

VASÚTI HIDAKNÁL ALKALMAZOTT MONITORING-RENDSZEREK



Erdei Balázs – Erdődi László Zoltán

DOI: 10.32969/VB.2019.4.1

A MÁV Zrt. hidállományának üzemeltetése során a korszerű felügyeleti rendszerek megjelenése és alkalmazása lehetővé tette a hídszerkezetek állapotváltozásának folyamatos nyomon követését. Üzemeltetői szempontból is egyre fontosabbá vált a szerkezetek pillanatnyi állapotának és az állapot alapján a várható élettartamának, teherbírásának minél pontosabb meghatározása. Cél, hogy a felügyelet során időben megállapíthatóak legyenek a romlási folyamatok, és hogy kellő időben tervezhetőek legyenek a szükséges beavatkozások.

Az alábbiakban a 2000-ben épült Nagyrákosi völgyhíd monitoring vizsgálatának eredményeit és tapasztalatait, valamint a 2016-ban, a 8. sz. főút Várpalota elkerülő szakaszán épült B2 és B4 jelű vasúti hídakon létesített monitoringrendszert mutatjuk be, ami a fejlesztéseknek köszönhetően már távfelügyeletként működik.

Kulcsszavak: távfelügyelet, monitoring, állapotváltozás, romlási folyamat

1. BEVEZETÉS

A MÁV régóta alkalmaz felügyeleti, mai szóhasználattal monitoring rendszereket. Ezek kezdetben mechanikus, vagy hidraulikus működésűek voltak. A beépített hidraulikus emelőkre szerelt manométer segítségével tudták 1930-tól figyelemmel kísérni a támaszerők változásait az első folytatólagos többtámaszú dunaföldvári Duna-hídon. Mára sokkal korszerűbb berendezések figyelik és regisztrálják hídjaink állapotváltozását. A legújabb fejlesztés ezen a területen a távfelügyelet, aminek segítségével központi szerverre érkeznek a pillanatnyi állapotot nyomon követhető jelek, adott esetben előre meghatározott küszöbértékek túllépése esetén vészjelzés.

2. MONITORINGRENDSZEREK A NAGYRÁKOSI VÖLGYHÍDNÁL

2.1 A Nagyrákosi völgyhíd ismertetése

A Zalalövő–Bajánsenye-oh. vasútvonal 3. zónájában az I. jelű völgyhíd a vasúti pálya szelvényezése szerint a 309+15 és a 323+15 hm-szelvények között épült. A híd felszerkezete kétbordás, egycellás zárt szekrény keresztmetszetű feszített vasbeton gerenda. A feszített vasbeton szekrény nagy hajlítási merevsége következtében az alakváltozások (lehajlások) minimálisak, így a vasúti pálya átvezetésére különösen alkalmas. Statikai rendszerét tekintve három részből álló folytatólagos többtámaszú híd.

Az A jelű híd 704 m hosszú, 16 nyílású szerkezet. A híd tengelye egyenes.

Másik oldalon a C jelű híd hossza 614 m, 14 nyílású szerkezet. Ez a híd ívben fekszik.

A két hosszú híd között a dilatációs mozgások minimali-

zálása érdekében egy rövid, kétnyílású híd épült. A hídszerkezeten létrejövő mozgások nagysága (beton zsugorodása és lassú alakváltozása okozta rövidülések, illetve a hőmérsékletváltozás miatti rövidülés/tágulás), valamint a sínszalak mozgásainak nagysága eltérő, ezért a mozgáskülönbségek lehetőségét biztosító sindilatációs berendezések épültek be a hídfők mögött, illetve a rövid (B jelű) hídszakasz előtt és után.

A hosszú szakaszon alkalmazott fix megtámasztások a dilatációs hossz mértékét csökkentik oly módon, hogy a hosszú hídszakaszok középtáján két-két fix támasz felezi a dilatáló hosszat.

A felszerkezet alsó és felső lemezében egyenes kábelek vannak, melyeket a szakaszos előretolós építési technológia miatt a zömvégeken horgonyoztak le. A bordákban a felszerkezet betolás utáni igénybevételeit követő íves kábelek helyezkednek el.

