

HIDAK ÁLLAPOTROMLÁSA ÉS SPECIÁLIS DIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁSAI

dr. Orbán Zoltán, Balogh Tamás, dr. Orbán József

PTE-PMMIK

Szerkezetek Diagnosztikája és Analízise Kutatócsoport
(www.structuraldiagnostics.eu)

ÖSSZEFOGLALÁS

A meglévő hídszerkezetek állapot értékeléséhez és felújításának előkészítéséhez számos olyan szerkezeti és anyagjellemző ismerete szükséges, amely nem áll rendelkezésünkre a szokványos hídvizsgálatok eredményeként, vagy a meglévő tervek tanulmányozása alapján. Ilyen esetekben célirányos diagnosztikai vizsgálatokat kell végrehajtani, lehetőleg a szerkezet legkisebb mértékű károsításával. Az előadásban esettanulmányokon keresztül mutatjuk be a szerkezetdiagnosztikai módszerek hatékony alkalmazását a hidak felújításának előkészítésénél valamint a kivitelezési munkálatok minőségellenőrzésénél.

KULCSSZAVAK/KEYWORDS

Hidak, diagnosztika, rehabilitáció
Bridges, diagnostics, rehabilitation

BEVEZETÉS

A műtárgyak felújítása esetében érdemes a globális, a teljes szerkezetre kiterjedő felújítási koncepciót, technológiát betervezni. A tervező helyzetét lényegesen megkönnyíti, ha megfelelő mennyiségű és minőségű információ áll a rendelkezésére a szerkezetről, de legfőképpen annak aktuális állapotáról. Az állapot-meghatározás egyik hatékony gyakorlati eszköze a diagnosztika. Az elmaradt karbantartás, helytelen felújítás miatt a műtárgy tervezett élettartamának töredékében képes ellátni a feladatát és a romlási folyamatok előbb következnek be. A diagnosztikából nyert információk a felújítás teljes folyamata során hasznosíthatók, így minimalizálható a kivitelezés során előkerülő rejtett hibák mennyisége.

Kutatócsoportunk tevékenységi körének bemutatásán túl előadásunkban ismertetünk néhány olyan újszerű roncsolás-mentes diagnosztikai eljárást, amely lehetőséget ad a hidak állapot értékelése és felújítása szempontjából lényeges, de rejtett paraméterek megbízható és gazdaságos módon történő megállapítására.

A KUTATÓCSOPORT TEVÉKENYSÉGE

Kutatócsoportunk 2010-ben alakult a Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Karán a Szilárdságtan és Tartószerkezetek, valamint az Anyagtan, Geotechnika és Közlekedésépítési Tanszékek munkatársainak részvételével és laboratóriumainak eszközállományával. A kutatócsoport célul tűzte ki hidak és egyéb mérnöki szerkezetek károsodási folyamatainak kutatását, a különféle diagnosztikai módszerek hatékonyságának elemzését a szerkezeti károsodások felkutatásában, a szerkezetek állapotának és élettartamának értékelésére alkalmas módszerek kidolgozását, valamint a numerikus modellezési módszerek alkalmazását a szerkezetek megbízhatóságának valamint a maradék élettartamának megállapításához.

KUTATÁSI TÉMÁINK

Hidakkal kapcsolatos legfontosabb kutatási tevékenységeinket az alábbiakban foglaljuk össze:

1. KUTATÁSI TÉMA: FALAZOTT SZERKEZETEK OPTIMALIZÁLT DIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁSAI

A kutatás célja falazott szerkezetek mechanikai és szerkezeti jellemzőinek meghatározására olyan vizsgálati módszerek kidolgozása, amelyek a gyakorlati alkalmazás szempontjából megfelelő megbízhatósággal bírnak és a lehető legkisebb roncsolást okozzák a vizsgált szerkezetekben. A kutatás során laboratóriumi vizsgálatokat végzünk falazott próbatesteken, különböző vizsgálati módszerek felhasználásával (1. ábra).



