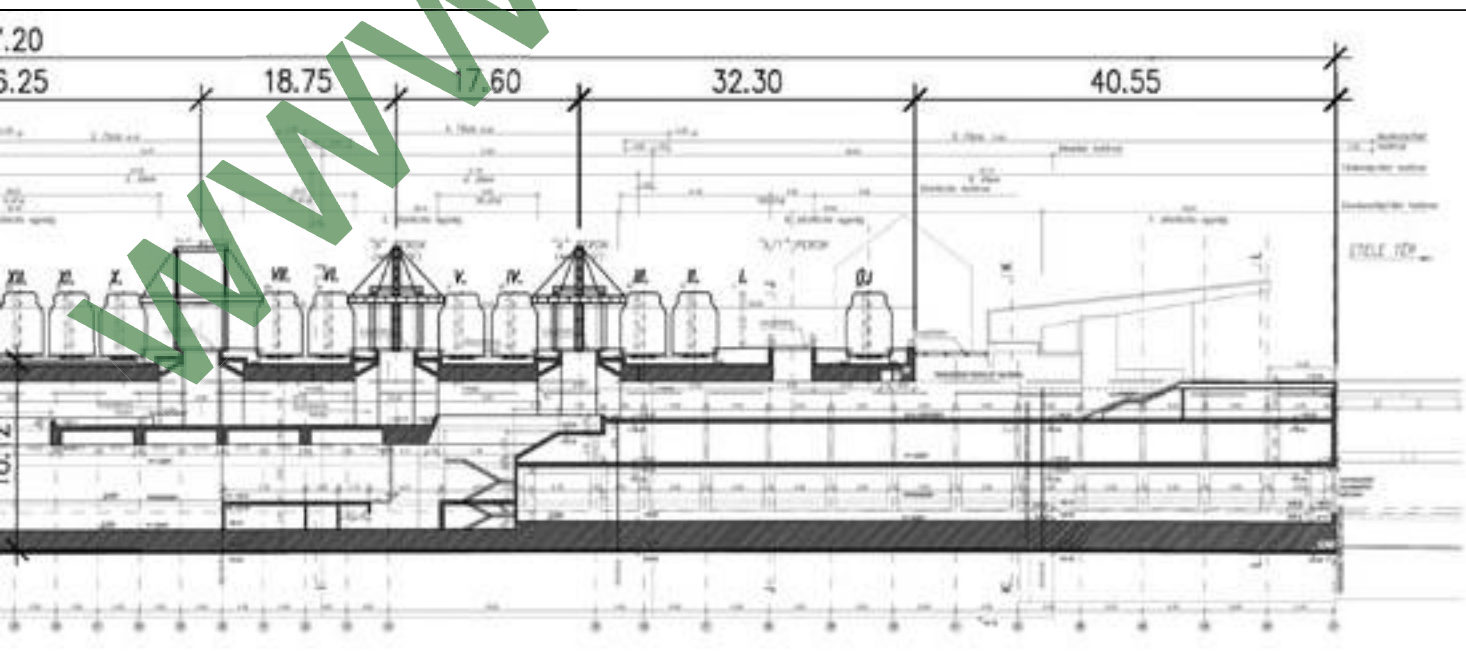
műtárgy építésével párhuzamosan a perontetők is átépültek. Az új perontetőkhez a meglévő perontetők formavilágával azonos toldalékok készültek.

A műtárgy építése a felszínen a vágányokkal együtt a teljes állomást kiszolgáló vasúti rendszert keresztezi, tehát a felsővezetéki hálózatnak, a jelzőknek és a biztosító berendezéseknek a kiváltásait is meg kellett tervezni. A biztonságos üzemelés feltételeit minden egyes építési ütemben biztosítani kellett, e terveknek minden fázisra külön-külön el kellett készülni.

Az állomást keresztező építési munkákat öt egységre bontva végezték. Az üzemelő vasúti vágányokkal körbehatarolt belső építési egységeknél, mint „szigeteken” kellett a résfal és vasbeton szerkezet-építést szervezni. A vágányok közötti építés komoly technológiai nehézségeket vetett fel. A kétoldalt üzemelő felsővezetékek tovább nehezítették az építési terület kiszolgálását, daruzást, réselést.

