

M0 Északi Duna híd pilonépítés geodéziai irányítása

Molnár Bence

Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, BME
FTVV Kft.



Az M0 Északi Duna hídról, melyet Megyeri hídnak neveztek el (*1. ábra*), az elmúlt napokban igen sokat hallottunk. A híddal kapcsolatos híreknek két fő vonulata volt, az egyik a közlekedési hatásokkal foglalkozott, a másik az építkezés befejezéséhez kapcsolódó használatbavételi engedélyek kiadásával, mely az engedélyek végleges kiadását hátráltatják.

A Nagy-Duna-ági hídon folyó építkezés sikerességének egyik feltétele a geodéziai irányítás, amely az FTVV Kft. feladata volt. A méréseket általában 3 fős csoportokban végeztük *Matlag Tamás, Magyar János, Szuromi Balázs és Körösi Attila* kollégáimmal.



1. ábra Az elkészült híd

1. Pilonépítés

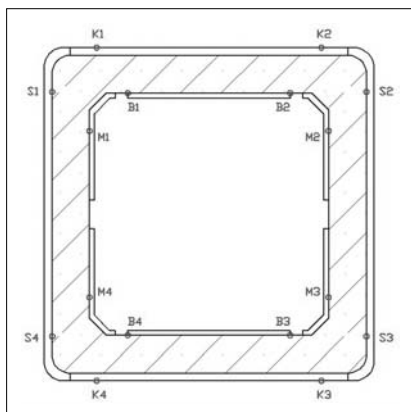
A Nagy-Duna-ági híd egy ferdekábeles híd, két vasbeton, „A” betűt formáló pilonokra függesztve. A pilonokat kúszózsarus technológiával építették, a pilonszárak dőlése $76,74^\circ$, magasságuk 100 méter. A pályaszerkezet szabadszerelésű acélhíd.

A 6-os számú pillér pilonszárainak geodéziai munkálatai 2007. március elején kezdődtek, amikor is a pillér tetején kitűztük a pilonszárak kontúrvonalait.

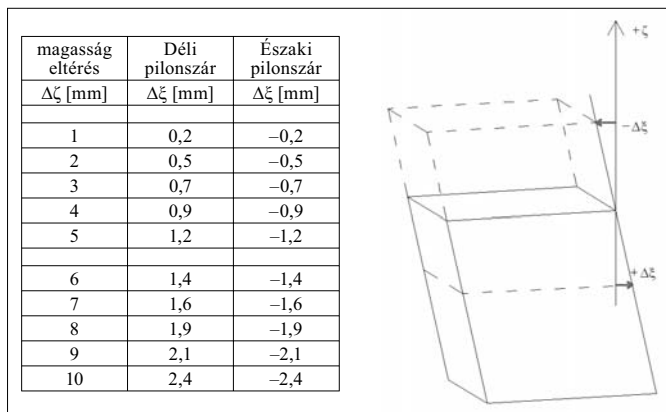
Geodéziai szempontból a felszerkezet közel 100 méter magas vasbeton pilonjai a legérdekesebbek. A pilonszáraknak hosszú távon nagy igénybevételeknek kell megfelelniük, így – a kivitelezés minősége mellett – a szerkezet geometriailag pontos megvalósítása komoly követelmény volt. Az önkúszó zsalu, a magasságból következő szűkös hely és nehéz hozzáférhetőség megnehezítette a kivitelezést. A szerkezeti felépítés mellett természetesen az esztétikai megjelenés is fontos volt. Az egymásra épülő munkák komoly szervezést, irányítást igényeltek, melyek a 29 szinten – zömönként – ismétlődtek, s mindez egyszerre történt a 4 pilonszáron.

A tervező által megadott pontossági igényeknek megfelelően a zsalutáblákat minden egyes szinten ± 5 mm tűréssel kellett beállítani úgy, hogy a táblák helyzete nem befolyásolhatta az egyéb műszaki követelményeket. A megvalósulás a betonozás után nem haladta meg a $\pm 1,5$ cm-es tűrési értéket. A két határérték közti különbség a beton bedolgozásából, tömegéből és a kötés közben kialakuló erőkből adódik.

