KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁGI SZERVEZET

ZÁRÓJELENTÉS

2015-1160-5
Vasúti baleset / Kisiklás

Orgonás
2015. november 1.

A szakmai vizsgálat célja a súlyos vasúti balesetek, a vasúti balesetek és a váratlan vasúti események okainak, körülményeinek feltárása, és a hasonló esetek megelőzése érdekében szükséges szakmai intézkedések kezdeményezése, valamint javaslatok megtétele. A szakmai vizsgálatnak semmilyen formában nem célja a vétkesség vagy a felelősség vizsgálata és megállapítása.

Jelen vizsgálatot

- a légi-, a vasúti és a víziközlekedési balesetek és egyéb közlekedési események szakmai vizsgálatáról szóló 2005. évi CLXXXIV. törvény (a továbbiakban: Kbvt.),
- a súlyos vasúti balesetek, a vasúti balesetek és a váratlan vasúti események szakmai vizsgálatának, valamint az üzembentartói vizsgálat részletes szabályairól szóló 24/2012. (V.8.) NFM rendelet,
- illetve a Kbvt. eltérő rendelkezéseinek hiányában a közigazgatási hatósági eljárás és szolgáltatás általános szabályairól szóló 2004. évi CXL. törvény rendelkezéseinek megfelelő alkalmazásával folytatta le a Közlekedésbiztonsági Szervezet.

A Kbvt. és a 24/2012. (V.8.) NFM rendelet együttesen az Európai Parlament és a Tanács 2004/49/EK irányelve (2004. április 29.) a közösségi vasutak biztonságáról valamint a vasúttársaságok engedélyezéséről szóló 95/18/EK tanácsi irányelv és a vasúti infrastruktúrakapacitás elosztásáról, továbbá a vasúti infrastruktúra használati díjának felszámításáról és a biztonsági tanúsítványról szóló 2001/14/EK irányelv módosításáról (vasútbiztonsági irányelv) szóló uniós jogi aktusoknak való megfelelést szolgálják.

A Közlekedésbiztonsági Szervezet illetékessége a 278/2006. (XII. 23.) Korm. rendeleten, valamint 2016. szeptember 1-étől a közlekedésbiztonsági szerv kijelöléséről, valamint a Közlekedésbiztonsági Szervezet jogutódlással való megszűnéséről szóló 230/2016. (VII. 29.) Korm. rendeleten alapul.

Fenti szabályok szerint

- A Közlekedésbiztonsági Szervezetnek a súlyos vasúti balesetet ki kell vizsgálnia.
- A Közlekedésbiztonsági Szervezet mérlegelési jogkörében eljárva kivizsgálhatja azokat a vasúti baleseteket, illetve váratlan vasúti eseményeket, amelyek megítélése szerint más körülmények között súlyosabb következményű balesethez vezethettek volna.
- A szakmai vizsgálat független a közlekedési baleset, illetve az egyéb közlekedési esemény kapcsán indult más közigazgatási hatósági, szabálysértési, illetve büntetőeljárástól.
- Jelen Zárójelentés kötelező erővel nem bír, ellene jogorvoslati eljárás nem kezdeményezhető.

A Vizsgálóbizottság tagjaival szemben összeférhetetlenség nem merült fel. A szakmai vizsgálatban résztvevő személyek az adott ügyben indított más eljárásban szakértőként nem járhatnak el.

A Vb köteles megőrizni és más hatóság számára nem köteles hozzáférhetővé tenni a szakmai vizsgálat során tudomására jutott adatot, amely tekintetében az adat birtokosa az adatközlést jogszabály alapján megtagadhatta volna.

Jelen zárójelentés

alapjául a Vb által készített és az észrevételek megtétele céljából – jogszabályban meghatározott – érintettek számára megküldött zárójelentés-tervezet szolgált. A tervezet megküldésével egyidejűleg a KBSZ főigazgatója értesítette az érintetteket a záró megbeszélés időpontjáról, arra meghívta az érintett személyeket, szervezeteket.