A betonbejuttatás a meglévő aluljárón keresztül az utastér lekorlátozásával betonozó csöveken keresztül történt. Az építési anyagok ki és bejuttatása vasúton: az átépülő vágányokon keresztül zajlott.

Az örmezői oldalon csatlakozó kihúzó műtárgy két szer-





4. ábra: Látszó-betonfelület kivitelezése



5. ábra: Ferde kitámasztású födémszakasz kizsaluzva

kezeti egységből: egy 80 m hosszúságú résfalak között épülő vasbeton szerkezetből és egy 90 m hosszú bányászati módszerrel megépített alagútból áll. A vasbeton szerkezet a vasút alatti részhez hasonlóan milánói módszerrel készült, azonban itt nem a zárófödém, hanem egy közvetlenül a metróúrszelvény feletti közbelső födém tölti be a kitámasztó funkciót. A rést a szerkezetből induló bányászati módszerrel készülő alagút egy keresztmetszetben fogadja az átmenetileg metró végállomásként funkcionáló állomás metrószerelvényeit. Távlatban ezen alagút folytatásával lehet a metróvonalat kiterjeszteni Budaörs irányába (6. ábra).

6. ábra: „NATM” alagút elkészült külső héjja



4. SZERKEZETI RÉSZEK, STATIKAI MÓDSZEREK

4.1 Résfalak

A műtárgyépítéssel érintett területen a feltöltés alatt oligocén kiscelli agyag található.

A résfalak végleges statikai állapotának méretezése a felszíni terhelések, nyugalmi földnyomás és az oldalfalakon a teljes felületen figyelembe vett víznyomás figyelembe vételével történt. Az ideiglenes állapot méretezése során talajvízzel mindössze a felső „mállott közepes és kövér agyag” rétegekben számoltunk. A mélyebben fekvő „ép közepes és kövér agyagot” vízzárónak tételezve, e rétegben építési állapotban víznyomást nem vettünk figyelembe, így lehetővé vált a zárófödém alatt az alaplemez alsó síkjáig történő (közel 16 m-es) együtemű földkiemelés.

Ennek a feltételnek a tényleges teljesülését biztosítandó, a vízzárónak tekintett rétegben a 100 cm vastag résfal mögötti esetleges víznyomást megszüntető, acél átvezető csöveket építettek be (armatúráként 2-2 db).

A földkiemelést geodéziai és inklinométeres ellenőrző mérések kísérték.

A végleges állapotban a résfalak már az alaplemezzel és a közbenső vasbeton szerkezettel kitémasztottan és a bélésfalakkal együtt viselik a rájuk ható terheket. A rés- és bélésfalak nincsenek együttdolgoztatva: így merevségeik arányában vesznek részt a teherviselésben. A vízzáró résfalak a csatlakozó peronlépcsőknél 60 cm, míg az aluljárós szakaszon 100 cm névleges vastagsággal készültek.

4.2 Zárófödém, mint vasúti híd

A metróállomás „zárófödémje” vasúti hídként funkcionáló vasbeton lemezszerkezet, mely kéttámaszú tartóként viseli az ágyazat súlyát és a vasúti terheket. A földzsalun készülő monolit vasbeton lemezek vastagsága 1,45-1,60 m-ig változó, a vízelvezetés érdekében a felső felületek a támaszaik felé 1,5-1,5%-ot lejtjenek.

Az engedélyezési terv eredetileg tartóbetétes: vasalt betonba ágyazott hegesztett acél-főtartós hídszerkezetek építésével számolt. A kiviteli tervezés első lépéseként összehasonlító vizsgálatok készültek hagyományos tartóbetétes, egy újszerű tartóbetétes és az eredeti tervekkel azonos vastagságú monolit vasbeton szerkezet alkalmazhatóságáról. Az elvégzett statikai számítások alapján lehetővé lehetett összevetni az egyes szerkezetek gazdaságosságát.

Az újszerű tartóbetétes szerkezet esetében hosszában a gerincnél „felezett” hengerelt acélszelvények alkalmazását javasoltuk. A Németországban elterjedt megoldás szerint a hosszában elvágott tartó-gerincek speciális megmunkálásával segítik az együttdolgozást (7. ábra).

