

## ADATGYŰJTŐ MÉRŐBERENDEZÉS FEJLESZTÉSE A KISIKLÁSÉRZÉKELŐ SZELEP SZÁMÁRA

### DEVELOPMENT OF DATA COLLECTING MEASUREMENT EQUIPMENT FOR DERAILMENT DETECTOR VALVE

*Bakonyi Tamás, referens fejlesztőmérnök (Knorr-Bremse Vasúti Jármű Rendszerek Hungaria Kft.),  
okleveles gépészmérnök, tamas.bakonyi@knorr-bremse.com*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

Az eddig megszokott európai és az UIC-fékkrendszer közeli alkalmazások után új fejezet köszönt be a kisiklásérzékelő szelep kapcsán. Annak érdekében, hogy az UIC-fékkrendszereken kívüli új piacokra (AAR-fékkrendszer, stb.) is hatékony és megbízható módon lehessen belépni a kisiklásérzékelő szeleppel, egy innovatív és egyedi fejlesztésű adatgyűjtő mérőberendezés kifejlesztését valósította meg a Knorr-Bremse, hogy elősegítse az új projektek előrehaladását és a leendő vevőiket a leghatékonyabb módon győzze meg a szelep megfelelő működéséről az aktuális új környezetben, illetve igény esetén a készüléket áthangolja az adott ország számára.

#### ABSTRACT

Beside the conventional European and UIC-brake system applications, a new chapter has been introduced regarding the derailment detector valve. In order to enter new markets, that are outside of the UIC brake systems (AAR, etc.), in an efficient and reliable way with the derailment detector, Knorr-Bremse has developed an innovative and specially developed data acquisition measuring device to facilitate the progress of new projects and convince their customers in the most efficient way in the future, that the valve is going to work properly in their actual new environment, or in case of need, retune the detector for the actual country.

#### 1. BEVEZETÉS

Kevésbé ismert tény, hogy ha egy tehervonat egy vagy több vasúti kocsija valamilyen oknál fogva kisiklik, a tehervonat gyakran tovább tud közlekedni anélkül, hogy a mozdonyvezető (egyéb személyzet híján) észrevenné a kisiklás tényét. Ekkor a kisiklott kocsi (vagy kocsik) kerekpárjai képesek a talpfákon és a töltésen

futni akár kilométereken keresztül is, mindaddig, amíg egy váltó vagy egy ív (vagy egyéb irregularitása a pályának) nem eredményezi a kisiklott kocsik felborulását. A kisiklás sok különböző okból létrejöhet és különösen veszélyes, főleg, ha a vasúti jármű veszélyes és/vagy gyúlékony és robbanékony anyagot szállít, mint pl. folyékony metán vagy erős savak (pl. kénsav).

A kisiklás tényének azonnali érzékelése és a vasúti jármű azonnali megállítása közös érdekünk a természet, az emberélet, az infrastruktúra és a rakomány védelme érdekében. Erre hivatott a Knorr-Bremse által a 90-es évek végén kifejlesztett kisiklásérzékelő szelep, amely az elektronikát teljesen nélkülözve, csakis mechanikus és pneumatikus alapokon nyugodva képes detektálni a kocsi kisiklását.

A kisiklásérzékelő szelep (vagy másnéven EDT101) egy lengő rugó-tömeg rendszer segítségével érzékeli a kisiklás következtében irreálisan megnőtt vertikális gyorsulásokat a kocsin, majd automatikusan aktiválja a vészfékezést a vonaton, így minimalizálva a kisiklás által okozott károkat.

Jelen leírás az adatgyűjtő mérőrendszer kifejlesztésének a lépéseit és kihívásait mutatja be, továbbá ismerteti a rendszer pontos működését és a benne rejlő lehetőségeket. Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy az adatgyűjtő rendszer hiánypótló szerepet tölt be a teherkocsik „plug&play”-szerű monitorozásában és az eredeti célja mellett, egyéb feladatokra is könnyen használható (pl. kritikus pályaszakaszok felderítése, reklamációtámogatás), ahogy azt a vevői igények is mutatják.

#### 2. ÁTTEKINTÉS

A világ minden tájáról egyre nagyobb érdeklődés tapasztalható a kisiklásérzékelő szelep iránt. A potenciális új piacok általában nem UIC, hanem AAR-fékrendszert vagy „vegyes” fékrendszereket használnak (pl.: Ázsia, Ausztrália és Amerika). A kisiklásérzékelő szelep az UIC-fékrendszereken kívüli piacon még nem elterjedt, ez nagyrészt annak köszönhető, hogy a szelep működését UIC-fékrendszerekhez fejlesztették ki, elsősorban európai mérések és tesztek által. A Knorr-Bremse kisiklásérzékelő detektora egy UIC által homologizált készülék (UIC541-08).

