NÉMETH ATTILA[1]

Üvegszál erősítésű, műgyanta kötésű ragasztott-szigetelt vasúti sínillesztések laboratóriumi vizsgálatai

1. BEVEZETÉS

A ragasztott-szigetelt hevederes vasúti sínillesztések a hevederes sínillesztések olyan speciális megoldásai, ahol a két egymáshoz kapcsolódó sínvéget elektromosan elszigetelik egymástól, így sem a sínvégeken keresztül, sem a hevederkötés által fémes érintkezés nem jöhet létre. A hevedereket nagyszilárdságú csavarok segítségével, nagy erővel szorítják össze a sínszál hevederkamrájához és ezen kívül az illesztési felületeket speciális ragasztóval is egymáshoz kapcsolják. Ezáltal olyan nagyságú összeszorító erő érhető el a sínillesztésekben, hogy a hézagnélküli vágányban ébredő nagy húzóerők sem okozhatják a sínillesztés megnyílását. A kutatás tárgyát képező polimer kompozit hevederek az orosz Apatech cég által gyártott és hazánkban a MÁV-THERMIT Kft. által forgalmazott MTH-AP típusúak.

2. A KUTATÁSI PROBLÉMA BEMUTATÁSA

A kutatási munka tárgyát képző orosz gyártmányú (Apatech) üvegszál erősítésű, műgyanta kötésű hevederekkel kialakított ragasztott-szigetelt sínillesztési megoldás képes kiküszöbölni a hevederzárlat és a korai fáradásos lehajlás okozta meghibásodásokat a vasúti pályákban, és biztosítani az elektromos vezetés szempontjából a sínszálak egymástól való elszigetelését. Az ilyen sínillesztések előnye lehet, hogy a MÁV által jelenleg a pályában alkalmazott, acélhevederes ragasztott-szigetelt kötések kiváltása is elérhetővé válhat. Ezen megoldási javaslatnak nemzetgazdasági jelentősége is lehet, mert jelenleg a pályákban alkalmazott hagyományos acélhevederes ragasztott-szigetelt sínillesztések karbantartási költségei magasak, az alkatrészcsere ciklusidők aránylag rövidek, így szükség lenne egy olyan megoldásra, amellyel ezen hátrányok megszüntethetők a MÁV számára.

[1] SZE Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar, Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, egyetemi tanársegéd, nemeth.attila@sze.hu. Témavezető: Dr. habil. Fischer Szabolcs, egyetemi docens, Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék.

3. NEMZETKÖZI IRODALOMKUTATÁS

A kutatási munka elvégzéséhez jelentős mennyiségű magyar, angol és német nyelvű irodalmat (szabványok, tudományos és nem tudományos folyóiratcikkek, műszaki előírások, technológiai utasítások, kutatási jelentések, laborvizsgálati jegyzőkönyvek stb.) dolgoztam fel a laboratóriumi vizsgálatokkal kapcsolatban. A nemzetközi szakirodalomban a kutatók az alábbi tématerületekkel foglalkoztak (a lista nem a fontosság sorrendjében lett összeállítva és nem a teljesség igényével készült) a ragasztott-szigetelt és a szigetelt sínillesztésekkel kapcsolatosan:

- tervezési, méretezési és szerkezeti kialakítási szabványok és előírások,
- általános meghibásodási (sérülési) módok és meghibásodási alakok meghatározása, valamint a tönkremenetelek okának azonosítása,
- a sínillesztések és szerkezeti elemeinek fejlesztése (erősítése), a sínillesztések alátámasztási tulajdonságainak vizsgálata,
- a sínvégbetét anyagának hatása és ennek vizsgálata a sínillesztések teherbírására és merevségére,
- a sínillesztések szerkezeti és elektromos szigetelés szempontú vizsgálatai, a sínillesztések deformációs (főként függőleges lehajlási) tulajdonságainak, illetve a sínfejben és a hevederekben kialakuló feszültségeloszlás vizsgálata; a kerék-sín kapcsolat elemzése feszültség- és alakváltozás-eloszlás, valamint kopási viselkedés tekintetében,
- a sínvég lekerekítésének hatása és ennek vizsgálata a sínfejben kialakuló feszültségeloszlásra,
- a ragasztóanyag minőségi megfelelőségének elemzése ragasztott-szigetelt sínillesztések esetén; a ragasztóanyag mennyiségének hatása és ennek vizsgálata a sín hevederkamrája és a sínhevederek között, valamint a ragasztási „mintázatok” hatásának elemzése a sínillesztések teherbírására; a ragasztóanyag elengedésének (tönkremenetelének) elemzése,
- a sínillesztés illesztési szögének hatása a sínillesztés teherbírására,
- a sínvégbetét vastagságának és a sínillesztésre gyakorolt hatásának vizsgálata,
- a sínvégek plasztikus alakváltozásának (megfolyásának, legyűrődésének) elemzése,
- a sínillesztés szerkezeti elemeiben kialakuló feszültségek pályasebesség szempontú vizsgálata,
- hiányzó és laza csavarok detektálási megoldásai a hevederes sínillesztéseknél,
- speciális mérési megoldások fejlesztése a hevederes sínillesztések hibáinak (szerkezeti és/vagy elektromos) meghatározására,
- károsodás/hiba alapú állapotértékelési rendszer fejlesztése,
- a sínillesztések okozta dinamikus hatások (járművekre és a vágány elemeire gyakorolt) elemzése.

A külföldi kutatócsoportok a következő módszereket alkalmazták a kutatásaikban:

- numerikus analízis véges elemes módszerrel (FEM), statikus és dinamikus megközelítésekkel,
- terepi vizsgálatok,
- laboratóriumi vizsgálatok,
- Wavelet számítási módszerrel kiegészített képelemzés,
- matematikai és fizika elméleteken-elveken alapuló számítások, pl. MATLAB segítségével,
- a leromlási és karbantartási elméletek matematikai számításai,
- IoT (dolgok internete) technikák,
- elektromos mérési módszerek,
- roncsolásmentes vizsgálati módszereknél alkalmazható jellemzéses technikák.

Alább részletezem a nemzetközi irodalomkutatás egyes lényeges eredményeit:

- a hevederes sínillesztések tönkremeneteleinek jelentős része a hevederes kapcsolat csökkentett hajlítási merevsége miatt adódik, valamint a sínvégeknél a sínfejben kialakuló jelentős mértékű feszültségek okozta plasztikus sínacél alakváltozások (pl. legyűrődés, kitöredezés stb.) miatt,
- a hevederes sínillesztések karbantartási költsége magas, ez nagyon kritikus tényező, mert a hézagnélküli vágányokból a hevederes szigetelt (ragasztott, vagy ragasztás nélküli, de főként ragasztott) sínillesztéseket nagyon bonyolult és költséges elhagyni,
- rendkívül fontos megfelelő ragasztóanyag típust választani, valamint a sínvégbetét anyagát és vastagságát meghatározni a hevederes sínillesztés megfelelő működése és az elérhető hosszabb élettartama érdekében,
- a sínvégbetét mellett kialakított sínvéglekerekítés képes csökkenteni az ébredő feszültségeket a sínillesztés szerkezeti elemeiben (kifejezetten a sínfejben), valamint képes növelni az élettartamot,
- a sínfejben kialakuló acélanyag megfolyás (plasztikus alakváltozás) jelenség csökkenthető magasabb sínacél minőség, vagy módosított-(hő)kezelt acélanyagok alkalmazásával a sínfejben,
- külső szerkezeti erősítési megoldásokkal magasabb hajlítási merevséget lehet elérni hevederes sínillesztések esetén,
- egyes kutatások szerint a hegyes szögű illesztések (30 és 45°-osak) alkalmazása csökkenti a függőleges lehajlást, a zaj- és rezgésterhelést a merőleges illesztésekhez viszonyítva; összehasonlításképpen más üzemi tapasztalatok azt mutatják, hogy nem előnyös a hegyes szögű illesztések használata,
- a ragasztás közben kialakuló ragasztási mintázat (a ragasztóanyag egyenletessége a hevederek és a síngerinc között) kritikus paraméter a ragasztott-szigetelt hevederes sínillesztés üzem közbeni viselkedése és élettartama szempontjából,

- az alátámasztási viszonyok (geometriák) befolyásolják a hevederes sínillesztés szerkezeti elemeiben kialakuló feszültségeket,
- jelentős mennyiségű módszert dolgoztak ki, amelyek alkalmasak a hibák, meghibásodások és a feszültség-alakváltozási állapotok meghatározására a hevederes sínillesztéseknél (pl. ultrahangos vizsgálat, akuszto-elasztikus módszer, neutron diffrakciós módszer, röntgen vizsgálatok, optikai szálas Bragg-szenzorok alkalmazása stb.),
- a kialakuló plusz dinamikus hatások a hevederes sínillesztések gyorsabb tönkremeneteléhez vezethetnek.