Az ily módon elkészített acélszerkezettel gazdaságosabb

7. ábra: „Felezett” hengerelt „I” szelvény tartóbetétes hidakhoz



8. ábra: Monolit vasbeton lemezhidák vasszerelése, látszóbeton zsaluzat



9. ábra: az „U” alaprajzú 3 vágányt átvezető „8. lemezhidák” építése

szerkezeti-acél felhasználást lehet elérni, mint a hagyományos tartóbetétes megoldással, azonban az építési (betonozási) állapotban jelentősen kisebb a merevsége, tehát sűrű alátámasztást igényel. Tekintettel arra, hogy jelen esetben földzsalun történt az építés, így lehetőség volt e szerkezeti rendszer előnyeinek kihasználására.

Végül a vágányok közötti építéstechnológiai nehézségek miatt, a felsővezetékek közötti acéltartók daruzásának elkerülése érdekében a szerkezetek monolit vasbeton lemez-hidakként épültek. A földzsalun készülő tömör lemez szerkezetek fővasalása két sorban elhelyezett 40 mm-es átmérőjű betonacélokából áll (8. ábra).

Az aluljáró födémét az építési ütemeknek megfelelően munkahézagok és vízzáró szigeteléssel áthidalt dilatációk tagolják. A dilatációk nyolc külön dolgozó vasbeton lemezt vagyis nyolc egymás mellett elhelyezkedő vasúti felszerkezetet eredményeztek. A lemezhidakon egyenként 2-5 db, összesen 28 db vasúti vágányt vezetnek át.

A lemezhidak peronok felőli szélén „látszóbeton” felületű konzolok készülnek. Ezek belső ürege a szellőzést biztosítja. Az építésszek szándéka szerint a lemezhidák között üveg-födémek biztosítanak az aluljáró szint nappali természetes megvilágítását.

A 8. lemezhidák alaprajzilag „U” kialakítással készült. A födém középső „felhasítása” az aluljárónak az új „A1” peronnal történő kapcsolatát biztosítja (9. ábra).

4.3 Belső vasbeton szerkezet

A résfalak között, a zárófödém alatt készülnek a belső vasbeton szerkezetek: az alaplemez, a peronszint, az aluljárósínti és gépészeti tereknél a „P_1” jelű födém.

Az alaplemez keresztirányban 1,40-2,70 m között változó



10. ábra: Alulbordás vasbeton födém

vastagságú, a résfalakba nyomatékbíróan bekötve. A „lenton” hüvelyes betonacél tóldóval kialakított kapcsolat lehetővé tette a kedvezőbb nyomaték-elosztást az alaplemez és a résfal között.

Végállapotban a szerkezet felúszással szemreztetve, mind globálisan, mind az alaplemez teherbírása szempontjából. Tekintettel a szerkezetnek a kemény vízzáró talajba történő beépítésére, a számításban figyelembe vett felhajtó-erő kialakulása feltehetően csak évekkkel, évtizedekkel az építés után várható.

Az aluljárószint a peronszint utasforgalmi része felett épül ferde kitámasztású alulbordás monolit vasbeton lemezként. (10. ábra) Vastagsága 40 cm, 7,0 m-ként 1,80 m magas bordával alátámasztva, melyek 1,80x0,80 m keresztmetszetű hosszbordába kötnek be. A ferde kitámasztással, bélésfalakkal a felső bordás lemez egy „keret” eredményez melynek méretezésénél több szempontot is figyelembe kellett venni. A szerkezet erőjátékát erősen befolyásolja a „keret” vízszintes megtámasztási módja, mely tekintettel arra, hogy a külső oldalon talaj „támaszt”, így hordoz bizonytalanságokat magában. A talajt elhanyagolva lehetett az egyik szélső állapotot kalkulálni, a vízszintes megtámasztást végtelen merevnek véve a másikat, míg a valóság a kettő között található. A két szélső esetben a nyomaték előjele is más a lemez jelentős szakaszán. Végül a talaj rugalmas megtámasztását figyelembe véve a biztonság javára kiválasztott két szélső érték között változtatva hoztuk létre a méretezéshez szükséges burkoló igénybevételi ábrákat.