A zárójelentéshez az érintettek észrevételt nem tettek.

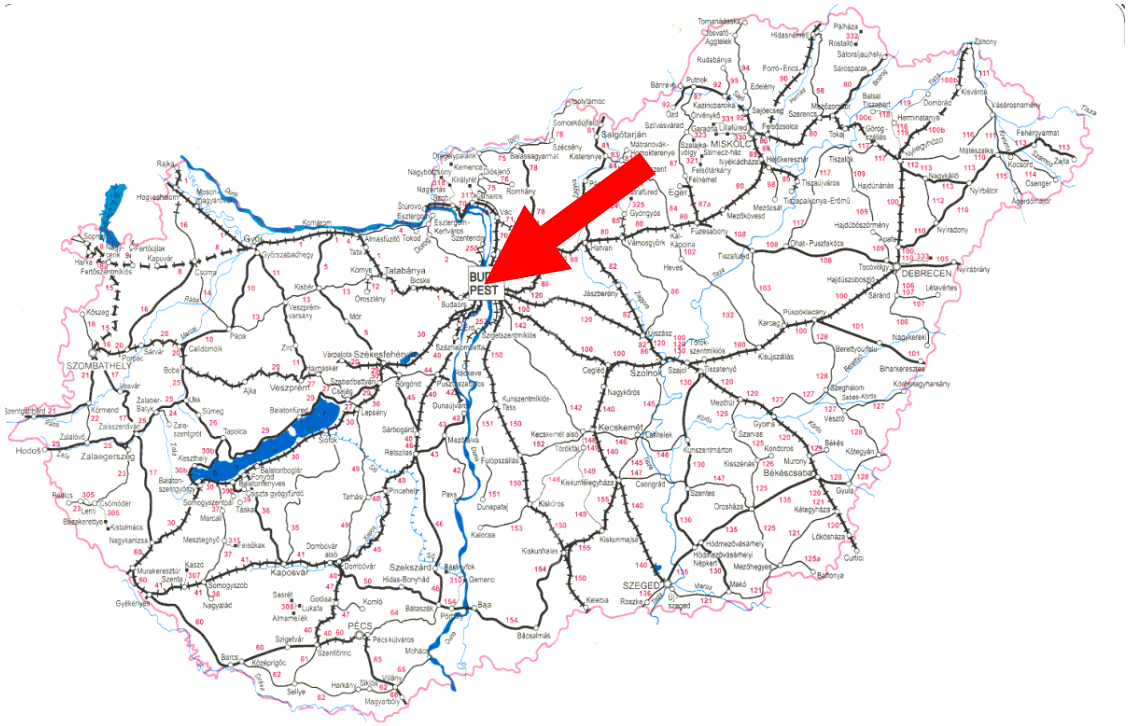
MEGHATÁROZÁSOK ÉS RÖVIDÍTÉSEK

BKV	Budapesti Közlekedési Zrt.
KBSZ	Közlekedésbiztonsági Szervezet
Kbvt.	A légi-, a vasúti és a víziközlekedési balesetek és egyéb közlekedési események szakmai vizsgálatáról szóló 2005. évi CLXXXIV. törvény
psz.	pályaszám
Vb	Vizsgálóbizottság