A legnagyobb kihívást - ami miatt ez az adatgyűjtő mérőberendezés kifejlesztésre került - az jelenti, hogy az AAR-területen (vagy egyéb speciális területen) egy sor ismeretlen tényező vetődik fel, amely befolyásolhatja a kisiklásérzékelő szelep helyes működését.

A legfőbb és leggyakrabban fellépő befolyásoló tényezők a szelep működésével kapcsolatban:

- ismeretlen pályaminőség a különböző országokban/kontinenseken;

- az AAR-rendszerben elterjedt központi ütközőszerkezet hatása a vasúti jármű dinamikájára (megjegyzés: az UIC-fékrendszer jellemzően más típusú kapcsolószerkezetet használ):

- vasúti kocsik ütközésének hatása az összekapcsolások során,

- az ütközőszerkezet hatása normál futás közben.

- UIC-rendszerben nem elterjedt forgóvázak alkalmazása és ezek hatása az átadódó vertikális gyorsulásokra (pl.: „3-piece AAR-bogie”).

A Knorr-Bremse berkein belül korábban nem állt rendelkezésre olyan berendezés, amelyet azonnal ki lehetett ajánlani az ügyfélnek, gyors megoldásként az EDT101 könnyű tesztelésére terepen egy tehervagonon. A fékrendszer jellemzői és a kocsiszerkezetek UIC- és AAR-rendszerek közötti különbségei miatt a szelep élesben történő alkalmazása előtt az ügyfélnek erősen ajánlott a kisiklásérzékelővel végzett terepi tesztelés a biztonságos működés biztosítása érdekében az új, ismeretlen alkalmazási területen.

Ebből a célból a Knorr-Bremse-nek szüksége volt egy kompakt telemetrikus modulra, amely könnyen felszerelhető bármely teherkocsira, és képes érzékelni és jelezni az EDT101 lehetséges aktiválódását külső áramforrás használatával, és nem okoz valódi vészfékezést a vasúti járművön.

Fontos kiemelni, hogy ha az EDT101-et ismeretlen körülmények között üzemeltetik (sínminőség, központi ütközőszerkezet stb.), akkor előfordulhat, hogy az eszköz tévesen jelez, azaz akkor is vészfékezést indíthat el, ha nem történt kisiklás. Erre leginkább extrém rossz váltók, vagy extrém pályahibák esetében kerülhet sor. Egy normál módon csatlakoztatott kisiklásérzékelő esetén (az EDT101 közvetlenül a főlégvezetékbe van bekötve), a készülék aktiválódása a vészfékezés automatikus elindítását jelenti a vonaton, amely jelentős idővesztéssel és költséggel jár az üzemeltetőnek. Ennek elkerülése érdekében a mérőrendszerrel szemben támasztott követelmény az volt, hogy habár a szelep működését érzékelje a rendszer, de vészfékezést mégse indítson. Ezt egy speciálisan kialakított rugalmas tömlővel sikerült megoldani, amely tartalmaz egy fojtást. Ez a fojtás biztosítja, hogy ha a szelep aktiválódik, csak egy olyan csekély mennyiségű levegőt tudjon leengedni a főlégvezetékbe, amely fékezést nem eredményez, azonban arra elegendő, hogy a nyomásmegváltozás miatt a szelep működésbe lépése egy nyomásátalakítóval érzékelhető legyen.

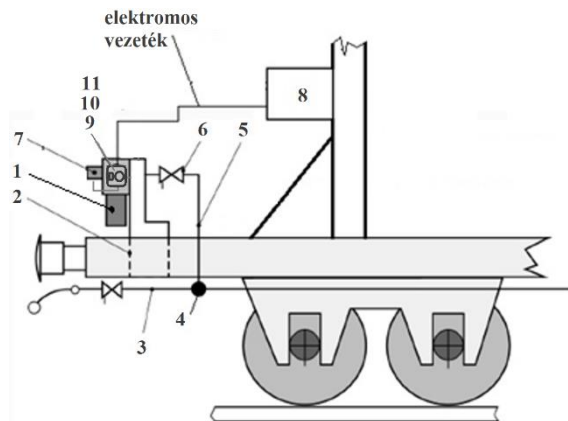
Fontos kiemelni, hogy az itt bemutatott adatgyűjtő eszköz nem szériatermék, hanem 6 db. prototípus került előállításra. Ezeket a prototípusokat (1-2 db. javasolt/jármű) a Knorr-Bremse biztosítja az ügyfélnek a tesztelés idejére, majd a teszt végeztével a mérőrendszereket az ügyfél visszajuttatja a Knorr-Bremse számára. A kapott eredményeket a Knorr-Bremse kiértékeli, majd megállapodás szerint megosztja az ügyféllel, valamint definiálják a következő lépéseket a projektet illetően.