A hasznos terhek viselésére a szekrény belsejében bordánként két-két, a szekrény belsejében szabadon vezetett csúszókábel van. Az A és a C hídnál bordánként egy-egy kábelnél, a kábelek mindkét végén erőmérő cellákat építettek be, így a kábelekből lévő feszítőerő ellenőrizhető.

A hídtengely egyik oldalán, a teljes hídhosszon, minden egyes támaszon hosszirányban mozgó, keresztirányban fix, a másik oldalon minden támaszon, minden irányban mozgó sarukat építettek be. A hosszirányú vízszintes erőket a fix támaszokon lévő acélszerkezetű csapok veszik fel. A sarukat a német Maurer cég szállította, minden saru elmozdulás és reakcióerő mérésére alkalmas kivitelű.

2.2 Telepített monitoring eszközök

A völgyhíd egyedi jellege miatt a Vasúti Hídszabályzat IX. fejezetében előírt vizsgálatokon, méréseken túlmenően a fenntartási és karbantartási munkák tervezéséhez többletvizsgálatokat és méréseket kell végezni, melyek kiegészítésére különböző monitoringrendszereket telepítettek a hídon.

A völgyhíd fenntartási utasításában szerepelnek a szerkezet mérhető paramétereinek előre definiált határértékei is. Így a felügyelet során időben megállapítható a romlási folyamat, és a határértékek elérése előtt már tervezhetővé válnak a szükséges beavatkozások.

2000-ben a híd építése során, illetve a forgalomba helyezés előtt a felszerkezetek hosszváltozásának és dilatációs mozgásainak mérésére, valamint a hőmérséklet eloszlásának mérésére, illetve 2002-től a sín dilatációs mozgásainak és a sínhőmérsékletek mérésére telepített eszközök helyi adatgyűjtőkhöz kapcsolódtak, az adatok mentése manuálisan történik. A szabadkábelek ellenőrzését 1-1 kábel lehorgonyzásába beépített erőmérő hengerekkel a helyszínen alkalmanként leolvasással végeztük.

2016-ban a C jelű híd végében, 2017-ben a B jelű híd mindkét végén lévő érzékelőket a rendszer korszerűsítésekor online adatgyűjtő rendszerhez csatlakoztattuk, melyet kibővítettünk egy-egy keresztmetszetben elhelyezett négy szerkezet-, egy külső és egy belső levegőhőmérővel.

2.3 A hőmérséklet eloszlásának mérése

A hőmérséklet mérését az A jelű híd II. nyílása közepén telepített automatikus, helyi adatgyűjtővel összekapcsolt érzékelőkkel végeztük. A hőmérők közül két-két darabot a vasbeton lemez, illetve borda belsejében, egy hőmérőt a szekrénytartó belsejében, egyet pedig a szekrénytartó jobb (északi) oldalára kívülről helyeztünk el.

Az adatgyűjtő 2000. október 25-ei indulásától számítva 1813 napon keresztül (az első 5 évben) folyamatosan, 3 óránként, 2006-ban 133 és 2010-ben 107 napon keresztül működött, 2010. július 14-e óta nem rögzíti az adatokat.

A C jelű híd hídfőjénél 2016. október 21-én telepített online mérőrendszer részeként az utolsó nyílás egy keresztmetszetének hőmérsékleteloszlás-mérése a szerkezetben 10 mm átmérőjű, 20 cm mély furatokban elhelyezett négy hőmérő szenzorral, a belső levegő-hőmérséklet mérése a pályalemez alsó síkjához rögzített léghőmérővel, míg a környezet hőmérséklete külső léghőmérővel történik. A hőmérsékletadatok rögzítése jellemzően óránként történik.

2.4 Hosszváltozás és dilatációs mozgások mérése

A hídhosszakról „0” mérés nem készült, csak a hídfők, valamint a hídvégek közötti távolságokat mérték meg. A hőmérséklet függvényében ezek a távolságok változnak, de közel azonos hőmérsékleten mérve, az idő múlásával a hídhosszcsökkenések lassulnak.