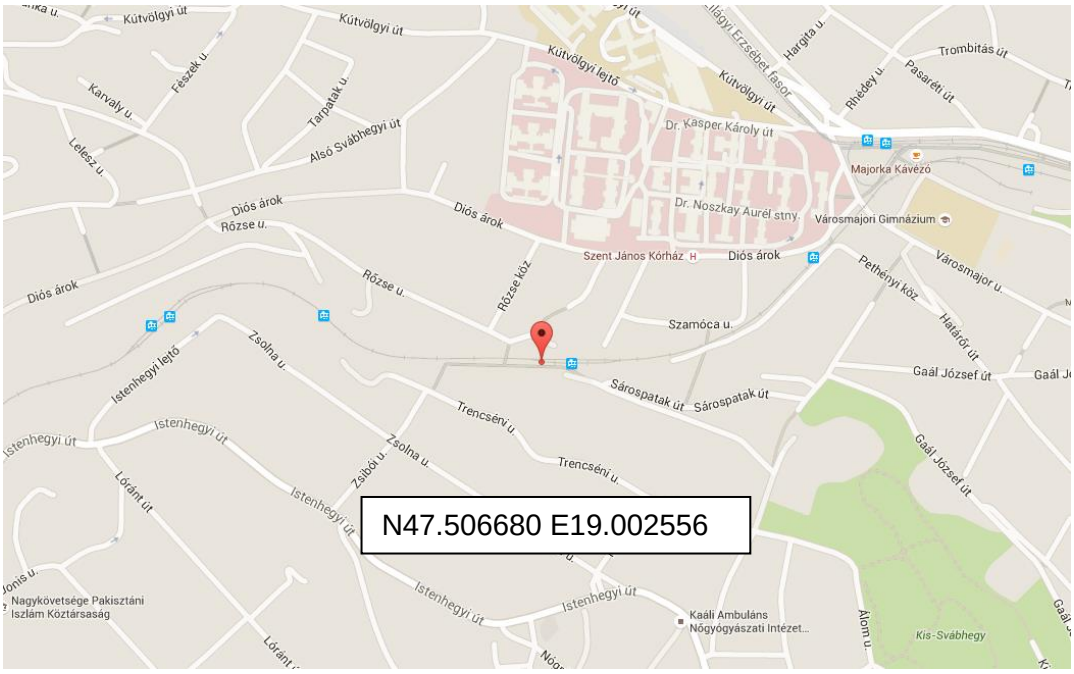
AZ ESET ÖSSZEFOGLALÁSA

Az eset kategóriája	Vasúti baleset
Az eset jellege	Vasúti jármű kisiklása
Az eset időpontja	2015. november 1. 22 óra 18 perc
Az eset helye	Orgonás megállóhely
Vasúti rendszer típusa	helyi / fogaskerekű
Mozgás típusa	villamos
Az eset kapcsán elhunytak / súlyosan sérültek száma	0 / 0
Pályahálózat működtető	Budapesti Közlekedési Zrt.
Üzembentartó	Budapesti Közlekedési Zrt.
Rongálódás mértéke	vasúti jármű kis mértékben
Nyilvántartó állam	Magyarország

Az eset helye



1. ábra: az esemény helye Magyarország vasúthálózatán



2. ábra: az esemény közelebbi helye

Bejelentések, értesítések

A KBSZ ügyeletére az esetet 2015. november 1-én, 22:32-kor (a bekövetkezés után 14 perccel) jelentette a BKV Zrt. diszpécsere.

Vizsgálóbizottság

A KBSZ főigazgatója a vasúti közlekedési esemény vizsgálatára 2015. november 1-én az alábbi Vizsgálóbizottságot jelölte ki:

vezetője	Chikán Gábor	balesetvizsgáló
tagja	Kovács József	balesetvizsgáló
	Burda Pál	baleseti helyszínelő

Az eseményvizsgálat áttekintése

A vizsgálat során a Vb

- 2015. november 1-én helyszíni szemlét tartott;
- meghallgatta a fogaskerekű jármű vezetőjét;
- tájékozódott a pályamesternél a pályafenntartási folyamatokról;
- 2015. november 10-én a járműfenntartási telephelyen a járművek karbantartásával kapcsolatos vizsgálatot folytatott;
- beszerezte a fogaslécek mért kopási adatait;
- 2016. augusztus 18-án méréseket végzett a járműveken tapasztalható károsító rezgésekre.

Az eset rövid áttekintése

2015. november 1-én 22 óra 18 perckor a Széchenyi-hegy – Városmajor viszonylatban közlekedő fogaskerekű szerelvény Orgonás forgalmi kitérőnél a pályakotró leszakadását követően az első forgóváz mindkét tengelyével kisiklott.