### 3. A RENDSZER FELÉPÍTÉSE

#### 3.1. A szelep rögzítése a vasúti járművön

A rendszer vasúti járműre való felrögzítésének elvi vázlata az 1. ábrán látható. Általános esetben minden teherkocsira kettő darab kisiklásérzékelő szelep kerül, egy-egy a kocsik két végére. Ez azért szükséges, hogy mindkét forgóvázhoz tartozó kerékpárok monitorozva legyenek a szelepek által. Fontos kiemelni, hogy a szelepek minél merevebb helyre legyenek felfogatva, ezzel csökkentve a nem kívánt rezonanciák megjelenését. A Knorr-Bremse minden EDT101-re vonatkozó installációs pozíciót projektspecifikusan külön megvizsgál egy speciális vizsgálati módszerrel, amely során

megállapítja, hogy az aktuális felrögzítési hely elég merev-e vagy sem a szelep számára.



- 1 – kisiklásérzékelő szelep
- 2 – mellvas
- 3 – légvezeték
- 4 – T-csatlakozó
- 5 – pneumatikus tömlő
- 6 – elzáró csap (a tartó része)
- 7 – nyomásátalakító
- 8 – akkumulátor
- 9 – elektronikus főegység (gyorsulásszenzor stb.)
- 10 – GPS antenna
- 11 – GSM antenna

1. ábra. Az elrendezés elvi vázlata

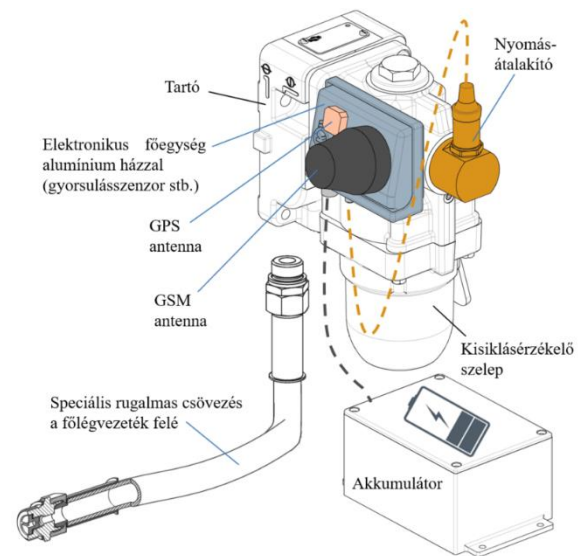
Általános esetben a szelepek a mellvasra kerülnek rögzítésre az ütközők mellé, hiszen itt általában elegendő a merevség (zárt szelvények nagy falvastagsággal). Ha a mellvasra történő rögzítés nem lehetséges, akkor egy alternatív, jellemzően hegesztett konzolt szokás használni a vasúti kocsik egyéb részén (viszonylag közel a forgóvázhoz).

A Knorr-Bremse az adatgyűjtő mérőberendezéssel felszerelt szelepekből vonatonként 1-2 mérőrendszer prototípus felszerelését javasolja. Ez elegendő, hogy megfelelő képet kapjunk a járművön ébredő jellemző gyorsulásokról, illetve a szelepek viselkedéséről.

### 3.1. A mérőrendszer rögzítése a szelepen és a vasúti járművön

A mérőrendszer fő részeit a 2. ábra mutatja. Kihívásként jelentkezett, hogy miképp legyen rögzítve az adatgyűjtő rendszer a készülékhez. Itt a legfőbb szempont az volt, hogy az alkalmazott gyorsulásszenzor a lehető legmerevebb módon legyen rögzítve, hogy

legkevésbé torzuljanak a mért gyorsulásértékek a valósághoz képest.