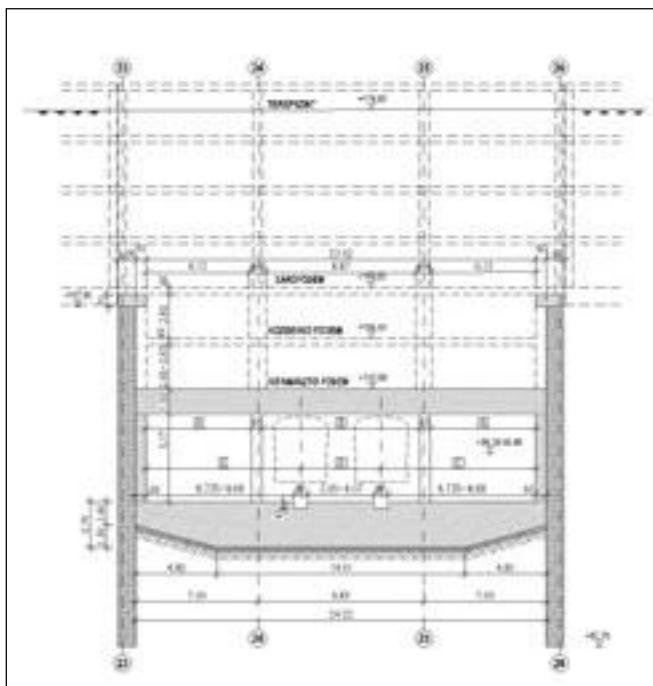
Az üzemi részek felett a födémek vasbeton pillérekkel és falakkal alátámasztott 40 cm vastag monolit vasbeton lemezek.

4.4 Ideiglenes lejáró rámpa

A mintegy 120.000 m³ föld kiemelését és elszállítását a felszín alatti 18 m-es mélységből a műtárgy délnyugati sarkában a vasútállomás szervízútjához csatlakozó ideiglenes lejáró rámpa biztosította. E rámpa az örmezői domb oldalában a mélyebb szakaszokon kitámasztott fűrt cölöpfal kialakítással, a kisebb mélységű részekben stabilizált földrézsisűvel készült. A cölöpfalak kialakítása hézagos. Az alkalmazott CFA fűrt cölöpök átmérője 80cm, hosszuk a bevágás mélységéhez igazodóan változó. Az alkalmazott vasalás az ébredő igénybevételeknek megfelelően erősített. Azokon a szakaszokon, ahol a bevágás mélysége és a szabadon tartandó úrszelvény mérete megengedte, az egymással szemben álló cölöpfalakat acél dúccok támasztják ki. A dúccok HEB300 acél szelvényekből készültek. A hengerelt gerendák a gerendák terheit elosztó vasbeton dúcgerendákra támaszkodtak (11. ábra).

11. ábra: Kitámasztott cölöpfalak között épülő ideiglenes lejáró-rámpa





12. ábra: Kihúzó műtárgy keresztmetszete

4.5 Kihúzó műtárgy

Az örmezői oldalon csatlakozó kihúzó műtárgy két szerkezeti egységből: egy 80 m hosszúságú résfalak között épülő vasbeton szerkezetből és egy 90 m hosszú löttbetonos alagútból áll. A réselt vasbeton szerkezet a vasút alatti részhez hasonlóan milánói módszerrel készült, azonban itt nem a zárófödém, hanem egy közvetlenül a metróúrszelvény feletti 140 cm vastag közbenső födém tölti be a kitámasztó funkciót. A résfalak tetején résösszefogó gerenda, belső felületükön belésfalak épültek, az alaplemez a résfalakhoz itt is lentonok segítségével nyomatékbróan kapcsolódik.

A közbenső kitámasztó födém első ütemben kéttámaszú tartóként viselte a terheit, majd végállapotban az alatta elkészített alaplemezből megépített pillérekkel vált alátámasztottá (12. ábra).