A vizsgálat megállapította, hogy a kisiklás közvetlen oka a pályakotró rögzítésének törése, mindez azonban visszavezethető a járműfenntartási hiányosságok mellett arra, hogy a vasúti pálya, és azon belül a fogaslécek rendkívül kopottak, az ebből eredő káros ütések, rezgések pedig a járműszerkezet gyors tönkremenetelét okozzák.

A pályafenntartás nem képes a fogaslécek elhasználódásával lépést tartani, illetve nem állt rendelkezésre alkatrész azok cseréjére.

A Vb biztonsági ajánlás kiadását javasolja a pályafenntartási folyamatok felülvizsgálatára.

1. TÉNYEK

1.1 Az esemény lefolyása

2015. november 1-én 22 óra 18 perckor Széchenyi-hegyről lejtmenetben, Városmajor felé közlekedő 57 – 67 pályaszámú kocsikból álló 60 sz. fogaskerekű villamos vezetője Orgonás forgalmi kitérő 1. sz. váltójának elhagyását követően erőteljes rázkódásra, és a jármű rendellenes mozgására lett figyelmes. A jármű azonnali megállását követően megállapította, hogy a pályakotró leszakadását követően az arra való rágördülés és kiemelődés során a vasúti pályát az első két tengelyével jobbra 0,3 méterrel elhagyta.

3. ábra: a kisiklott vonat

1.2 Személyi sérülés

Sérülés	Személyzet	Utas	Útátjáró használó	Idegen	Egyéb
Halálos	-	-	-	-	-
Súlyos	-	-	-	-	-
Könnyű	-	-	-	-	-
Nem sérült	1	-	-	-	-

1.3 Vasúti járművek sérülése

A kisiklást megelőzően az 57 pályaszámú motorkocsi pályakotró lemeze az azt tartó konzolokkal együtt leszakadt. A siklott jármű vizsgálata során a vasúti járműben a pályakotró tönkremenetelén kívül üzembiztonságot veszélyeztető sérülést nem állapítottak meg.

1.4 Infrastruktúrában keletkezett kár

A baleset következtében egy gyalogos átjáró aszfaltburkolata használhatatlanná vált. A vasúti pálya a forgalmat akadályozó mértékben nem károsodott.

1.5 Egyéb kár

Az esemény következtében a vasúti pálya – és a vasútvonal – 326 percig volt a forgalomból kizárva (ebből 244 perc az éjszakai üzemszünetre esett).

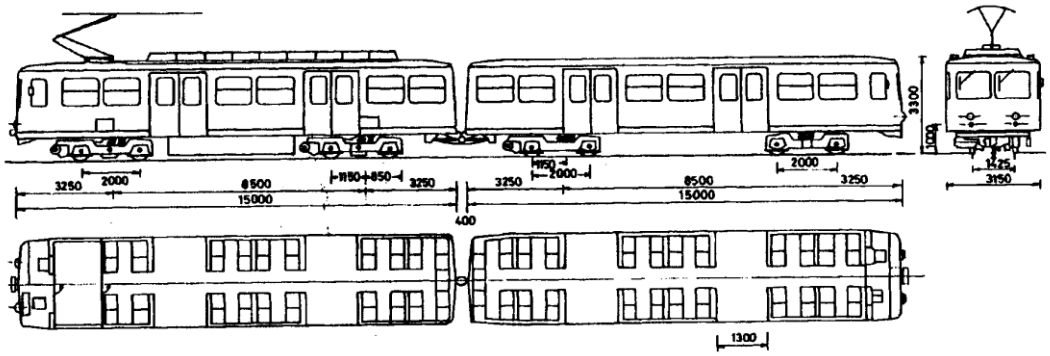
1.6 Az érintett személyek adatai

A járművezető adatai:

Kora:	54 év
Neme:	férfi
Mozdonyvezetői vizsgát tett:	1998-ban
Alapvizsga:	érvényes
Vonalismeret:	érvényes
Típusismeret:	érvényes
Orvosi alkalmasság:	érvényes
Szolgálat megkezdése:	aznap 15 óra 10 perc
Előző szolgálat vége:	előző nap 00 óra 00 perc