2. ábra. Az adatgyűjtő mérőberendezés fő részei

Ennek érdekében a szelepen való rögzítés, mind az adatgyűjtő rendszeren belüli rögzítést a lehető legmerevebb módon kellett megoldani. Az adatgyűjtő mérőrendszer egy speciális hibrid ragasztó segítségével van a kisiklásérzékelő szelep oldalához rögzítve, így biztosítva, hogy jó közelítéssel szinte teljesen egy testként mozogjanak. A ragasztó a száradása után kellően merev, rugalmassága elhanyagolható és tartóssága is megfelelő. Ezeket a tulajdonságait egy széleskörű teszteléssel is (tartósjáratás és shock-tesztek) alátámasztottuk, amelyet a Knorr-Bremse Fékvezérlés Osztály Laboratóriumában végeztünk el egy rázópadon (lásd 5. fejezet).

A kezdeti iterációk és prototípusok után kirajzolódott a nyomtatott áramkör pontos mérete és konstrukciója, amely azt eredményezte, hogy megkezdődhetett a mérőrendszer fő egységét körülölelő alumínium ház megtervezése. Mivel egy viszonylag amorf és nehezen forgácsolható geometria adódott a házra, kézenfekvőnek tűnt a Knorr-Bremse-nél elérhető innovatív technológia, a 3D-fémnyomatás használata az alumínium házakra. Ennek segítségével viszonylag rövid időn belül sikerült előállítani a bonyolult geometriát, ami már magában tudta foglalni a szükséges megtámasztásokat és felütköztetési bordákat a nyomtatott áramkör számára. Az 3D-nyomtatott házak a 3. ábrán láthatók.



3. ábra. 3D-nyomtatott alumínium ház a főegységhez

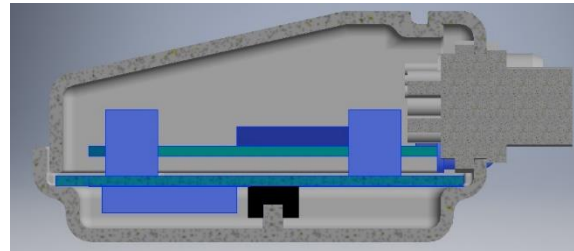
A nyomtatott áramkör és a szenzorok elhelyezkedése a szükséges megtámasztásokkal a 4. ábrán látható. Fontos megemlíteni, hogy az összeszerelés után (a két házfél összeragasztásra kerül), a ház üresen maradt részei a NYÁK alatt és felett, egy speciális szilikon anyaggal kiöntésre kerültek, amely több célt is szolgált:

- védi az elektromos áramkört a bejutó víz és szennyeződés elől, így biztosítva a megfelelő IP-védelmet;

- a szilikon anyag a megkeményedése után további merevítést ad a belső alkatrészeknek ezzel is javítva a gyorsulásszenzor „hatékonyságát”.

A gyorsulásszenzor egy nyomtatott áramkörre van rögzítve, amely tartalmazza az egyéb szenzorok kapcsolódási pontjait, illetve a működéshez szükséges szoftveres megoldást is.

Az elektronikai rendszer teljes felépítése, a szenzorok kiválasztása és a teljes szoftveres programozás is egy partnercég, a BEKO Engineering Kft. által valósult meg a Knorr-Bremse által előre definiált specifikáció mentén szoros együttműködésben.



4. ábra. A nyomtatott áramkör elhelyezkedése az alumínium házban összeszerelés után

Az akkumulátor egy IP67-es védelemmel ellátott alumínium házban foglal helyet, amelyet egy szintén IP-védett elektromos vezetékkel lehet a mérőrendszerhez csatlakoztatni. Az akkumulátor vagy csavarokkal (vagy egyéb módon) rögzítendő a vasúti kocsin a tesztelés ideje alatt. A akkumulátort csatlakoztatva egy LED-lámpa kezd világítani a mérőrendszer alsó falán, amely színekkel jelzi a rendszer állapotát:

- piros: áram alatt, de a szenzorokat még nem érzékeli),
- narancssárga: szenzorok érzékelve, de a GSM/GPS kapcsolat még nem épült fel,
- zöld: minden rendelkezésre áll, a rendszer üzemkész.

Az akkumulátor úgy lett méretezve, hogy másfél hónapnyi extrém igénybevételt (extrém sok adatküldés) is képes legyen ellátni energiával. Méretét tekintve viszonylag kis méretű: 100x140x75 mm.

A rendszer összes fogyasztásának nagyon jelentős részét a GSM és GPS műholdakhoz való csatlakozás meríti ki, messze ez fogyasztja a legtöbb energiát. Ez volt az akkumulátor méretezésének ez volt a szűk keresztmetszete.