A pilonszárak első 14 építési ütemében 4,07 méter magasságú, parabolikusan 1,0–0,5 méter között változó, csökkenő falvastagságú vasbeton zártszelvényt építettek, amelyek fa zsaluszerkezettel készültek. A következő 11 építési ütem, melyek a feszítőkábelek felső fogadó szerkezetét tartalmazzák, 2,55–3,30 méter magasak, szintenként földémmel. Az ezt követő szintek egyedi kivitelezéssel készültek. Itt helyezték el a speciális szerelvényeket (világítás, liftakna lezárása, jelzőfények, villámhárító), valamint a látványfokozó építészeti megoldásokat, melyek kisebb statikai jelentőséggel bírnak. A 100 méteres magasság következtében nagymértékű mozgások adódtak. Jelentős mozgásokat eredményeznek a hőtágulások, a széllekökések és a pálya terhelése. Mindemmel nem elhanyagolhatók az építés közbeni terhek: toronydaru, ferdekábel-feszítési ütemek, pályaelem-behelyezési ütemek. Mindezen mozgásoknak geodéziai szempontból azért van jelen-



2. ábra Mérőpontok



3. ábra Magassági korrekció

tősége, mert a zsalutáblák beállításakor az összes tervezői adatot korrigálni kell, melynek mértéke elérte a 10 centimétert is.

A hídépítés során másodperc megbízhatóságú mérőállomásokat (Leica TCRA 1201 R100) használtunk. Az építkezést egy alaphálózat kiépítése és meghatározása előzte meg, amely azonban a későbbiekben kevésnek bizonyult a meredek irányzások miatt. A folyamatosan készülő magasabb műtárgyak tetejére újabb mérőpillérek elhelyezése és meghatározása vált szükségessé, mellyel a szabadálláspontból való mérés bizonytalanságát, illetve a műszerállvány-csavarodást is kiküszöbölhettük, és szeles időben is folyhatott a zsaluállítás. A felhasznált hídpillérek mind nagy tömegűek, ezáltal nagy stabilitásúak, és legalább fél éve készültek, így a konszolidációjuk feltehetően befejeződött, mozdulatlanok tekinthetők. Ennek továbbá az az előnye is megvolt, hogy a hálózatot magassági értelemben is kiterjesztettük, ezzel növelve a hálózat magassági megbízhatóságát. Érdemes megemlíteni, hogy a Duna felett igen szeles, és a téli időszakban ködös időjárási körülmények közt kell az észleléseket végrehajtani.

A zsalutáblák beállítása a tervező által megadott adatok alapján történt. A zsalutáblán elhelyezett mérőpontok megjelölését fém lapokon elhelyezett furatokkal oldottuk meg, így biztosítva mindig ugyanannak a pontnak a mérését. A külső táblákon oldalanként 2 mérőpontot helyeztünk el, így összesen 8 pont beállítása volt a feladat. A belső táblák állítása az első 15 ütemben szintén 8 ponton történt, míg a többi szinten a 4 darab pontot állítottunk, melyek a készítendő födém alsó síkját határoló zsalutáblákon találhatók (2. ábra).

Az építési ütemek a belső zsalutáblák beállításával kezdődtek, ezt követte a külső zsaluk felkusztatása, majd a szerelvények, feszítórudak elhelyezése, illetve a vasszerelés. Ezután a külső zsaluk beállítása, majd – a kivitelezést irányító mérnök engedélye után – a betonozás következett. A beton szilárdulása 1–2 nap volt, ezt követte a kiszaluzás, az elkészült beton geodéziai ellenőrző mérése, majd a feszítórudak feszítése és injektálása. Ezen ütemek ismétlődtek, átlagosan hetente, s mindez párhuzamosan a 4 pilonszáron.

Az elkészült szerkezet a beton bedolgozása és a kötési feszültségek miatt a beállításakor megengedett tűréshatárnál jelentősen nagyobb eltérések jelentkeztek, de ezek a végleges szerkezetre vonatkozó előírásokban rögzített érték, 1,5 centiméter alatt maradtak, legnagyobb eltérés 2,9 centiméter volt. Ez a következő ütemek áttervezését vonta maga után annak érdekében, hogy ne legyen túl nagy ugrás a felület folytonosságában.