1. ábra: Falazott próbatestek roncsolásos és roncsolás-mentes vizsgálatai

A laboratóriumi eredmények feldolgozását követően a vizsgálatokat kiterjesztjük tényleges szerkezetekre is (elsősorban hidak, falazott szerkezetű építmények – 2. ábra). A vizsgálatok eredményeként különböző roncsolás-mentes, kis roncsolással járó és roncsolásos módszerek megbízhatóságát hasonlítjuk össze és különböző szerkezet típusokra optimalizált vizsgálati algoritmusokat dolgozunk ki a szerkezet jelentőségének, műszaki és statikai állapotának megfelelően. A kutatási eredmények elsődleges felhasználási területei: műemlék és műemlék jellegű épületek teherhordó szerkezeteinek vizsgálata, falazott hidak és egyéb mérnöki létesítmények szerkezeti és statikai vizsgálata.

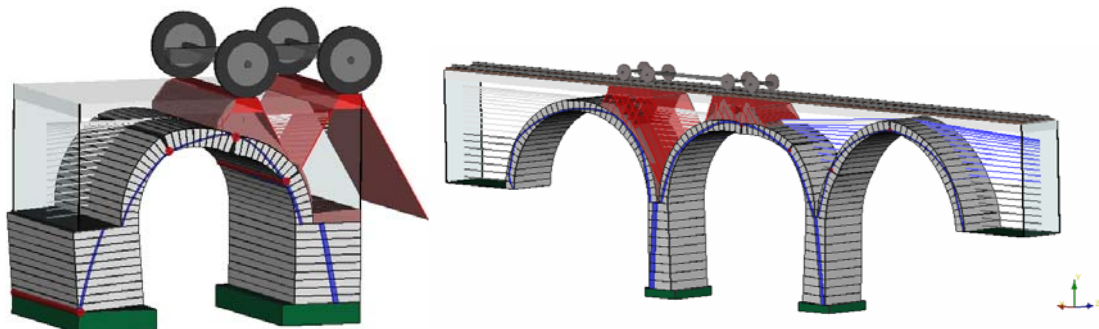


2. ábra: Falazott hídszerkezetek vizsgálata georadarral és infravörös hőmérsékletméréssel

2. KUTATÁSI TÉMA: FALAZOTT SZERKEZETŰ HIDAK ÉS ÉPÜLETEK ÁLLAPOT ÉRTÉKELÉSE A SZERKEZETI MODELLEZÉS ÉS DIAGNOSZTIKA ESZKÖZEIVEL

A kutatás célja falazott szerkezetű hidak és épületek többlépcsős állapot értékelési folyamatának kidolgozása. Az eljárás magában foglalja, és egy algoritmusban köti össze a szerkezeti modellezés numerikus módszereit és a számítások paramétereinek meghatározásához szükséges diagnosztikai módszereket. Az állapot értékelés illetve szerkezeti modellezés egyes szintjeihez diagnosztikai vizsgálati eljárásokat fejlesztünk ki. A diagnosztikai módszereket a numerikus szerkezeti analízis által megkívánt paraméterek meghatározása szempontjából optimalizáljuk. A kutatás eredményeként megbízható és költséghatékony eljárást dolgozunk ki falazott szerkezetek (elsősorban hidak és falazott építmények) statikai állapotának értékelésére, amely segítséget nyújt a szerkezetek jövőjével kapcsolatos döntések optimalizálásához és az esetleges beavatkozások előkészítéséhez. A kutatás eredményeinek elsődleges felhasználási területei: történeti építmények, falazott hidak és egyéb mérnöki létesítmények teherhordó szerkezetei.

A 3. ábra falazott hídszerkezet szerkezeti modellezésére mutat példát merev-blokk módszer alkalmazásával



3. ábra: Boltozott közúti és vasúti híd szerkezeti modellezése merev-blokk módszerrel