5. ábra. Az összeállított adatgyűjtő rendszer akkumulátorral (a rugalmas tömlő nélkül)

Az akkumulátoron kívül a mérőrendszer része a már korábban említett rugalmas tömlő (amely

tartalmaz egy fojtást), amelyet a főlégvezetékbe kell csatlakoztatni (üzemeltető felelőssége). A másik oldala az EDT101 tartójába csavarandó. Ez a rugalmas tömlő biztosítja, hogy a kisiklásérzékelő szelep működése esetén ne indítson be vészfékezést a vonaton, csak egy rövid idejű (1-2 másodperc) leeresztést produkáljon, majd a szelep magától visszazár alapállapotába.

#### 4. A RENDSZER MŰKÖDÉSE

Az adatgyűjtő mérőrendszer működése 3 fő csoportra osztható.

##### 4.1. Napi státuszjelentés

A napi státuszjelentés során a mérőrendszer egy adott időpontban (magyar idő szerint: 14:00-kor) kiküld egy e-mailt a megadott e-mail címekre, amely a következő információkat tartalmazza:

- pontos GPS-koordináták (a vonat pozíciója),
- a vonat sebessége [km/h],
- az aznapi „események” száma,
- hőmérséklet [°C],
- akkumulátor töltöttsége,
- minden távolról, SMS-ben állítható paraméter aktuális állása.

Ezzel a funkcióval nyomom követhető a vonat mozgása napról-napra abban az esetben is, ha épp nem történt olyan esemény, amely során a mérőrendszernek aktiválnia kellett volna önmagát. Ez a funkció a rendszer teljes leszerelésénél is hasznos opció, hiszen ezzel látható, hogy éppen merre jár a vonat és hova és mikor célszerű időzíteni a leszerelést.

##### 4.2. Adatküldés limitértéket meghaladó gyorsulásérték esetén

A mérőrendszer egy 3-irányú gyorsulásszenzorral van ellátva, amely folyamatosan monitorozza a gyorsulásokat függőleges irányban ún. „windowing” („ablakozó”) módszerrel. A másik két irányú gyorsulás nem kerül tárolásra (de ez szoftveresen módosítható). Abban az esetben, amikor egy ablakban nincs olyan nagy gyorsulásérték, amely meghaladná az előre definiált  $g$ -értéket, az aktuális ablak azonnal törlődik, így spórolva memóriát és energiát.

A mérőrendszer számára lehetőségünk van egy limitgyorsulás értéket megadni [mértékegység:  $g$ ], amelyről úgy gondoljuk, hogy az afeletti értékek már érdekesek lehetnek. Ez a  $g$ -érték akármikor állítható SMS-en keresztül, így bármikor módosítható a kapott adatok

függvényében (a túl alacsony érték túl sok adatot eredményez, a túl magas érték pedig nem ad elég információt).

Amennyiben a gyorsulásérzékelő a megadott limitértéknél magasabb gyorsulásértéket érzékel, az alábbi adatok küldi el időkéselem nélkül a megadott e-mail címekre egy e-mail formájában, amennyiben a mobilhálózat (GSM) elérhető:

- egy log-file (.txt), amely két adatsorban tartalmazza a mért vertikális gyorsulásjelet [ $g$ ] és a nyomásátalakító által mért nyomásjelet [ $mbar$ ] egy adott időhosszon keresztül.

Az alapbeállítás az időhosszra egy 10 másodperces ablak, amely 5 másodperccel a limitérték átlépése előtt indul és 5 másodperccel a limitérték átlépése utáni időszakot öleli fel. Természetesen ez az 5-5 másodperces időablak is SMS-en keresztül bármikor átállítható más értékekre. Azért van szükség a limitérték átlépése előtti időszakra is, hogy látható legyen a gyorsulásjel változásának a történelme is (ez a későbbi analízis szempontjából fontos lehet).

Amennyiben sok egymást követő alkalomnál lépjük át a limitgyorsulás értéke, úgy a rendszer képes összefűzni a mért gyorsulás jelet és egy darab, nagy „összefűzött” log-fájlt fog küldeni, amely jóval nagyobb hosszúságú adatot rögzített, mint 10 másodperc. Egy kritikus pályaszakasznál, vagy egy kisiklásnál tipikusan ilyen jellegű gyorsulásjelek fognak megjelenni, ahol egymás után sokszor átlépjük a beállított limitgyorsulás értékét. Ekkor egy nagyobb méretű log-fájl generálódik.

Természetesen a fentiekén kívül az egyéb adatokra is kíváncsiak vagyunk, így a napi státuszjelentéshez hasonlóan a következő adatok is ugyanúgy kiküldésre kerülnek:

- az aktiválódáshoz tartozó GPS-pozíció,
- az aktiválódáshoz tartozó sebesség [km/h],
- hőmérséklet [°C],
- akkumulátor töltöttsége,
- minden távolról, SMS-ben állítható paraméter aktuális állása.