A hőmérsékleti adatok hiányában 2010 óta a szerkezet hőmozgását nem lehet az elméleti hőmozgással összehasonlítani, és a hídszerkezetek hosszváltozását sem lehetett egyértelműen (15 °C léghőmérsékleten) meghatározni, ezért a hídszerkezetek hosszváltozását a téli időszakban mért leghidegebb hőmérsékletre tartozó dilatációs mozgásmérés mérési eredményeinek összehasonlításával végeztük a hőmérséklet-különbségből számított hosszváltozással való korrigálás nélkül.

Az eredmények azt mutatják, hogy az első öt évben a prognosztizált és a mért adatok jól közelítenek egymáshoz. 10-15 év elteltével a hídhosszak csökkenése lelassult, a hídhosszak az elmúlt 10 évben kismértékben változtak.

A mérésből nyert adatok alapján, a leghidegebb napokon mért adatokból megállapítható, hogy az idő múlásával szá-

mított hídhossz-csökkenések lassulnak (1. ábra) és kisebbek, mint a fenntartási utasításban megadott, 25 évre prognosztizált hídhossz-csökkenések (a hídvégeknél mérhető távolságnövekmények) 125%-a.

A sín és a híd dilatációs mozgásait összehasonlítva megállapítható, hogy a szerkezetek és sínek hőmozgása nem gátolt. A sín dilatációs mozgása a híd dilatációs mozgásával összhangban van (2. ábra). A mérések, valamint a szemrevételezéses vizsgálatok alapján az ágyazat nem torlódik egyik irányba sem.

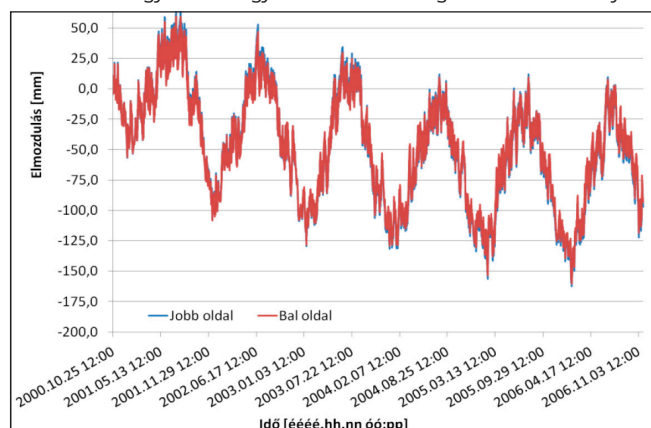
2.5 Szabadkábelek feszítőerő-változásának mérése

A szabadkábelek ellenőrzését a kábelek lehorgonyzásába beépített erőmérő hengerek leolvasásával és az előző mérési eredmények összehasonlításával végeztük a forgalomba helyezést megelőző próbaterhelés előtt és után (2000-ben), valamint 2003-ban, 2011-ben, 2014-ben és 2016-ban.

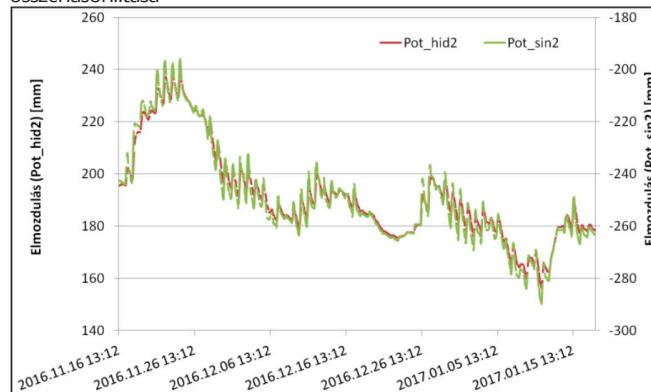
A negyedik, 2011-es mérés után az alábbi megállapítások születtek:

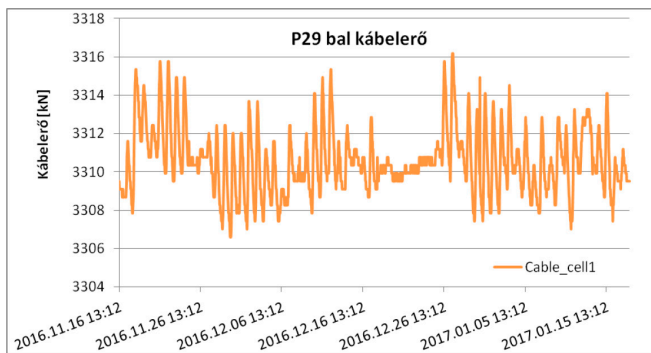
- A feszítéskori (ledugózás utáni) feszítőerők a próbaterhelés után az A jelű hídnál növekedtek, a C jelű hídnál pedig csökkentek. Ezek a változások azzal magyarázhatóak, hogy a próbaterhelés során bekövetkezett mozgások föl-szabadították a kábeltöréseknél esetleg fellépő súrlódásokat, és a feszítőkábelek „beálltak”.
- A problémát kissé bonyolítja az a körülmény, hogy a ledugózáskor a vasúti felépítmény még nem volt a hídon, bár ennek többelhatása az erőmérő celláknál alig volt érzékelhető.
- Három év elteltével az A jelű hídnál van némi csökkenés, a C jelű hídnál pedig csekély növekedés.
- A 2011. március 24-i mérés során (~10 év után) négy cellánál csökkenés mutatható ki.

1. ábra: A Nagyrákosi völgyhíd dilatációs mozgásmérési eredményei



2. ábra: A Nagyrákosi völgyhíd sín- és híddilatációs mozgásainak összehasonlítása





3. ábra: Feszítőerő-változás a Nagyrákosi völgyhíd szabadkábelében

- A számításoknál a próbaterhelés utáni állapotot vették alapul.
- A mérések alapján nem megismerhetők az évszakváltás okozta különbségek.

A további mérések alapján megállapítható, hogy a szabadkábelben lévő feszítőerő gyakorlatilag nem változott. A feszítőkábel relaxációjából, a beton zsugorodásából és lassú alakváltozásából összeadó, a statikai számításban $T = \infty$ időpontban figyelembe vett 10%-os feszítőerő-csökkenés egyik kábelnél sem mutatható ki.

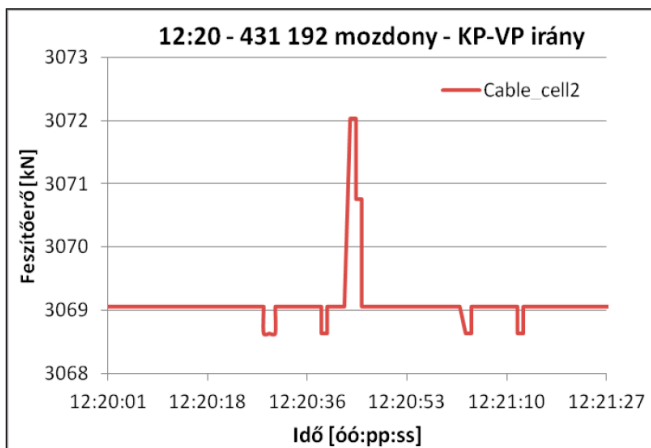
A C jelű hídnál 2016. október 21-én telepített mérőrendszer által a beépített cellákon való rendszeres mérések hasznos információkat szolgáltatnak a feszítőerők időbeni változásának meghatározásához. Az erőmérő hengerekhez kapcsolt adatgyűjtő jellemzően óránként rögzíti az adatokat (3. ábra).

Az online adatgyűjtő rendszer üzembe helyezése után tartott terheléses vizsgálat során, az adatgyűjtő mérési frekvenciáját 10 Hz-es mintavételezésre állítva, mértük a hasznos teher hatására keletkező feszítőerő-változást (4. ábra).

A híd végén a pálya $R = 2300$ m sugarú jobb ívben halad. A terheléses vizsgálatkor az ív külső oldalán lévő bal oldali kábel két végén mérhető feszültségváltozás nem volt. A hasznos teherviselésében főként az ív belső oldalán lévő, jobb oldali kábel játszott szerepet. A kábelben átlagosan 3-4 kN feszítőerő-változás volt mérhető, ami csupán 1%-nyi változást jelent.

A feszítőerő-változást hosszabb távon vizsgálva, azt a szerkezet dilatációs mozgásával összehasonlítva a következőket tapasztaltuk: A szabadkábel feszítőerőinek változásai a híd dilatációs mozgásával szintén összhangban vannak, valamint a hídhossz változásának következtében lényegesen nagyobb feszítőerő-változás lép fel, mint járműáthaladás során, mind a négy mért ponton.