3. KUTATÁSI TÉMA: SZERKEZETEK ÁLLAPOTROMLÁSI FOLYAMATAINAK MODELLEZÉSE

A kutatás célja a mérnöki szerkezeteket alkotó építőanyagok degradációs folyamatainak elemzése kísérleti és elméleti úton. A vizsgált szerkezet típusok körébe tartoznak elsősorban a beton- és vasbeton szerkezetek, valamint a falazott szerkezetek. A kutatás során vizsgáljuk az építőanyagokban zajló degradációs folyamatok (pl. a beton illetve acélbetétek korróziója vasbeton szerkezeteknél, mállás illetve fagyási ciklusok okozta károk kőszerkezeteknél, sokszor ismétlődő terhelés okozta fáradási tönkremenetel vasbeton és falazott szerkezetek esetében) hatásait a szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságaira, azok statisztikai jellemzőire és a szerkezetek megbízhatóságára. A szerkezetek megbízhatóságának értékelésére valószínűségelméleti módszereket is alkalmazunk. A kutatás eredményeként egy olyan értékelési rendszert kapunk, amellyel egy adott károsodási szintről kiindulva, a szerkezetek várható élettartamát meg tudjuk becsülni, illetve az adott megbízhatósági követelményeknek megfelelően a beavatkozásokat optimálisan ütemezni. Az elméleti kutatásokon kívül a degradációs folyamatok nyomon követésére alkalmas roncsolás-mentes diagnosztikai és monitoring módszerek adott célú alkalmazhatóságát vizsgáljuk.

4. TÉMA: SZERKEZETEK REHABILITÁCIÓJÁNAK DIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁSAI

A kutatás célja diagnosztikai eljárások kidolgozása szerkezetek rehabilitációjánál alkalmazott műszaki megoldások hatékonyságának kísérleti igazolására. Kutatásunk az alábbi speciális területekre terjed ki: beton, vasbeton- és falazott szerkezetek rehabilitációja nagy

teljesítőképességű betonnal illetve szálerősítésű kompozitokkal, beton és falazott szerkezetek rehabilitációja injektálással. A kutatás során laboratóriumi vizsgálatokat végzünk próbatesteken valamint helyszíni vizsgálatokat az erre a célra kijelölt műtárgyakon, konkrét szerkezetrehabilitációs feladatokhoz kapcsolódóan (4. ábra). A kutatás eredményeként az egyes rehabilitációs beavatkozásokhoz minőségellenőrzési vizsgálati útmutatót alkotunk, amely egyrészt tartalmazza az egyes módszerek alkalmazástechnikai leírását, másrészt a vizsgálatok ütemezésének és mintaszámának illetve a vizsgálati pontok elhelyezkedésének javasolt kialakítását.



4. ábra – Helyszíni diagnosztikai eljárások

ESETTANULMÁNYOK

Az továbbiakban esettanulmányokon keresztül mutatjuk be a szerkezetdiagnosztikai módszerek hatékony alkalmazását a hidak felújításának előkészítésénél valamint a kivitelezési munkálatok minőségellenőrzésénél.

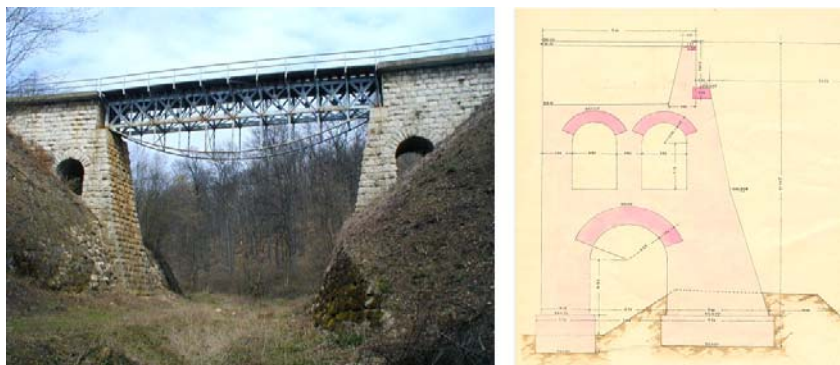
1. ESETTANULMÁNY: KŐANYAGÚ HÍDFŐ DIAGNOSZTIKÁJA

A vizsgálatot egy 1896-ban épült hegeszvas rácsos vasúti viadukt dolomit kőből készült hídfőin végeztük el (5. ábra). A szerkezet jelenleg is üzemben van, de a meglévő szerkezeti károsodások miatt megerősítése igen időszerű. A vizsgálat célja a szerkezet általános állapotának és ismeretlen anyagi és szerkezeti paramétereinek meghatározása volt különböző roncsolás-mentes (georadar és lyukradar, szeizmikus és lyuk szeizmikus vizsgálat) és kis roncsolással járó (lyukkamera, kis átmérőjű fúrt minták kémiai és mechanikai vizsgálata) vizsgálati módszerekkel.