1.1 A zsaluállítás különlegességei

1.1.1 Magassági korrekció

A pilon szárai ferdék ($76,74^\circ$), keresztmetszetük folyton változik. Az építés során csak igen korlátozott mértékben használhatók a mérőállomások kitzűző funkciói és az építőiparban bevált függők, vízmértékek. Az alapvető probléma abból adódik, hogy ha egy pont más magasságban van, mint a viszonyítási pont, akkor a magasságkülönbség függvényében korrigálni kell a vízszintes elhelyezkedést is. Ez a korrekció centiméterenként 2 milliméter. A zsalutáblák beemeléskor a tervezett szinttől néhol 15 centiméterrel is más magasságra kerültek. A korrekciót a műszer kitzűző

funkciója által kiírt magassági eltérés alapján számítottuk, s adtuk hozzá a vízszintes irányú eltérésekhez. A zsaluállítás során csak a beton irányú koordinátát állítottuk az 5 mm-es hibahatáron belül, a másik vízszintes irányt centiméteres hibahatáron belül tartottuk. A magassági korrekció pontos figyelembevétele csak a ferde falsíkon lévő pontokon volt szükséges (3. ábra).

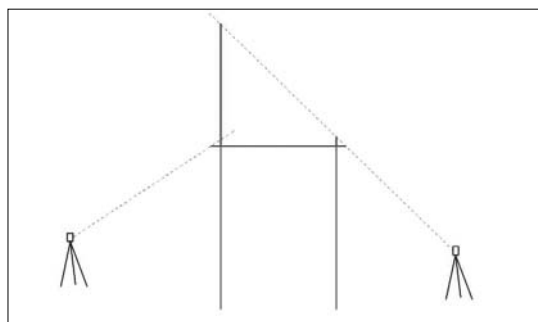
1.12 Part-meder irányú korrekció

A ferdekábel feszítések és a nagy hőmérsékleti hatások miatt egy part-meder értelmű korrekciót is alkalmaznunk kellett, melynek értékét mozgásvizsgálati eredményeinkből leszűrt tapasztalatok alapján, a tervezővel egyeztetve, minden mérés-kor meghatároztunk, és figyelembe vettünk. Ennek mértéke maximálisan 10 centiméter volt.

1.13 Egyidejű két műszeres zsaluállítás

A teljes zsalu-beállítás 3–4 órát vett igénybe, mire az összes pont egy időben a kívánt pontossági határon belülre került. Ez egyben azt is jelentette, hogy minden pontra több mérést végeztünk. Az észlelést nehezítette a meredek irányzást, illetve a magassági szögből adódó kitarakások, mely nagy prizmagasságot követelt, ami a pontosság rovására ment.

Ezért bevezettük az egyidejű két műszeres mérést (4. ábra). A két műszer a Duna két oldalán állt, és egymástól függetlenül a két műszerrel végeztük a beállítást. Minden zsaluállítás-kor közös pontot mértünk a két műszerrel, így ellenőriztük a közös rendszerben való munkát. Az eredmények minden esetben egyezők voltak, így az eljárást utólag is megfelelőnek mondhatjuk. Alapvetően nem újdonság, hogy két másodperces műszer egy rendszerben azonos eredményeket ad, a nagy távolságok, a nagy magassági szögek



4. ábra Két műszeres állítás előnye

és a Duna feletti mérés együttes befolyásoló hatásait tekintve a jövőbeli munkákhoz is meggyőző eredményt mutatott.

1.14 Ellenőrző mérések

A geodéziai méréseket, illetve dokumentálásukat az ISO 9001 minősítés szerint végeztük. A betonozás feltétele volt, hogy a műszaki ellenőrzést végző cég azt engedélyezze. Ezen engedély két részből állt; egyrészt a statikai ellenőrzésből, másrészt a geodéziai ellenőrzésből. Ez utóbbi azt jelentette, hogy a mérnök cég geodéziai részlege ellenőrző méréseket hajtott végre a beállított zsalutáblákra. Ezalatt a beállítást végző mérőcsoportnak a helyszínen kellett tartózkodnia, hogy az esetleges eltérés okát megtalálják és véglegesítsék a beállítást. Így elkerülhetővé vált a hibás beállítás. Volt rá példa, hogy különböző eredményeket adott az ellenőrzés, melynek oka egy alappont-elmozdulás volt.