4. ábra: A hasznos teher hatására keletkező feszítőerő-változás



5. ábra: Saru reakcióerő-változás mérése a Nagyrákosi völgyhídon

2.6 A saruerő változásának mérése

A hídsaruk ellenőrzését a beépített reakcióerő-mérők leolvasásával és az előző mérési eredmények összehasonlításával végeztük a forgalomba helyezést megelőző próbaterheléskor (2000-ben), valamint 2001-ben, 2005-ben, 2010-ben és 2014-ben.

A reakcióerők értéke az alépítmények függőleges mozgásának függvénye. A változások mértéke mutatja a „0”, illetve előző mérésekhez képest az alépítmények süllyedésviszonyait. A híd felszerkezetére nem káros, egyenes alépítménysüllyedések elméletileg nem okozhatnak jelentős reakcióerő-változásokat.

2016-ban az online adatgyűjtő rendszer üzembe helyezése után tartott terheléses vizsgálat során, vonatáthaladáskor a végponti hídfő jobb saru reakcióerő-változását mértük a meglévő leolvasó egység megfigyelésével (digitális képi rögzítés, terhelt és terheletlen állapotban) (5. ábra).

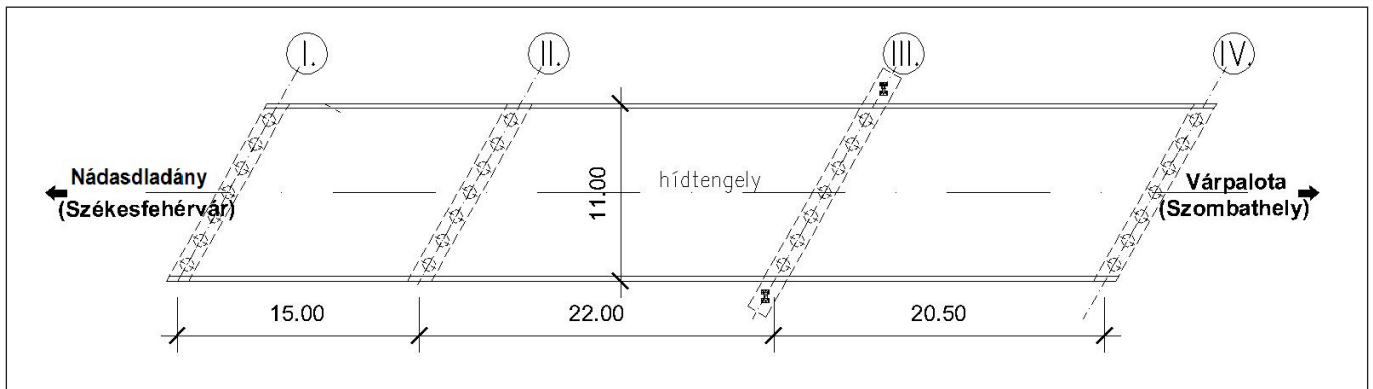
Az előző mérések során a reakcióerők mérése a sarukba beépített mérőberendezés segítségével csak a szerkezet önsúlyára (terheletlen állapotban) történt. A mérési adatokkal kapcsolatban az alábbi megállapításokat tettük:

- A vonatáthaladások után mért értékek azonnal nem álltak vissza az áthaladás előtt mért értékre, több perc elteltével kezdett csak csökkenni a kijelzett saruerő. A két V43 mozdony áthaladása között eltelt ~20 perc után is maradt 30 kN különbség a mért értékek között.
- A V43 mozdonyok alatt mért saruerő-változás 120 és 160 kN között mozgott.
- A fent leírtak alapján, valamint, hogy az egy keresztmetszetben lévő két saru reakcióerőinek egyidejű leolvasása nem megoldott, a mérési bizonytalanság akár több mint 50 kN is lehet.