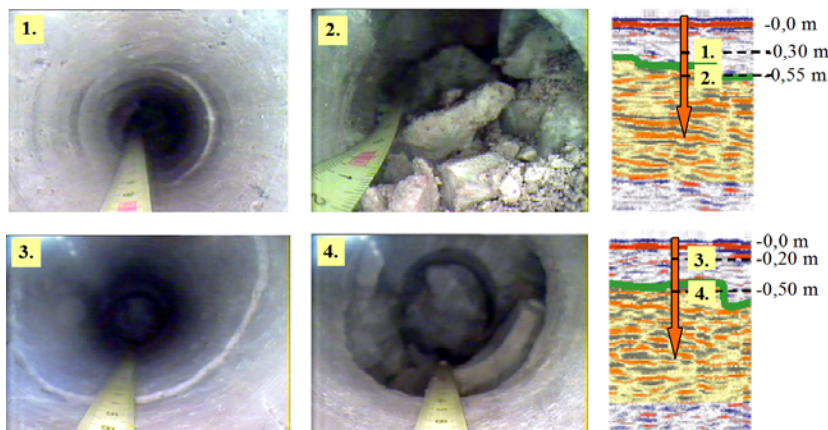
A 6. ábra a radarvizsgálatok és a lyukkamerás vizsgálatok összevetését mutatja a szerkezet két vizsgálati helyén. A jobb oldali radarszelvényeken sárgával jelölt sáv reflektáló tartományra utal. A lyukkamerás vizsgálatok egyértelműen igazolták, hogy a külső tömör kőréteg mögött törmelékes anyaggal kitöltött térrész található.

A szerkezeteken végrehajtott radarvizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy 450 - 900 MHz frekvencia tartomány közötti antennával végzett georadar vizsgálat alkalmas falazatok vastagságának, esetleges réteges felépítésének, valamint többrétegű falak esetén a falrétegek határvonalainak 5-10 %-os bizonytalansággal történő megállapítására. Lyukkamerás, vagy endoszkópos vizsgálatokkal történő együttes alkalmazás esetén a bizonytalanság 2-3 %-ra csökkenthető.

A radarvizsgálat segítségével továbbá körülhatárolhatók voltak a falazat szerkezeti és nedvesedési anomáliái (ilyenek: üregek, habarccsal nem megfelelően kitöltött tartományok, erősen repedezett vagy törmelékes tartományok, erősen nedvesedő helyek).



5. ábra: A viadukt oldalnézete és a hídfő eredeti terve

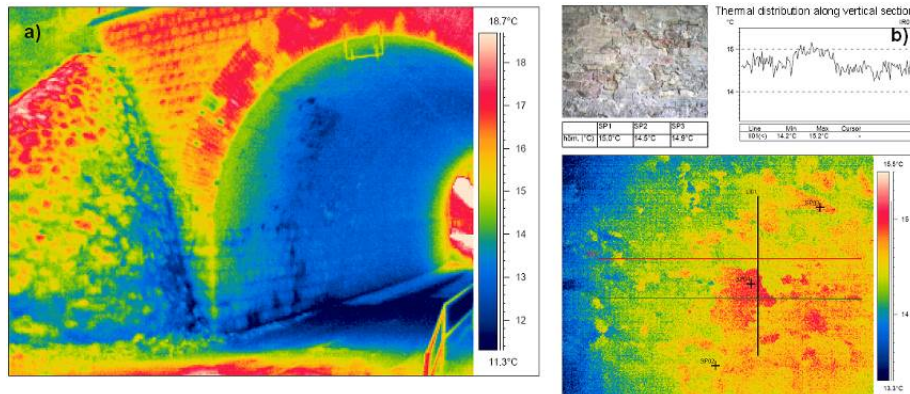


6. ábra: A felmenőfalon mért radarszelvények összevetése a lyukkamerás vizsgálatokkal

2. ESETTANULMÁNY: BOLTOZOTT HIDAK DIAGNOSZTIKÁJA INFRAVÖRÖS HŐMÉRSEKLETMÉRÉSEL

A vizsgálat sorozatot különböző anyagú és kialakítású boltozott vasúti hidakon végeztük el annak meghatározása érdekében, hogy az infravörös hőmérsékletmérés miként integrálható előre tervezhető módon a komplex, roncsolás-mentes helyszíni vizsgálatok körébe. Az

infravörös hőmérsékletmérés az „in situ” távérzékelési módszerek körébe tartozik. Az eljárás során az esetleges szerkezeti hibák kísérőjelenségei útján olyan műszaki információkat nyerünk, melyek segítenek a részletesebb vizsgálatot igénylő tartományok kijelölésében. A 7. ábra néhány jellegzetes felvételt mutat be az infravörös hőmérsékletméréssel elvégzett mérésekből.