4. ELŐZMÉNY KUTATÁSOK BEMUTATÁSA

Az alábbi 4. fejezetben a jelenlegi, bemutatásra kerülő laboratóriumi vizsgálatokat megelőző kutatási előzményeket részletezem.

A hazai körülmények között – új építések és rehabilitációk, valamint felújítások szempontjából – három sínrendszer jöhetett szóba a polimer kompozit hevederes ragasztott szigetelt illesztések alkalmazásánál:

- MÁV 48: ezen belül 48,3 kg/m és 48,5 kg/m,
- 54 E1: 54,43 kg/m (sínprofil neve másként: UIC 54),
- 60 E1: 60,21 kg/m (sínprofil neve másként: UIC 60).

Jelen vizsgálat tárgyát képező polimer kompozit hevederek az MTH-AP típusúak. Az MTH-AP típusú polimer kompozit hevedercsaládban a MÁV 48, UIC 54, UIC 60, R65 rendszerű 4 és 6 lyukú, ill. a 650 mm, 900 mm hosszú műanyag hevederek tartoznak

4.1. Előzmény kutatási téma 2011–2012. évekből

A MÁV Zrt. 2011 júliusában bízta meg a Széchenyi István Egyetemet, hogy K+F munka keretében vizsgálja meg egy olyan új típusú, ragasztott szigetelt kötés alkalmazhatóságát, amelyben a hevederek magas nyomáson, szabályozott hőmérsékleten előállított, üvegszál erősítésű polimer kompozit anyagúak.[2] A munka keretében az alábbi részfeladatokat kellett megoldani:

- tapadási szilárdság tekintetében az igénybevételekre való megfelelőség szempontjából alkalmas ragasztóanyag kiválasztása,
- a ragasztott szigetelt kötés statikus és dinamikus laboratóriumi terhelési vizsgálatainak elvégzése,
- pályába beépített kísérleti kötések viselkedésének, állapotának ellenőrzése.

[2] *Polimer kompozit hevederek alkalmazása ragasztott szigetelt kötésekben, kutatási zárójelentés,* 2012, Széchenyi István Egyetem, Győr, 62. p.

A K+F munka az MTH-AP típusú (APATECH orosz cég gyártotta) polimer kompozit hevederekkel kialakított ragasztott-szigetelt kötések laboratóriumi terhelési próbáinak, valamint a vágányba épített kísérleti darabok üzemi viselkedésének eredményeit, tapasztalatait szolgáltatja és kitért az alkalmazási javaslatokra is.

4.2. Előzmények a 2015–2017. évekből

A MÁV Zrt. Pályalétesítményi Főosztály 2015. szeptember 15-én bízta meg az Universitas-Győr Nonprofit Kft.-t a „Polimer-kompozit hevederek vizsgálata laboratóriumban és dinamikus igénybevételek hatására pályában, ragasztott szigetelt kötésekben" c. kutatás-fejlesztési munka elvégzésével, melyek során az alábbi feladataink voltak:

- polimer kompozit hevederes előírások felkutatása, külföldi tapasztalatok és dokumentumok összegyűjtése, felülvizsgálata, elemzése,
- alkalmazható sínrendszerek vizsgálata,
- alkalmazási körülmények előzetes meghatározása,
- laborvizsgálati körülmények, paraméterek meghatározása,
- laborvizsgálatra kísérleti kötések elkészítése,
- alkalmazható ragasztóanyag vizsgálatok,
- statikus hárompontos hajlító és dinamikus/fárasztó vizsgálatok elvégzése az elkészített próbatesteken,
- statikus húzó-szakító vizsgálatok elvégzése az elkészített próbatesteken,
- ragasztóanyag nélkül elkészített próbakötések hajlító vizsgálata.