A réselt vasbeton „dobozhoz” csatlakozó NATM alagút két metrószerelvény részére nyújt elegendő keresztmetszetet. A bányászati módszerrel épülő NATM, vagyis New Austrian Tunneling Method (Új Osztrák Építési Módszer) lényege, hogy az egyes fejtési ütemekben betonacélokba kialakított rácsos tartókat és betonacél hálót betonoznak be lövelt beton technológiával: így alakítanak ki egy külső héjat mely ideiglenes állapotban teherhordó alagútfalazatot eredményez. Az elkészült külső héj belső felületén készült a szigetelés majd a belső teherhordó vasbeton héj mely a végállapotban viseli a terheket.

A kihúzó műtárgy alagútjának teljes fejtési felülete 100 m². A fejtés egyoldali oldalvágattal és felbővítéssel készül. A körkörösén zárt héj vastagsága 0,30 m, az ideiglenes oldalfal vastagsága szintén 0,30 m. (13. ábra). Az elkészült alagútban vágányok közötti távolság 4,75 m.

Az alagútépítéssel párhuzamosan folyamatos monitoring rendszer üzemelt. Az alagútfalazat és a felszín elmozdulásait geodéziai mérések, a csatlakozó résfalak és a talaj mozgását inklinométeres és extenzométeres, a talaj- és rétegvizek adatait piezométeres mérésekkel követték.



13. ábra: Bányászati módszerrel épülő alagút építése, a második építési ütem fejtése elkezdve, még az első „szilvamarag” alakú lött-beton kéreg belső fala nincs elbontva

5. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A Kelenföldi pályaudvar alatti metróállomás komplexitásával, a megépült műtárgy méreteivel komoly kihívást jelentett a résztvevőknek. Statikus tervezőként a bányászatban megszokott, azonban szerkezettervezésben ritkán alkalmazott helyszíni mérésekkel korrigált tervezés jelentette a legnagyobb újszerűséget.

A gazdaságos építés érdekében alkalmazott statikai feltételezések – mint a talajvíznyomás mellőzése a kötött talajban - ellenőrzésére az építés során helyszíni mérések történtek. Amennyiben szükséges volt, úgy a mérési eredmények alapján korrigálhattuk a terveket, dönthettünk további segédstruktúrák alkalmazásáról vagy elhagyásáról. E módszer segíti a gazdaságos tervezést és elterjedten alkalmazzák a nagyléptékű, vagy a bonyolult és előre nem látható bizonytalanságot rejtő struktúrák megvalósítása során.

6. HIVATKOZÁSOK

- Schulek J. (2008): „A Budapesti négyes metróvonalon építése; Budapest negyedik metróvonal”, *Vasbetonépítés* 2008/4, pp. 102-108.
- Pál G. (2009): „Metróállomás tervezése a Kelenföldi pályaudvar alatt”, *Sinek Világa - VII. Vasúti Hidász Találkozó Különszám* 2009, pp. 74-79.
- SpeciálTerv Kft. (2007-2010): „Budapesti 4-es metróvonal I szakasz (Kelenföldi pályaudvar – Keleti pályaudvar között) „Vonalalagutak és kapcsolódó műtárgyak” 03. számú projekt „Kelenföldi pályaudvar metróállomás” szerkezettervezéséhez szükséges kiviteli tervek”

Pál Gábor (1970) okleveles építőmérnök, 1994 BME Építőmérnöki Kar, 1994-1999 FŐMTERV Zrt. tervező, 1999-től a SpeciálTerv Kft. ügyvezetője. Tevékenysége a több, mint 30 fős tervező szervezet vezetése, a műtárgytervezések szakmai irányítása és kontrolja. Az épülő DBR 4 metró „Kelenföldi pályaudvar” metróállomás főtervezője.

CONSTRUCTION OF BUDAPEST METRO LINE 4

3. Detail design of the „Kelenföld” metro station

Gábor Pál

The metro station called “Kelenföld railway station” is the head point of the 4th metro line of Budapest, it’s located beneath the 28 tracks of Kelenföld railway station. After its finalization, as a south-west gate of Budapest it creates an intermodal connection between the metro line and the railway system. The structure under construction is the first in Hungary built underneath a railroad station with a separate level junction. The design and construction of this metro station imposed a serious challenge on the designers and contractors. To work on a railroad station in operation requires very strict technological concentration. Applying the top-down excavation method ensured a restricted disturbance of the surface, finishing works can be carried out with an installation not affecting the railway areas.