7. ábra: Téglá boltozat hőfelvételei. A sötétkék színek átázási helyekre utalnak. Jobb oldali kép: réteges felületi leválás megjelenése hőfelvételen (vörös színek)

3. ESETTANULMÁNY: FOLYAMI HÍDPILLÉR DIAGNOSZTIKÁJA KÜLÖNBÖZŐ RONCSOLÁS-MENTES MÓDSZEREKKEL

A vizsgálatokat egy 19. sz. végén épített Duna-híd mederpilléreire végeztük el (8. ábra). A pilléreket pneumatikus módszerrel alapozták, felmenő faluk gránitból készült, melyet betonnal illetve úsztatott betonnal töltöttek ki. A háborús eredetű károsodások és a híd többszöri átépítése miatt a pillérek állapota és teherbírása megkérdőjelezhető volt. A vizsgálatok célja a mederpillérek belső állapotának (elsősorban inhomogenitásainak) feltérképezése volt lehetőleg roncsolás-mentes módszerekkel.



8. ábra: A déli-összekötő Duna-híd mederpillére és háborút követő újjáépítése

A vizsgálatok során az alábbi módszereket alkalmaztuk: szeizmikus tomográfia, georadar, lyukradar, videoendoszkópia, kis átmérőjű fúrt minták vizsgálata. A geofizikai mérések értelmezésének segítésére 18mm átmérőjű furatokon keresztül videoendoszkópos vizsgálatot végeztünk, valamint a pillérek alkotóanyagainak szilárdsági vizsgálatára kis átmérőjű (50 mm) magmintákat vettünk. A vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a pillér kitöltő anyaga egy bizonyos mélységszint alatt rendkívül inhomogén, repedéseket és üregeket tartalmaz. Ezt az inhomogenitást leginkább a szeizmikus és a lyukradaros vizsgálatok voltak képesek kimutatni, míg a videoendoszkópos vizsgálat segítségével a belső üregrendszerrel látványos, igazoló felvételeket kaptunk.

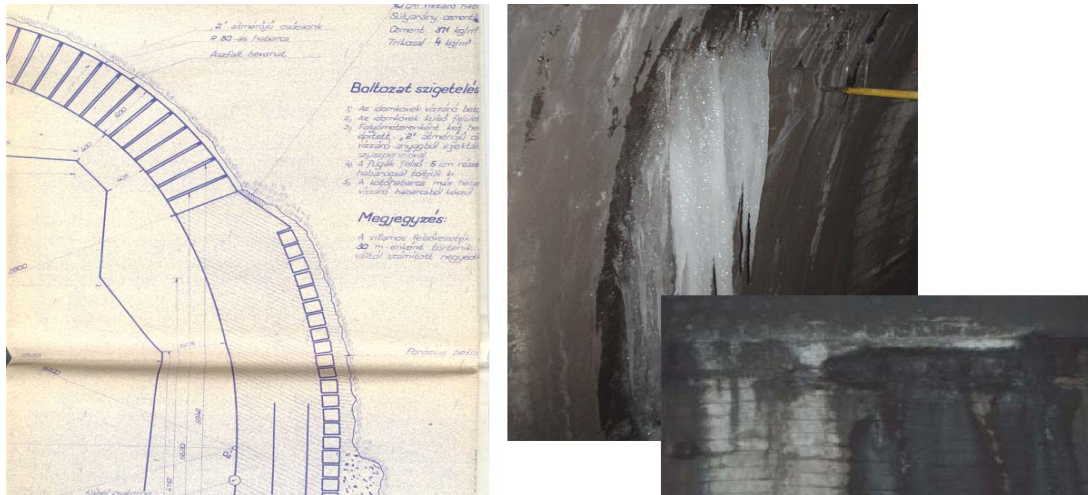
4. ESETTANULMÁNY: VASÚTI ALAGÚT FELÚJÍTÁSÁT MEGELŐZŐ VIZSGÁLAT

Az utóbbi évek téli időszakaiban több helyen a vonatközlekedést zavaró jégcsapképződés, valamint felsővezeték szakadás alakult ki egy 1970-es évek elején épült vasúti alagútban (9. ábra). A kialakult helyzet miatt szükségessé vált, hogy az alagutaknál korábban alkalmazott építési és szigetelési technológiákat felülvizsgáljuk, az átázások okait felderítsük, és ez alapján megtaláljuk az optimális megoldást.