Előzmény kutatási munkánk során hárompontos hajlító vizsgálatokat végeztünk el három sínrendszer esetén sínrendszerenként három próbatesten. A szabványban[3] előírt statikus hajlítás törés nélkül 1490 mm, 1200 mm és 1000 mm támaszközökön, fárasztás előtt. Ezt követően fárasztás 3,5 milliós terhelési ciklussal 1200 mm támaszközön, statikus hajlítás törés nélkül három különböző támaszközön, fárasztás után, majd a hevederes kapcsolat tönkremeneteléig (hajlított-nyírt tartóként törés) való terhelése 1490 mm támaszközön. A sínillesztések pontos avulásának megítélése ezzel a megoldással nem volt lehetséges.

5. A 2018–2019. ÉVI KUTATÁSI TERV ÉS A KUTATÁS EDDIGI EREDMÉNYEI

A 2015 szeptemberében megkezdett kutatási vizsgálataimat a következő mérési vizsgálatokkal és paraméterekkel egészítem ki a 2018–2019. évi kutatási ciklusban:

- a témát érintő legfrissebb irodalomkutatás elvégzése és a kutatási laboratóriumi vizsgálatok kiegészítése, továbbgondolása,

[3] CEN/CENELEC: WG18/DG11: *Mechanical requirements for joints in running rails*, 2010, p. 32.

- a kiegészítő vizsgálatokhoz kialakított próbakötések lehajlás értékeinek megvizsgálása fárasztás előtt (FE) – statikus vizsgálat, 13 db különböző támaszközön, majd ezt követően 0,5 millió fárasztási ciklusonként (dinamikus vizsgálat) ismételt vizsgálatok elvégzése, három különböző sínrendszer esetében, szimmetrikus támasz-elrendezéssel. Statikus hajlítás törés nélkül három különböző támaszközön, fárasztás után (FU),
- statikus, hárompontos hajlító vizsgálat aszimmetrikus támasz-elrendezéssel 3,5 millió fárasztási ciklust követően, lehajlás értékek elemzése.
- egy korábbi kutatásból rendelkezésre álló acélhevederes szigetelt kötések 3,1 millió fárasztási ciklust követő statikus, majd további 0,4 millió fárasztási periódussal történő dinamikus vizsgálat. A fárasztást követő statikus vizsgálat szimmetrikus és aszimmetrikus támaszelrendezés esetében.

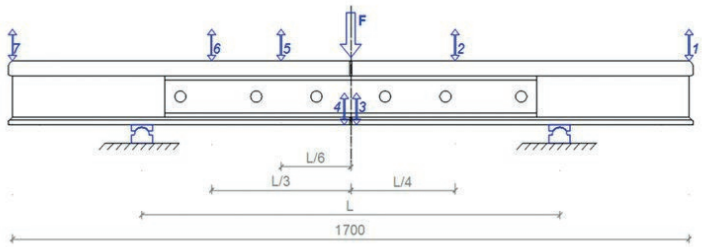
5.1. Statikus, hárompontos hajlító vizsgálatok

A vizsgálatokat egy-egy darab MÁV 48 (48,5 kg/m), 54 E1 és 60 E1 próbatesten végeztem el. Legjobb tudomásom szerint nem létezik érvényes szabvány, műszaki előírás a polimer kompozit hevederes (azaz nem acélhevederes) ragasztott-szigetelt sínillesztésekre vonatkozóan. Az acélhevederes ragasztott szigetelt illesztések laboratóriumi vizsgálatához használható CEN/CENELEC: WG18/DG11 szabványtervezet előírásait alkalmaztam. A vizsgálat elvi elrendezését az 1. ábra szemlélteti (az 1-7 számozások az ezred mm pontosságú útadók helyzetét jelölik). A vizsgálati paraméterek a következők:

- statikus hajlítás törés nélkül 13 különböző támaszközön 900…1490 mm, 50 mmes szélességi lépcsőben, fárasztás előtt (FE). A terhelés két fázisból áll: első körben előterhelés történik, hogy vizsgálni kívánt kötés ”beálljon” a kívánt pozícióba. Második körben felterhelés következik a számított maximális terhelőerő értékéig (2 percig a terhelő erőt ezen az értéken tartva), majd visszaengedve a terheletlen pozícióba,
- dinamikus-fárasztás 0,5 milliós terhelési ciklusonként (1200 mm-es támaszközön), mindhárom kötés esetében,
- minden 0,5 millió ciklust követően statikus hárompontos hajlító vizsgálat 3,5 millió terhelési ciklusig bezárólag (0,5…3,5 millió között statikus hajlítás törés nélkül 13 különböző támaszközön (900…1490 mm), fárasztást követően (FU),
- 3,5 millió ciklus utáni statikus hajlítás vizsgálatok 600…850 mm támaszközön (szimmetrikus támaszelrendezéssel),
- 3,5 millió ciklus utáni statikus hárompontos hajlítás vizsgálatok 600…950 mm támaszközön (aszimmetrikus támaszelrendezéssel),
- acélhevederes szigetelt hevederes illesztések 3,1 millió fárasztási ciklust követő statikus, majd további 0,4 millió fárasztási periódussal történő dinamikus fárasztóvizsgálata,

- acélhevederes kötések fárasztást követő hárompontos hajlító, statikus vizsgálat szimmetrikus és aszimmetrikus támaszelrendezés esetében.

1. ábra: A próbakötések laboratóriumi hárompontos hajlítóvizsgálatának elvi elrendezése



5.2. Dinamikus, hárompontos hajlító-fárasztó vizsgálatok

A dinamikus, hárompontos hajlító-fárasztó vizsgálatokat az alábbi paraméterekkel vizsgálom a polimer-kompozit ragasztott szigetelt és az acélhevederes ragasztott szigetelt sínillesztések esetében, sínrendszerenként meghatározva. A vizsgálati paraméterek számítása a CEN/CENELEC: WG18/DG11 szabvány szerint történt, meghatároztuk a különböző sínrendszerekkel készült kísérleti kötések vizsgálati támaszközeihez tartozó maximális terhelőerő nagyságát):

- 60E1 sínillesztésnél: 1200 mm támaszköz, F_{min}=5 kN, F_{max}=142 kN, f=5 Hz (M_{max}=42,63 kNm, V= 160 km/h),
- 54 E1 sínillesztések esetében: 1200 mm-es támaszköz, F_{min}=5 kN, F_{max}=136,2 kN, f=5 Hz (M_{max}=40,85 kNm, V= 160 km/h),
- MÁV 48 hevederes illesztésnél: 1200 mm támaszköz, F_{min}=5 kN, F_{max}=115,7 kN, f=5 Hz (M_{max}=34,71 kNm, V= 100 km/h).

(Megjegyzés: pl.: 0,5 millió darabszámú, f=5 Hz frekvenciájú, fárasztási ciklus esetében a vizsgálat elvégzése 27,77 órát vesz igénybe. 3,5 millió ciklus esetében ez a szám 194,44 órát jelent).

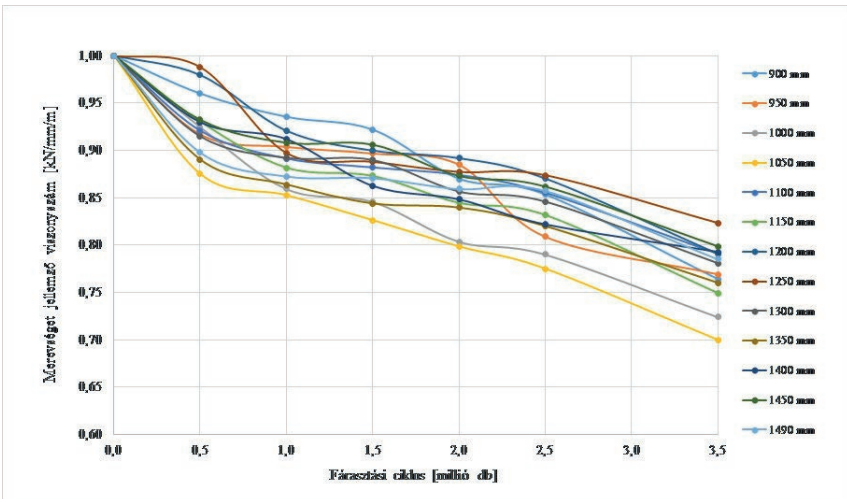
5.3. Vizsgálati eredmények elemzése

Jelen fejezetben a MÁV 48-as sínrendszerrel elkészített polimer-kompozit ragasztott-szigetelt hevederes sínillesztéseken elvégzett hárompontos dinamikus-fárasztó és statikus hajlító vizsgálatok eredményeit részletezem aszimmetrikus teherelrendezés esetében.