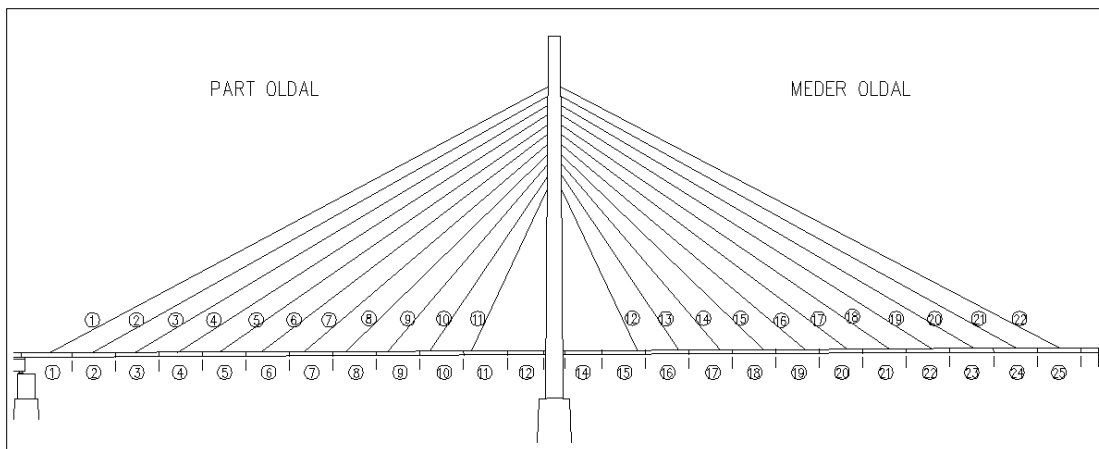
A beállításokat rendszeresen ellenőrizte a kivitelezést végző konzorcium belső ellenőre is, így nem volt ritka, hogy a Duna túlsó partján mérő műszerrel együtt egyszerre 4 műszer dolgozott.

1.15 Trigonometriai magasság meghatározás pontossága

Az ellenőrző mérések egyrészt a pontos beállítás biztosítékai voltak, másrészt egy fontos tapasztalati eredménnyel is szolgáltak. A mérési eredmények a trigonometriai magasságmeghatározás ellenére nem mutattak jelentős (maximum 4 mm) hibákat. A munka során ~10 000 mérést végeztünk, melynél több műszerrel, több álláspontból történő ellenőrzés volt, így a számunkra is meglepő eredmény, hogy a trigonometriai magasságmérés a gyakorlatban jobban alkalmazható mérnökgeodéziai munkálatokra, mint ahogy azt a szakma hagyománya tartja. A mérések közel 30°-os zenitzög és ~200 m-es távolság mellett, különböző típusú és márkájú műszerekkel történtek (Leica, Topcon, Sokkia). A pontossági adatok elemzése jó megbízhatósági értékeket mutattak.

2. Ferdekábelek, feszítések

Az „A” betűt formáló két vasbeton pilonra függeszkedik fel az acél pályaszerkezet 88 darab ferdekábelen keresztül. Mindkét pilonra 25–25 pályaelemet, valamint a középső, úgynevezett záróelemet terheltek rá. Így összesen 51 pályaelem



5. ábra A pályaelemek és a kábelek számozása

alkotja a Nagy-Duna-ág hidat, melynek középső nyílása 300 méter, maga a híd pedig összesen 591 méter hosszú. A ferdekábelek legyező formát mutatnak, a pilon 15. szintjétől kezdve szintenként indulnak, pilonszáranként két irányban 11–11 darab, a kábeleket alkotó pászmák száma 31 és 61 között változik az igénybevétel függvényében (5. ábra).