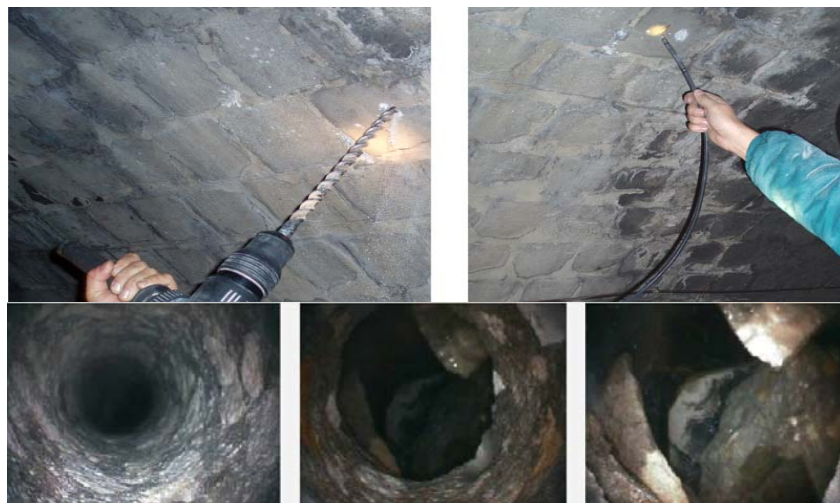
Az eredeti tervdokumentáció szerint a tetőboltozat, valamint az oldalfalazat egy része nagyszilárdságú beton idomkövekből, míg az oldalfalazat a horizontális sugártól lefelé eső része monolit vasbetonból készült. A terv szerint a tetőboltozat és az oldalfalak idomkövei és a helyszíni betonozás vízzáró betonból készültek. Az idomköveket vízzáró cementhabarcsba rakták, a felső fugarészeket bitumenes habarccsal töltötték ki a vízzáróság fokozása végett. A műszaki leírás szerint csak a boltozatok szigetelését tervezték, ugyanis az alagút oldalfalai mögött szivárgókat építettek. A szivárgóktól azt várták, hogy az alagút oldalfalát víznyomás ellen nem kell méretezni. Az oldalszivárgók vizét a pálya mellett tervezett kétoldali vízvezető csatornába kötötték be. A boltozat mögé (egy szelvényben kettő helyen), hosszirányban 3-4 m távolságokban, az idomkövekbe előre beépített csöveken keresztül bentonitos szuszpenziót injektáltak (megj.: a helyenkénti videoendoszkópos vizsgálatok ennek ellentmondanak).

A károsodások okainak felderítése céljából az eredeti tervdokumentáció és a kivitelezéssel kapcsolatos feljegyzések tanulmányozása mellett videoendoszkópos vizsgálatokat végeztünk (10. ábra). Az alagút eredeti tervdokumentációjának áttanulmányozása után valószínűsíthető volt, hogy az oldalfal építése során az egyes fogások között, a kényszerleállások miatt repedések, munkahézagok alakulhattak ki

melyeket külön lezárással, tömítéssel nem láttak el. A videoendoszkópos vizsgálatok igazolták, hogy az építkezés során a boltozat mögé nem történt vízzáróságot biztosító, megfelelő injektálás annak ellenére, hogy a műszaki leírás ezt tartalmazta (10. ábra).



9. ábra: Az alagút keresztmetszete és átázási problémái



10. ábra: Videoendoszkópos vizsgálatok végrehajtása az alagút falzatán keresztül

5. ESETTANULMÁNY: A PÉCSI ÁRPÁD-HÍD FELHAJTÓÁGÁNAK FELÚJÍTÁSA

1973-ban Pécsen a belvárosi többsávos felüljáróhoz felhajtóágot építettek a forgalom hídra való vezetése és a torlódások elkerülése. Az ívben fekvő 9 támaszközű monolit vasbeton felhajtóág hossza 137,23 m. A híd felszerkezete Gerber rendszerű, többtámaszú tartó. Az elkészült felhajtóág egysávos, a felszerkezet teljes szélessége 7,50 m, melyből 6,50 m az útpálya szélessége, a két oldalán 0,50 m szegélygerendával.