1.7 A vonatok jellemzői

Vonatszám:	60
Mozgástípus:	villamos
Útvonal:	Széchenyihegy - Városmajor
Kocsik:	57 psz. motorkocsi + 67 psz. mellékkocsi
Hossz:	30 m

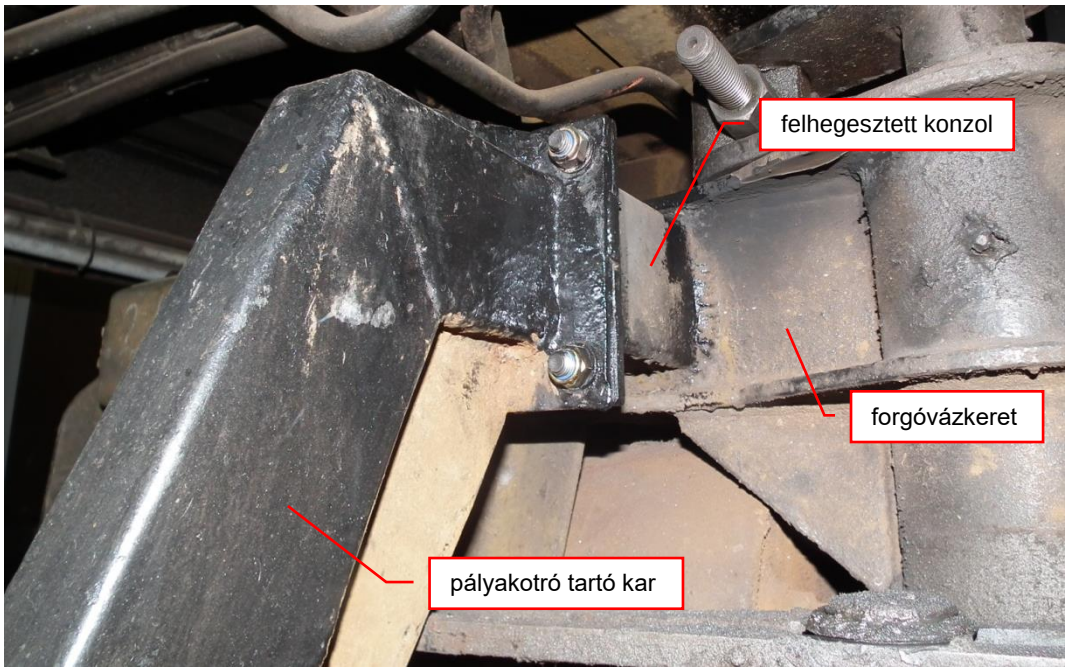


4. ábra: a jármű jellegrajza

1.7.1 A pályakotró

Az eseményben részes pályakotró lemez a motorkocsi völgyirányú forgóvázára, két konzollal van felhelyezve. A konzolok forgóvázra történt felerősítése hegesztéssel történt. A tartószerkezetek végén négyszögletű vaslemezek találhatóak, melyek négy sarkában lévő furatokon át átmenő, metrikus, 10-es csavarokkal biztosították a pályakotró lemezt tartó karok felfogatását.

A pályakotrót tartó karok, valamint a konzol úgynevezett zártszelvényből készültek (5. ábra).



5. ábra: a pályakotró rögzítése

A balesetben leesett pályakotrónál a következők voltak megállapíthatók:

a bal konzol tőből kitört, a hegesztés törési felületét a 6. ábra mutatja. A tört felület részben rozsdás, részben lecsiszolt, felső részén fáradásos sávok láthatók. A pályakotrót a konzolra rögzítő csavarok közül egy hiányzott.

6. ábra: a bal konzol eltört hegesztése

A jobb konzol a helyén volt, a csavaros rögzítésnél tört le róla a pályakotró. Egy csavar, a felfogó lemez sarkával a helyén maradt, de laza volt (7. ábra). A csavarok helyén a lemez mélyen megkopott (8. ábra).