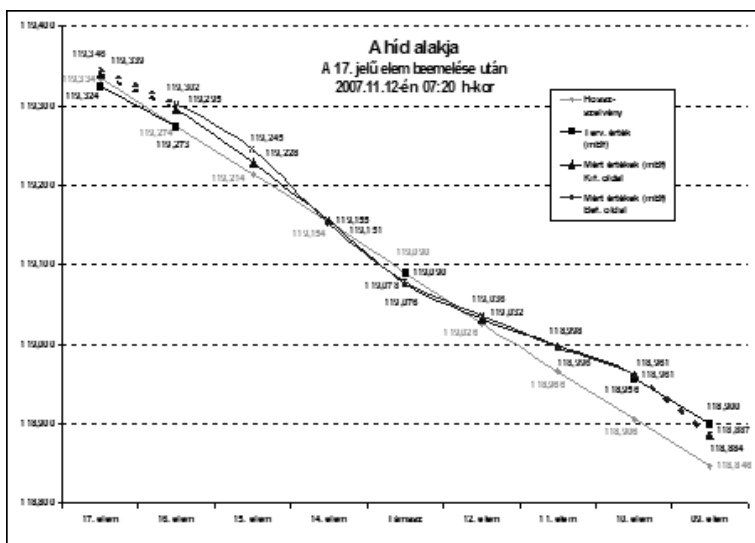
A pályaelemek behelyezése, illetve a feszítések több ütemben történtek. A 12 méter hosszúságú pályaelemek beemelése egyszerre csak egy oldalról történhetett, ezért ez mindig egyenetlen terhelést adott a pilonoknak, mely a túoldalal elem behelyezése után szűnt meg (6. ábra). A pilon úgy

működött, mint egy mérleg, aminek mutatója a pilon teteje volt, mely esetenként 10 centiméteres elmozdulást is elért.

A pilonok mozgását nem csak a pályaelemek behelyezése okozta, hanem jelentős volt a hőmérséklet miatti változás, illetve a kábelfeszítési ütemek is befolyásolták a pilonok mozgását. A pályalemez kialakításának folyamata a következő volt:

- part felőli pályaelem beemelése,
- meder felőli pályaelem beemelése, ezt követték
- átlagosan 5 nap hegesztési munkálatok, majd a
- part felőli oldal 70%-os feszítése,
- part felőli oldal 100%-os feszítése,
- meder felőli oldal 70%-os feszítése,
- meder felőli oldal 100%-os feszítése.

Munkánk ezért igen összetett volt. Egyrészt a kábel lehorgonyzó felső szerelvény beállítását végeztük el a zsaluállítások folyamán, valamint a kábel fogadó szerelvények külpontosságának ellenőrzését a pályalemezen. A beemelési munkálatok, illetve a feszítések után ellenőrző méréseket végeztünk a hajnali órákban a hőmérsékleti hatásokat kiküszöbölése érdekében. A mérések során elvégeztük a pályaalak szín-



6. ábra A híd alakja (egy elem hossza 12 méter)



7. ábra Kábel fogadó pont a pilonszáron és a mérő föliák



8. ábra Kábelpontok a főtartón

tezéses vizsgálatát, valamint a pilonszárak aktuális part-meder irányú dőlését. A következő munkafázisok geometriai adatait ezen mérések alapján adta meg a tervező. A szintezéseket csak a pilonszárak tövéből végezhetjük, ahol a mérés ideje alatt mozdulatlan volt a pályaszerkezet.

A pályaelemek beállítását az acélszerkezetet készítő GANZ Zrt. munkatársa végezte, ahol a megengedett tűréshatár 5 mm volt. A beállítások ellenőrzése a mi feladatunk volt.