A hídon az építés óta csak kisebb, lokális javításokat végeztek, és 2000-ben pályaburkolat cserét, a mőtárgy teljes szerkezete az időjárás károsító hatásainak ki volt téve. Ezen körülmények együttes hatása miatt a hídszerkezet állapota erősen leromlott és indokoltá tette a felújítást (11. ábra). 2009. évben felújítási terv készült, melynek munkafolyamatait és mértékét a tervező szerkezetfeltáró- és diagnosztizáló vizsgálatok nélkül határozta meg és ez magában hordozta annak lehetőségét, hogy nem a szükséges mértékű és megoldású szerkezet-felújítás került betervezésre.

A felújítási technológia és tervdokumentáció felülvizsgálata és a szerkezet részletes állapot-értékelése érdekében kiterjedt diagnosztikai vizsgálatok végrehajtására került sor.

A látható károsodások indokolták a teljes szerkezet vizsgálatát. A pályaburkolatról lejutó és a felszerkezeten végigfolyó csapadék és csurgalékvizek folyamatosan károsították a mőtárgy vasbeton anyagát, melynek jelei megfigyelhetőek voltak a monolit vasbeton felszerkezeten és a pilléreken is. A pilléreken és a teljes alépítményen megfigyelhető volt a betonfedés nagy felületű leválása (11. ábra), a betonacélok erős korróziós károsodása. A későbbi felújítási kivitelezési munkálatokhoz tájékoztató nyomószilárdság és tapadószilárdság vizsgálatokat végeztünk, melynek eredményei megfelelőek voltak.



11. ábra: A pillérkonzolok károsodása, a betonfedés táblás leválása a pilléreken

Az alépítmény után a pályaszerkezet vizsgálata következett. Meghatározó kérdés volt a 4 mozgó alátámasztásnál beépített dilatációs szerkezet állapota, mivel a felújítási összeg tetemes részét az új dilatációs szerkezetek beépítése jelentette. A pályaszerkezeten a dilatációknál gépi és kiegészítő kézi feltárást végeztünk, megállapítást nyert, hogy a dilatációs szerkezetek állapota kielégítő, a felületi rozsdásodás és a dilatációs gumiszalag kivetődése volt megfigyelhető.

A pillérekon a mozgó alátámasztásoknál ejtőcső volt beépítve, viszont az ejtőcsövek víznyelő aknái a pályaburkolaton nem jelentek meg. A víznyelő csatlakozások felderítésének érdekében pályabontást végeztünk a dilatációk környezetében is, az ejtőcsövek csatlakozásai megvoltak, a víznyelők korábban elbontásra kerültek, a helyük le lett fedve vaslappal (13. ábra).



12. ábra: A dilatációk állapotának vizsgálata videoendoszkóppal

Vizsgáltuk a pályaburkolati rétegrendet is, a beépített burkolatszivárgó kavicsagyazata erősen nedves volt, annak ellenére is, hogy a vizsgálat időpontja előtt is már több hete nem esett csapadék (13. ábra).



13. ábra: Vaslappal lefedett víznyelő, nedves kavicsagyazat a burkolatszivárgó mellett

A feltárások után kijelenthető volt, hogy a pályaburkolaton nagymértékű csapadék gyűlik össze, mely a szerkezetbe, valamint a szerkezet szegélygerendáinak résein keresztül a pillérekon lefolyik, nem jut el a műtárgy hídfőjénél elhelyezett víznyelő aknáig.

A pályaszerkezeti módosítás – a víznyelők leaszfaltozása – a műtárgy szempontjából kritikusnak bizonyult. A vízelvezetési hiányosságok miatt a

híd tartószerkezeti elemein olyan mértékű károsodási folyamatok voltak kimutathatók, amely híd rövid időn belüli felújításának elmaradása esetén a károsodások intenzív előrehaladása miatt a szerkezet használhatóságát veszélyeztette.

A 2009. évben készült felújítási terv a szerkezet állapotának további romlása és a tervdokumentáció alaposágának hiánya miatt aktualitását veszítette.