7. ábra: a pályakotró jobb konzolja, törött lemezdarabbal

8. ábra: a lemez sarka a megkopott csavarfurattal

1.7.2 Járműfenntartás

A járműfenntartási személyzettől kapott tájékoztatás szerint

- Kb. 4 éve tapasztalják rendszeresen a pályakotró lelazulását, rögzítésének repedezését, időközben a probléma megjelenése fel is gyorsult. Akár egyetlen üzemnap alatt is tapasztalható a jelenség.
- A szerkezet vizsgálata szemrevételezéses, kézi mozgatással, a napi járműellenőrzések során történik. A jelenség ellen a csavarok utánhúzásával, a konzol tövében hegesztéssel próbálnak védekezni, az esemény óta a csavarkötéssel összeillesztett felületeket is hegesztik.
- Minősített hegesztő nincs a munkatársak között, de hegesztő vizsgával rendelkező gyakorlott hegesztők igen.

- Rezgésmérés nem történik, erre eszköz sincsen, de eddig nem vetődött fel ennek szükségessége. A rezgés a járműfenntartó személyzet szubjektív megítélés alapján 5-10 éve érzékelhető, de azóta folyamatosan romlik.
- A járművek fogaskerekeit hasonló éves futásteljesítmény mellett 10-15 éve még 3 évenként, most már kb. évente cserélik, a csere alapja a mért kopás.

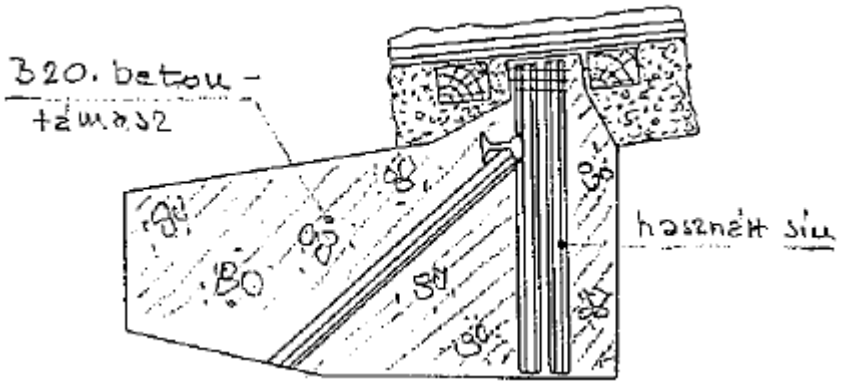
1.8 Az infrastruktúra leírása

A vasúti pálya hossza Városmajor és Széchenyi-hegy végállomások között 3,7 km. A 10 megállóhellyel rendelkező vonalon 4 forgalmi kitérő biztosítja az ellenkező irányú szerelvények találkozását. A forgalmi kitérők váltóit központilag, elektromos úton állítják. A váltók a hideg időjárás viszontagságai ellen elektromos fűtéssel védettek.

A vágány jellemzői:

Ágyazat:	zúzottkő
Aljak:	talpfa
Sínleerősítés:	Geo
Sínek:	34,5 kg/fm
Fogasléc:	Straub rendszerű, DS100 darupálya sínből kimarva
Megengedett sebesség:	hegymenetben 25, völgymenetben 20 km/h
Megengedett tengelyterhelés:	80 kN

A vasúti pálya emelkedése 22-110 ‰ közötti, jellemzően azonban 100 ‰ körüli. A meredek vonalvezetés miatt – megakadályozandó a vasúti pálya lecsúszását – kb. 50 méterenként az alépítménybe épített betontömbök rögzítik a pályát (9. ábra, 27. ábra). A betontömbök üzemszerűen csak hosszirányú terhelést kell kapjanak, a vágány függőleges irányban nem terhelheti azokat.