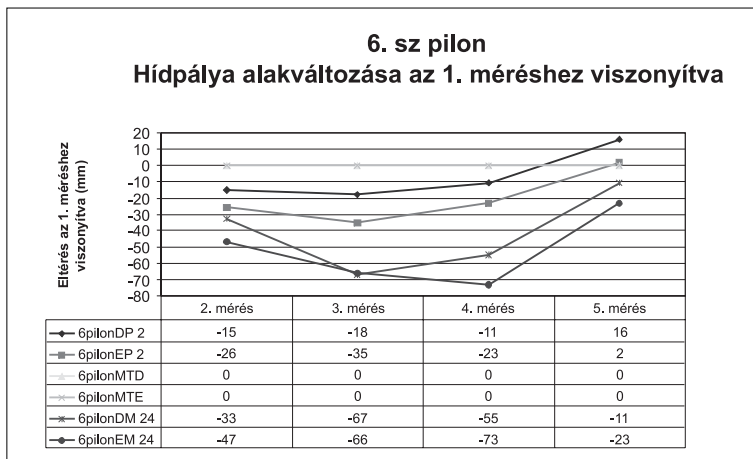
A feszítések hatását egy szintenként készült alapméréshez viszonyítottuk, így lehetett az elmozdulásokat mérni. Mivel egy-egy feszítési ütem, illetve egy-egy újabb pályaelem behelyezés a pilonszárak part-meder irányú dőlését nagyban befolyásolja, ezért ennek meghatározása igen fontos feladatként jelentkezett. Nehézséget jelentett, hogy a kábelek végpontjai nem mérhetők, így segédpontokat jelöltünk ki, ahová mérő föliákat ragasztottunk a mérés egyszerűsítése érdekében (7. és 8. ábra).

A pályatesten lévő pontokat három ponton mértük a szerelvények körszelvényei mentén, majd számítottuk a koordinátákat.

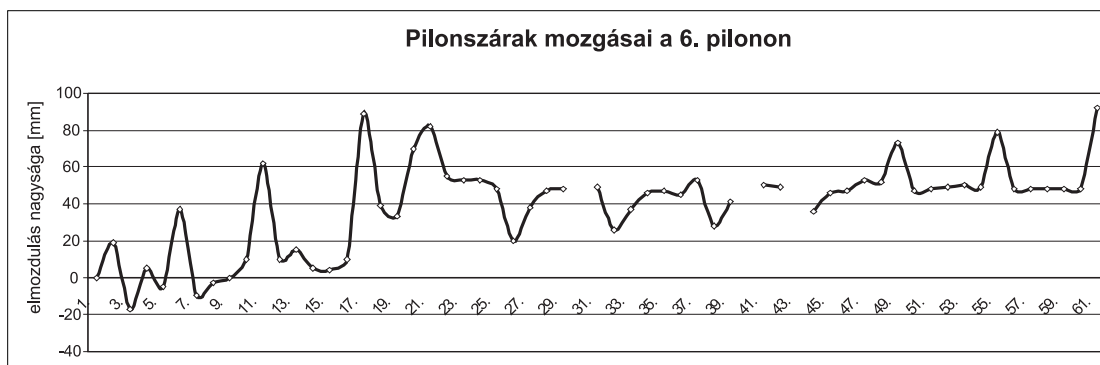
A hajnali órákban végzett munka feldolgozását a mérés után 15 perc alatt el kellett végezni, hogy a munka következő fázisához a tervező mihamarabb adatot tudjon szolgáltatni. Ezért minden mérést a lehetőség szerint egyszerűsíteni és automatizálni kellett.

Hőmérsékletek [°C]					
Levegő:	2,0°C, tiszta égbolt, napfelkelte				
Felszerkezet:			Pilon:		
MT-PDF	1,0	MT-PDA	4,0	EP-PK	6,0
MT-PEF	2,5	MT-PEA	4,5	EP-MK	6,0
				EP-PB	7,5
MT-MDF	3,0	MT-MDA	5,5	EP-MB	7,5
MT-MEF	2,0	MT-MEA	5,5		
				DP-PK	5,0
Támaszvonala:				DP-MK	4,0
DF	6,0	DA	4,5	DP-PB	6,5
EF	5,0	EA	4,5	DP-MB	7,0

9. ábra Hőmérsékletmérések 2007. 10. 21. 7:45



10. ábra Deformációmérés óránként



11. ábra Pilon mozgásai (mm)

A hőmérséklet hatása főleg a nyári időszakban jelentős volt, ezért minden mérést kiegészítettünk egy hőmérsékletméréssel a mért pontok környezetében (9. ábra).

A hőmérsékleti hatások követhetősége érdekében egy napsütéses nap alkalmával óránként teljes mérési sorozatot végeztünk a pályaalakra és a pilondőlésre vonatkozóan (10. ábra). Az önrányék jelentős hatást mutatott mind a pályatesten, mind a pilonszáron, melynek következtében különböző értékű csavarodások jelentkeztek.