##### 4.3. Adatküldés a kisiklásérzékelő szelep működése esetén

Az előző ponthoz nagyon hasonlóan, itt is ugyanazok az adatok kerülnek kiküldésre, azonban itt a mérőrendszer nem (vagy inkább nem csak) a limitgyorsulás átlépésre „ébred fel” és küld adatot, hanem a szelep működésbe lépésére, méghozzá a nyomásátalakító jele alapján. A mérőrendszer úgy van kifejlesztve,

hogy a nyomásátalakító jele alapján is működésbe tudjon lépni. A nyomásátalakító össze van kötve a főegységgel és a szelepen mért nyomást feszültséggé alakítja, és ezt továbbítja folyamatosan a főegységben lévő elektronikába. Amennyiben a nyomásátalakító által mért nyomás túllép egy előre definiált határértéket (szintén SMS segítségével bármikor megváltoztatható), a mérőrendszer „felébred” és kiküldeni a szokásos log-fájlt (a mért adatokat a gyorsulásérzékelőből és a nyomásmérőből). A nyomásátalakító a szelepen belül egy olyan belső térbe van csatlakoztatva (becsavarva), amely térben ha a nyomás drasztikusan és hirtelen elkezd emelkedni, az egyértelműen mutatja, hogy működésbe lépett a kisiklásérzékelő szelep. Így a nyomásjelből egyértelműen meghatározható, hogy mikor lépett működésbe a kisiklásérzékelő szelep és mikor nem.

Fontos kiemelni, hogy abban az esetben amikor a mérőrendszer „csak” a limitgyorsulás átlépésre aktiválódik és küld adatokat, a log-fájlból lévő nyomásértékek közel nullák (hiszen a szelep belsejében nem ébredt nyomás, ha a szelep nem lépett működésbe).

Azonban, ha a mérőrendszer a nyomásjel hatására aktiválódik, a log-fájlból kapott nyomásjel nem nulla, hanem egy nyomásemelkedés, majd nyomásesés képét mutatja. Ezzel párhuzamosan a vertikális gyorsulásjel is rendelkezésre áll a log-fájlból ugyanabban az időpillanatban, így könnyen megállapítható, hogy mely gyorsulásérték(ek) tartoznak a kisiklásérzékelő szelep kinyitásához, aktiválásához. Ez egy hatalmas előrelépés a kisiklásérzékelő szelep életében, ennek alkalmazhatósága a 6. fejezetben kerül bemutatásra.

## 5. TESZTELÉS ÉS VALIDÁLÁS

Az adatgyűjtő mérőrendszer tesztelése több fázisban zajlott különböző típusú tesztekkel és prototípusokkal, mígnem minden funkció validálva lett laborkörülmények között és éles, valós körülmények között is.

### 5.1. A rendszer tesztelése laborkörülmények között

A mérőrendszer laboratóriumi tesztelése a Knorr-Bremse Fékvezérlés Osztályának Laboratóriumában lett elvégezve egy vertikális rázópad segítségével (LDS 850-440), amelyre egy megfelelően merev tartókonzolla rögzített szelep és a ráragasztott mérőrendszer volt

széleskörűen vizsgálva az összes hozzá tartozó alkatrészével együtt (GPS, GSM, akkumulátor stb.). A rázópadra elhelyezett referencia gyorsulásmérők és nyomásmérők segítségével lehetőség volt összevetni a rendszer által mért és küldött adatokat a valóban fellépő értékekkel, így validálva annak működését. A tesztelés során különböző típusú gyorsulásgerjesztések lettek alkalmazva különböző frekvenciákkal (20...600 Hz) és amplitúdókkal (0,5...80g) egészen az extrém kis értékektől az extrém nagy értékekig. A gyorsulásgerjesztések között szerepelt az általános szinuszhullámmal való gerjesztés, a shock-szerű gerjesztés (félszínusz-gerjesztés) és a szinuszsöpítés is, hogy a rendszer működése validálva legyen rövid, pillanatnyi (shock) és hosszan tartó (színusz-söpítés) gerjesztésekre is. A tesztelések után a rendszer által küldött adatsorok összevetésre kerültek az „eredeti” gerjesztéssel.