2012 tavaszán részletes felújítási tervdokumentáció készült, mely figyelembe vette az állapotfelmérés és a diagnosztikai vizsgálatok eredményeit, megállapításait és javaslatait a felújítási technológiához. A meglévő dilatációk teljes bontása helyett kompatibilis dilatációs szerkezeteket tervezett be, a menthető szerkezeti elemeket helyreállítja, valamint a vízvezető rendszert az eredetivel megegyező állapotra állítja vissza.

Sajnos a megfelelő átgondoltsággal és körültekintő tervezéssel elkészült felújítási terv aktualitását veszítette, amikor 2012 júliusában a műtárgy szegélyelemeinek darabjai elkezdtek lehullani (14. ábra). Az elkészült felújítási terv módosítást igényelt, az előrehaladott károsodások miatt 30 km/h-s sebességkorlátozás lépett érvénybe.



14. ábra – A szegélyek betonfedésének leválása

2013 július elején a felújítás kiviteli munkának megkezdésekor a teljes szerkezet beállványozása és az alépítmény leváló felületeinek bontása után világosan látható volt a károsodások mértéke. A pillérek, a pályalemez és a szegélyelemek betonacéljainak védelme, reprofilozása és lőttbetonnal történő helyreállítása a pályaszerkezet bontásával párhuzamosan történt meg.

A pályaszerkezeti rétegrend bontása és a teljes pályaszerkezet helyreállítása a felújítás központi feladata volt. Az útpályaszerkezet teljes felbontása és a nyers szerkezet előkészítése és a felület kiegyenlítése

után az új víznyelők, a teljes szigetelési és szivárgórendszer beépítése következhetett (15. ábra).



15. ábra: Kibontott víznyelő a pályaszinten, beépített új víznyelő és burkolatszivárgó

Az új dilatációs szerkezetek beépítése megtörtént a meglévő dilatációk bentmaradó acélszerkezeti elemeire (16. ábra), figyelembe véve az új rétegrendet és a helyes kialakítást.



16. ábra – A meglévő dilatáció szerkezet előkészítése

A pályaszerkezeti rétegek pályalemezre, valamint a csatlakozó útszakaszra rávezető kiegyenlítő lemezre építése után megtörtént a szőnyegdilatációk elhelyezése.

Befejezésként a szalagkorlátok felszerelése, ejtőcsövek felszerelése, valamint bekötése, bevonatok képzése és a műtárgy festése készült el.

A diagnosztikai vizsgálatok megállapításai nagyban segítették a tervezést, mind a kivitelezést a gyors és hatékony munkavégzéshez a műtárgy állapotának ismeretében.

A beépítendő szőnyegdilatáció betervezésénél előnyt jelentett a meglévő szerkezeti elemek ismerete. A kivitelezés során a felújítási tervek kis

mértékben módosításra kerültek, amely módosítás során az előzetes diagnosztika adatszolgáltatása is felhasználásra került.

KONKLÚZIÓ

Meglévő hídszerkezeteken végrehajtott roncsolásmentes és kis roncsolással járó vizsgálataink alapján igazoltuk, hogy az alkalmazott módszerek igen hatékonyak a szerkezetek állapotának felmérésében, valamint nélkülözhetetlen információkat szolgáltathatnak az optimális felújítási technológiák kidolgozásához.

IRODALOMJEGYZÉK

Balogh, T., Orbán, J.: Közúti híd állapotának romlása a nem megfelelő karbantartás miatt (diagnosztika szerepe a hidak felújításában – esettanulmány). Magyar építőipar, 2013/2.

Gilbert, M., Melbourne, C.: Rigid-block analysis of masonry structures, *The structural Engineer*, Vol. 72., No 21., 1994.

Gilbert, M.: Guide to use of *ring2.0* for the assessment of railway masonry arches: theory & modelling, International Union of Railways, 2008.

Orbán, Z.: Concrete with high steel fibre dosages – an effective cementitious material for structural repair, *Concrete Structures*, Vol. 3, pp. 81-84, 2002.

Orbán, Z., Gutermann, M.: Assessment of masonry arch railway bridges using non-destructive in-situ testing methods, *Engineering Structures*, Vol. 31, pp. 2287-2298, 2009.

Orbán, Z.: Increasing the reliability of the assessment of masonry arch bridges by non-destructive testing, *Pollack Periodica*, Volume 1, No. 3, pp. 45-56, 2006.