A mozgások a pályatesten a 10 centiméteres nagyságrendűek voltak, a pilonszárak mozgása jelentősen függött a már elkészült kábelek számától, mivel azok nagy mértékben merevítették a szerkezetet. Az építés folyamán a kezdeti 10 centiméteres mozgásoktól eljutottunk a centiméteren belüli mozgásokig (11. ábra).

A két pilonon a munkálatok kezdetétől két külön álló, EOVBól levezetett helyi koordináta-rendszert használtunk, ennek azonban az volt hátránya, hogy a záróelem beemelésekor ez az eltérés hibaként jelentkezhetett. A lehetséges eltérés értékének meghatározására ellenőrző méréseket végeztünk. A különbség magassági értelemben színtezési méréseink alapján 1,5 centiméter volt a két rendszer között. Az elkészült pályán végiszíntezve ugyanez a különbség adódott, melyet az utolsó három elem beállításának módosításával egyenlítettünk ki.

3. Tapasztalatok

Az építmény magasságára és a pontossági igényekre való tekintettel az alaphálózat nem építhető ki klasszikus módon, egy időben. A hálózat magassági kiterjesztése szükséges, melyre az időközben elkészült, nagy tömegű, már konszolidálódott

műtárgyak adnak lehetőséget. A kialakított hálózat pilléreire végrehajtott méréseket a Duna mentén kialakuló nagyobb szelek sem zavarták.

A munkálatok kezdetén hibaforrásnak tekintettük a Duna vize feletti esetlegesen kialakuló párák környezetben való mérést, azonban tapasztalataink alapján ez nem befolyásolta a hibahatáron belül való észlelést. Ezt a két műszerrel egyidejűleg végrehajtott zsaluállítások igazolták.

A magassági eltérésekből, valamint a part-meder irányú mozgásból származó korrekciók számítása nem automatizálható, ezt azonnal mérés közben kellett elvégezni. Ez a mérést körülményessé teszi és jelentős hibaforrásnak tekinthető.

Az egész napos mérések során azt tapasztaltuk, hogy a napsütés, az egyenlőtlen felmelegedés a pálya alakját jelentős mértékben befolyásolja, ugyanakkor a pilonszárakra gyakorolt hatása elhanyagolható.

IRODALOM

- Detrekői, Á. (1991): Kiegyenlítő Számítások Tankönyvkiadó, Budapest
- Detrekői, Á.–Ódor, K. (1984): Ipari geodézia Tankönyvkiadó, Budapest
- Matlag, T. (2008): M0 Északi Duna-híd építésének geodéziai munkái, Budapest
- M0 Északi Duna-híd konzorcium (2007): Technológiai utasítás, Budapest
- M0 Északi Duna-híd konzorcium (2007): M0 Északi Duna-híd Látogatóközpont kiadványa, Budapest
- M0 Északi Duna-híd konzorcium (2006): Pilon műszaki leírás
- M0 Északi Duna-híd konzorcium (2007): Pilon geodéziai ellenőrzése

Argon-Geo Mérnöki Iroda (2006): Műszaki leírás, M0 autótút É-i szektor

Geodetic guidance of the construction of the M0 Northern Danube Bridge

Molnár, B.

Summary

The M0 Northern Danube Bridge is able to significantly support the traffic flow across the Danube and enables the reconstruction of other bridges of Budapest.

The construction of the bridge required accurate geodetic measurements. The main problems of the geodetic guidance were caused by the height differences and problematic visual perception resulting in horizontal discrepancies and required continuous correction.

During the high precision geodetic guidance work we had to find out new procedures, e.g. the simultaneous measurements by two instruments from the opposite riverbanks.

This paper discusses the complex geodetic work of the M0 Northern Danube Bridge

Tájékoztatjuk kedves olvasóinkat,
hogy a Magyar Földmérési,
Térképészeti és Távérzékelési Társaság
programjairól, híreiről
rendszeresen tájékozódhatnak honlapunkon is.

Címünk:

www.mfttt.hu

MFTTT vezetőség