6. ábra. Az adatgyűjtő mérőrendszer tesztelése rázópadon

Mindezek mellett a mérőrendszer az alábbi teszteléseknek volt alávetve:

- standard rázásteszt IEC61373:1999 (Cat. 2) szerint (shock és tartóssági próba):

Kritérium: a mérőrendszerben semmilyen mechanikai károsodás nem keletkezhetett (pl.: ragasztó elengedése, NYÁK deformálódása stb.)

- hőmérsékleteszt klímakamrában -25°C és +80°C-on (funkcióvizsgálat):

Kritérium: megfelelő funkció

- vízzel szembeni védettséget IPx5 szerint (EN60529 előírásai alapján):

Kritérium: víz nem juthat be mérőrendszer alkatrészeibe és funkcióvesztést nem okozhat.

A mérőrendszer által mért és a valós gerjesztések közötti összevetés megmutatta, hogy az eltérés a mért és valós jelek között minimális a teljes mérési tartományban, tehát a mérőrendszer sikeresen validálva lett és alkalmas a feladatra. Az eltérés nagyrészt a különböző mintavételezési frekvenciából adódik a rázópad szenzorai és a mérőrendszer szenzorai között.

### 5.2. A 3G mobilkapcsolat (GSM) tesztelése

A fejlesztés során kritikus pont volt a 3G-s mobilkapcsolaton keresztüli kommunikáció megoldása az érvényes titkosítási szabályzatok betartásával, illetve, hogy a mérőrendszer képes legyen minél több ország mobilhálózatával kommunikálni egyszerűen és hamar (és átváltani közöttük, ha határátlépés van). Ez elkerülhetetlen kívánalom volt, hiszen jellemzően távoli országokban kell bizonyítani majd a mérőrendszernek. Az első 2G-s prototípus elvetésre került, hiszen egyrészt lassabb volt az adatkommunikáció, másrészt bizonyos fejlett országok (pl.: Japán, Dél-Korea) már nem használják a 2G-s hálózatot, így ezekben az országokban nem működött volna a mérőrendszer, holott pont ezekből az országokból a legnagyobb az érdeklődés.

Egy internetes cég által forgalmazott nemzetközi SIM-kártya („international SIM-card”) került végül beépítésre a mérőrendszerbe, amely a világ 165 országában képes az adatkommunikációra. Amikor elkészült az adatkommunikáció végleges megoldása (szoftveresen és hardveresen is), egy prototípus mérőrendszer kiküldésre került Japánba, ahol tesztelésre került a 3G-s kommunikációs modul. Az eszköz sikeresen kapcsolódott az ottani mobilhálózatra, majd továbbította a GPS-koordinátákat és egyéb szükséges adatokat, ezzel sikeresen validálva lett az adatkommunikáció Európán kívül is. Ez a prototípus továbbra is rendelkezésre áll, és bármely országba kiküldhető, hogy előzetesen le lehessen vele tesztelni az ottani GSM adatkommunikációt.

### 5.3. Az adatgyűjtő mérőrendszer tesztelése teherkocsin valós körülmények között

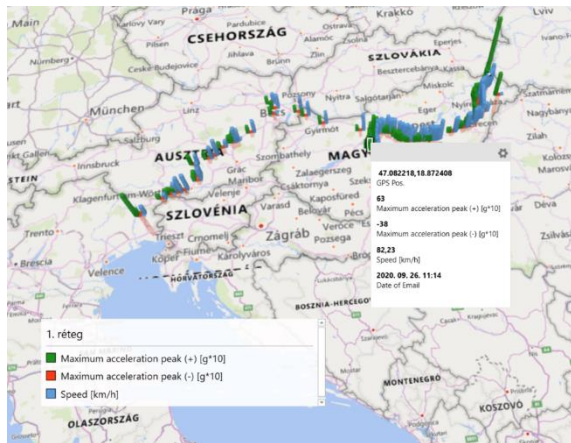
A Knorr-Bremse VJRH Kft. és a RailCargo Hungária Zrt. között kötött megállapodás értelmében, az adatgyűjtő mérőrendszer valós körülmények közötti tesztfutása megvalósításra került. A tesztfutás 2020 szeptember és 2020 október között valósult meg egy teherkocsin 1 db. adatgyűjtő felszerelésével. A teherkocsi jellemzően a Záhony-Debrecen-Budapest-Dunaújváros vonalon közlekedett, de októberben átlépte a határt, és Ausztriában és Olaszországban is járt (Mosonmagyaróvár--Bécs-Kapfenberg-Fürnitz-Udine). A teszt során a mérőrendszer megfelelően működött, folyamatosan generálta az adatokat és több mint 500 db. kisebb-nagyobb log-fájlt, illetve státuszjelentést küldött ki. A tesztsorozat során nem történt kisiklás, a szelep pneumatikusan ugyan nem aktiválódott, így az összes log-fájl a beállított limitgyorsulás átlépése miatt keletkezett. A határok közti mobilkapcsolat átváltás is tökéletesen és automatikusan működött. A teszteredmények kiértékelése után - a vonat sebessége, pozíciója és a fellépő gyorsulások összevetése lehetővé tették - hogy a RailCargo kritikus pályaszakaszokat azonosítson (valószínűleg súlyos pályahibák okozta gyorsulásnövekedések) a pályáin és pontos képet kapjon a rakodás és a normál futás közben fellépő gyorsulásokról. A teszteredmények sikerességének és használhatóságának köszönhetően mindkét fél elégedett volt és a partnercég egy következő tesztsorozatra való felkérést indítványozott a Knorr-Bremse felé, aminek az előkészületei jelenleg zajlanak. A teszt során az akkumulátor kapacitása is sikeresen vizsgázott, extrém nagy terhelése ellenére (sokkal több log-fájl generálása, mint normál esetben) is kibírta a másfél hónapos időtartamot.