Statikus szimmetrikus hárompontos hajlítási adatok kiértékelése

A mérések feldolgozása során lineáris regressziós egyenes függvényt illesztettem minden egyes adatsorra a maximális terhelőerőhöz tartozó elmozdulás (lehajlás) értékéig. Kigyűjtöttem külön a 900…1490 mm-es feltámaszkodási-kiosztási közökhöz tartozó adatokat a dinamikus fárasztást megelőzően (nulla állapot – FE) értéktől a 3,5 millió fárasztási ciklusig bezárólag. Meghatároztam a próbakötés ún. *merevségi jellemzőjét* (kN/mm/m dimenzióban) külön támaszközönként. Kiindulási állapotnak a dinamikus fárasztást megelőző (FE) mérési értéket tekintettem 1.0 (azaz 100%-os) állapotnak, ezen állapothoz képest számítottam a követő mérésekből egy-egy viszonyszámot, amelyet a terhelési ciklusok függvényében a 2. ábra szemléltet.

2. ábra: A merevséget jellemző viszonyszámok a fárasztási ciklusszám függvényében a MÁV 48 rendszerű polimer-kompozit hevederes illesztés esetében



A kezdeti kiinduló (FE) állapothoz képest, a különböző támaszközön mért lehajlásértékek figyelembevételével megállapítható, hogy a 3,5 millió ciklusú fárasztást követően a MÁV 48 rendszerű sínnel szerelt polimer-kompozit ragasztott-szigetelt hevederes próbakötésen az idő előrehaladtával közelítőleg 30%-os állapotromlás következett be (a kezdeti kiinduló állapothoz képest a viszonyszámok értéke 0,700…0,791 közötti tartományba esik a különböző alátámasztási elrendezés figyelembevételével).

Megvizsgálva az acélanyagú hevederrel szerelt ragasztott-szigetelt hevederes próbakötés állapotváltozását:

- a polimer-kompozit hevederes ragasztott-szigetelt illesztés kezdeti állapotához viszonyítva átlagosan (viszonyszám értéke 1,348…1,506 közötti értéket vesz fel) 40%-kal magasabb értéket mutat a 3,5 millió fárasztási ciklust követően.
- az acélhevederes illesztésre számított viszonyszámok fárasztás előtti értékéhez viszonyítva maximálisan 15%-os állapotváltozás (romlás) következett be, ami a hevederes illesztés acél anyagának nagyobb merevségére utal ugyanazon sínrendszerek esetén.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben ismertettem a kutatási témát érintő külföldi és magyar irodalomfeldolgozások eredményeit, azokból nyerhető fontos megállapításokat és azok hasznosulását.

Az elvégzett laboratóriumi hárompontos hajlító vizsgálatokkal (dinamikus és statikus hajlítóvizsgálatok) célom, hogy meghatározzam a próbakötések romlásának időbeli lefolyását. Célom, hogy megállapítsam azt a tartományt (küszöbértéket), ahol még a polimer-kompozit ragasztott-szigetelt hevederes sínillesztés károsodás nélkül, biztonságosan a vasúti pályában tartható.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- CEN/CENELEC: WG18/DG11: Mechanical requirements for joints in running rails, 2010.
- *Polimer kompozit hevederek alkalmazása ragasztott szigetelt kötésekben, kutatási zárójelentés,* 2012, Széchenyi István Egyetem, Győr.
- Németh, A. – Fischer, Sz.: Investigation of glued-insulated rail joints with fibre-glass-reinforced, resin-bonded fishplates in laboratory, in Fülöp, Attila – Iványi, Péter (eds.): *Abstract book for the 14th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium: Architectural, Engineering and Information Sciences*, 2018, Pollack Press, Pécs, pp. 120–121.
- *Polimer-kompozit hevederek vizsgálata laboratóriumban és dinamikus igénybevételek hatására pályában, ragasztott szigetelt kötésekben, MÁV Zrt. részére közfinanszírozású támogatásból megvalósuló kutatás-fejlesztési (K+F) munka, kutatási zárójelentés*, 2017, Győr.