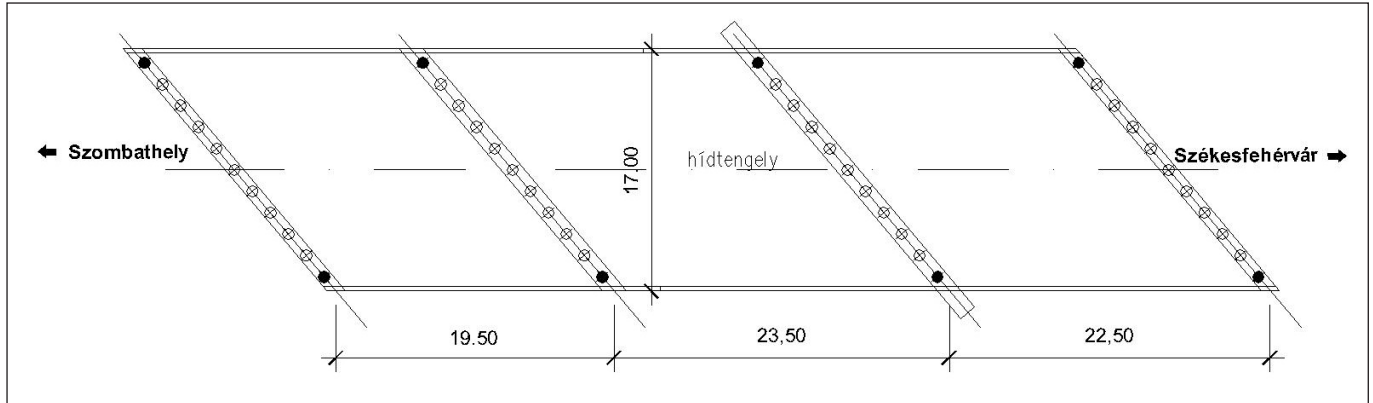
Cél, hogy a C jelű híd utolsó alátámasztásain lévő sarukat bevonjuk a 2016-ban telepített online adatgyűjtő rendszerbe, és a rendszeres mérésekkel meghatározzuk a reakcióerők időbeni változását, ami csökkentheti az előző mérések bizonytalanságát is, így a reakcióerő-mérések valóban az alépítmények geodéziai mérésének kontrolljává válhatnak.

3. MONITORINGRENDSZEREK A VÁRPALOTÁT ELKERÜLŐ ÚT VASÚTI HÍDJAINÁL

A NIF Zrt. beruházásában és az SDD Konzorcium Várpalota kivitelezésében épültek meg a 8. sz., Várpalota déli elkerülő főút vasúti műtárgyai az alábbi szelvényekben:



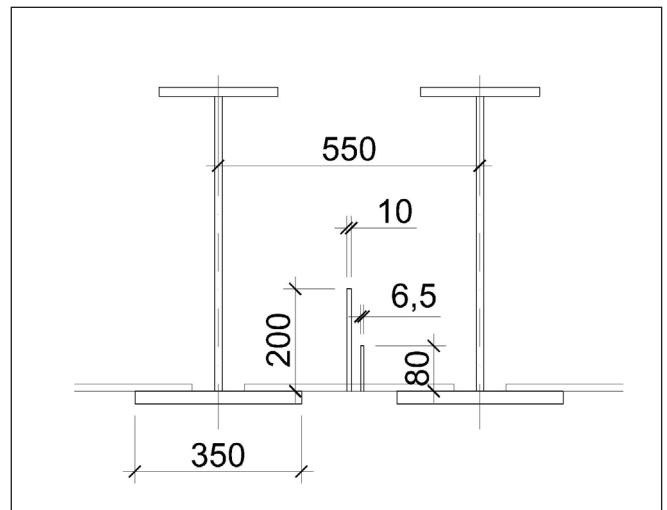
11. ábra: A mért saruk elrendezése a B-2. jelű hídnál



12. ábra: A mért saruk elrendezése a B-4 jelű hídnál



13. ábra: A mérősarú képe



14. ábra: Hőmérő elhelyezése a felszerelésben

hető, az SD kártyáról az adatok közvetlenül is letölthetők. A mérőelemek vezetékeit a mérőelemektől a híd hosszában futó kábelezésig gégecsőben a betonszerkezethez rögzítették. A híd hosszában a vezetékek KPE védőcsőben futnak, mindkét hídnál a vasúti szelvényezés szerint baloldalon, a járórács alatt.