### 6. A KAPOTT EREDMÉNYEK ÉS AZOK FELHASZNÁLHATÓSÁGA

Az adatgyűjtő mérőrendszer elsődleges célja, hogy eddig ismeretlen területeken monitorozza a kisiklásérzékelő szelep működését anélkül, hogy vészfékezést indítana el a vonaton. Továbbá, ha azt tapasztaljuk, hogy a kisiklásérzékelő jelenlegi nyitógyorsulása túl alacsony (pl.: a rossz pályaminőség miatt kinyit a pályahibák miatt is, holott nem történt kisiklás) vagy túl magas (kisiklásra sem nyit ki – nem életszerű eset), a mérőrendszer által rögzített gyorsulásjelek mentén módosíthatjuk azt. A

jelenleg kisiklásérzékelő szelep belső konstrukciója úgy van kialakítva, hogy egy belső rugóerővel állítható a készülékre jellemző nyitógyorsulás (nyitógyorsulás = az a gyorsulás, amit már kisikláshoz kapcsolunk és a szelepet szeretnénk, ha működésbe lépne).

Az adatgyűjtő mérőrendszer eredményei vizualizálásra megírásra került egy Excel-program, amely az Excel 3D-Térkép funkcióját használva képes megjeleníteni egy térképen az adott GPS-pozícionál mért összes adatot (a 7. ábrán látható példán ez oszlopdiaagrammokkal történik). Ezáltal egy térképen pontosan nyomon követhető, hogy a jármű mikor és hol volt, illetve, hogy az adott ponton mekkora sebességnél milyen gyorsulás és nyomás adatokat mért.



7.ábra. A feldolgozott adatok vizualizációja 3D-térképen

A kapott adatok az alábbi célokra használhatók fel:

- A kisiklásérzékelő szelep biztonságos működésének biztosítása és/vagy beállítása,

valamint a készülék viselkedésének elemzése a tényleges működési feltételek mellett és ezáltal a vevői elégedettség növelése főként az UIC-fékkendszereken kívüli piacokon,

- homologizációs esetek támogatása;
- kritikus pályaszakaszok azonosítása a vevőnél;
- eddig ismeretlen működési feltételek vizsgálata (új forgóváz, új pályaszakasz, új kocsiszekrény);
- reklamációkezelés.

## 7. A RENDSZER FŐBB JELLEMZŐI

Applikáció:

- bármilyen teherkocsira könnyedén felszerelhető (külső áramforrást nem igényel)  
Becsült rendelkezésre álló elektromos töltés:

- min. 1,5 hónap (akkumulátor újratölthető)

Javasolt mérési időtartam:

- 2 hét .... 1,5 hónap

A gyorsulás mintavételezési frekvenciája:

- 1.6 kHz

A gyorsulás mérési tartománya:

-  $\pm 200g$

A nyomásmérés mérési tartomány:

- 0...8 bar

Működési hőmérséklet tartomány:

-  $-25^{\circ}C \dots +80^{\circ}C$

GSM-kapcsolat:

- 3G

Nemzetközi SIM-kártya lefedettsége:

- több mint 165 ország világszerte

Védelem:

- vízálló, erős időjárás viszonyoknak ellenálló,

- robusztus, vasúti rezgéseknek ellenálló design.

Hatása a fékkndszerre:

- valós fékezést nem indít.

Állíthatóság:

- az összes fő paraméter a SIM-kártyára küldött SMS-sel bármikor könnyedén átállítható.