Az egyes mérőelemek jelfeldolgozása, digitalizálása, az adatok rögzítése és továbbítása az aknában, zárt szekrényben elhelyezett mérő adatgyűjtő rendszerben történik. Ide futnak be a napelemek kábeli is, és itt helyezték el a töltésvezérlőt és az akkumulátort is.

A terepi mérő-, jelfeldolgozó eszközök a Szombathelyi Területi Igazgatóság üzemeltetési körébe kerültek.

A berendezések felügyeletét a hidász szakasz, karbantartását és a mérési eredmények kiértékelését a MÁV KfV Kft. végzi.

A tapasztalat alapján meghatározott értesítésre, riasztásra a szoftverben definiáltan kerül sor.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A monitoring-rendszerek elvárt élettartama több mint 15 év. A Nagyrákos völgyhíd vizsgálati során szerzett tapasztalatok alapján a telepített monitoring eszközök megfelelő karbantartás mellett megbízhatóan, az elvárt pontossággal képesek működni.

Ezeket a régi rendszereket, valamint az újonnan telepített rendszereket is bővíteni, korszerűsíteni lehet az új igényeknek megfelelően.

5. HIVATKOZÁSOK

Wellner P. – Mihalek T. (2000), „A magyar-szlovén vasútvonal völgyhíd-jai (2. rész) A hídszerkezet általános ismertetése”, *VASBETONÉPÍTÉS* 2000/1, pp. 20-25

Vörös J. (2001). „A magyar szlovén vasútvonal völgyhídjai (6. rész) A hídszerkezetek próbaterhelése”, *VASBETONÉPÍTÉS* 2001/1, pp. 15-23



15. ábra: Az üzemeltetést kiszolgáló napelemek

Erdődi L. Z. (2018), „Monitoring rendszerek a Várpalotát elkerülő út vasúti hídjainál Vasúti hidak a MÁV Zrt. Szombathelyi Igazgatóság és a GYSEV Zrt. területén” (Vasúti Hidak Alapítvány Szombathely 2018) Könyvsorozat 6. kötet Vasúti hidaknál alkalmazott monitoring rendszerek c. fejezet pp.431-438

Metalelektro Kft. által készített dokumentáció 2000. MÁV Zrt. híd tervtár
A hidak nyilvántartási tervei MÁV Zrt. híd tervtár

Erdei Balázs hidász mérnök 2009-ben diplomázott a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán Hid és műtárgy szakirányon. 2009 júniusától dolgozik a MÁV Központi Felépítményvizsgáló Kft.-nél, ahol 2013 szeptemberétől csoportvezető. 2014-ben a Pannon Egyetemen korrózióvédelmi szakmérnöki diplomát szerzett. Meglévő hidak időszakos és rendkívüli vizsgálatával, hidak felújításánál, karbantartásánál végzett vizsgálatokkal, valamint forgalomba helyezés előtti hídvizsgálatokkal, próbaterhelésekkel foglalkozik. 2018 augusztusától a MÁV Központi Felépítményvizsgáló Kft. osztályvezetője.

Erdődi László Zoltán hidász mérnök. A győri KTMF-án hidépítési és fenntartási üzemmérnöki, a BME Építőmérnöki Karon okleveles szerkezetépítő mérnöki, majd a BME Közlekedésmérnöki Karon közlekedési manager gazdasági mérnök képesítést szerzett. 1978-tól a MÁV-nál dolgozik a hidász művezető beosztástól a hidász főépítésvezető, területi hídszakértő, osztályvezető, jelenleg műszaki szaktanácsadó munkakörökben. A MÁV korszerű hídgazdálkodását segítő rendszer, a MÁV HGR életre hívásának, és a hidakon alkalmazott monitoring rendszerek üzemeltetésének, fejlesztésének elkötelezett híve.



16. ábra: Az akna belső kialakítása

MONITORING SYSTEMS APPLICABLE AT RAILWAY BRIDGES

Balázs Erdei – László Zoltán Erdődi

In the course of the operation of MÁV Co's bridge stock the appearance and application of modern inspection systems enabled the continuous tracking of the bridge structures' change of state. The more precise determination of the momentary state and on the base of the state its life expectancy and bearing capacity became more and more important also from operator's point of view. The aim is that in the course of the inspection the deterioration processes could be determined in time and the necessary interventions could be planned in appropriate time.