9. ábra: a megtámasztó betontömb kialakítása

1.8.1 Általános pályaállapot

1973-ban épült át a vonal a mai állapotára, a személyzet tapasztalatai alapján az utóbbi 10-15 évben felgyorsult az állagromlás. Nagyon sok a fekszint- és irányhiba (aláverőgéppel nem járható a pálya), a kitérők és a fogasléc is nagyon megkoptak.

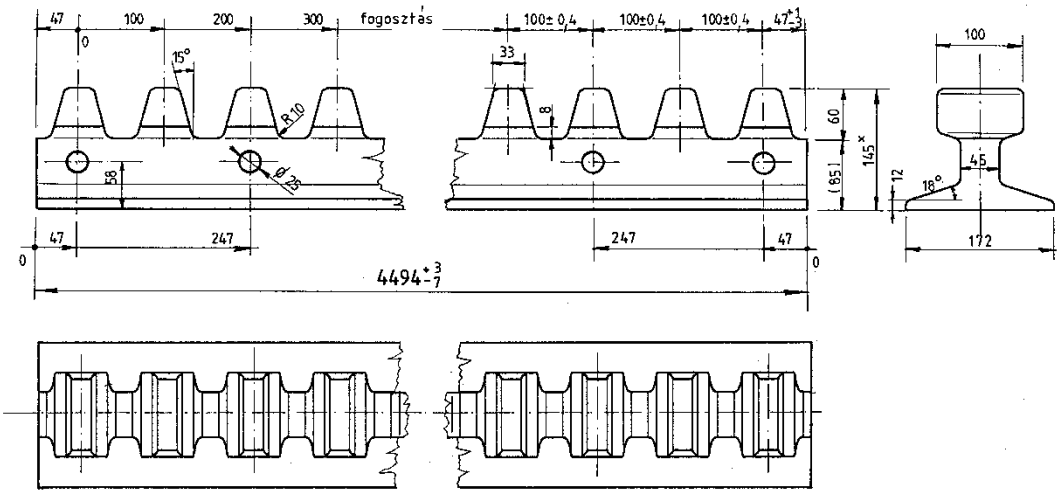
1.8.2 A kitérő

A fogaskerekű vasúti pálya sajátos kialakítású kitérőket kíván. A közbenső részen a fogasléc keresztezi a síneket, így ott külön váltószerkezetek beépítése szükséges.

A kisiklás helye előtti váltó közbenső részének váltóján a Vb 15 mm magassági lépcsőt mért.

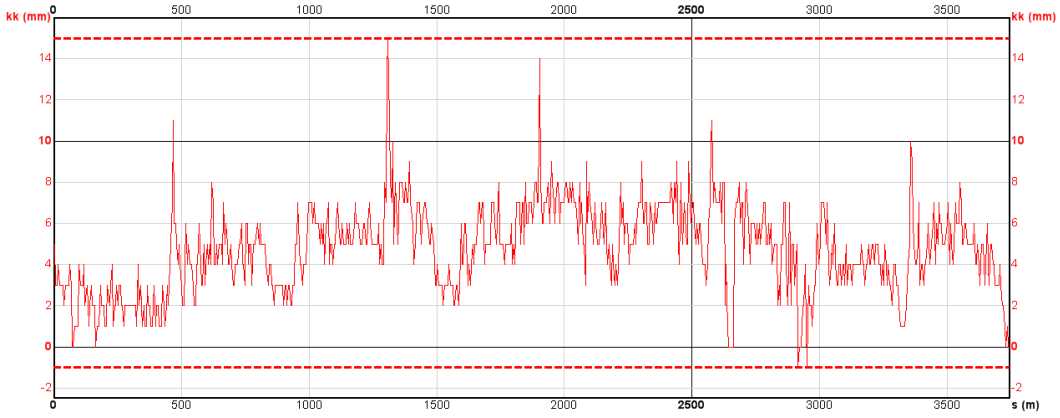
1.8.3 A vasúti pálya fogaslécei

A fogasléc Straub rendszerű, DS100 darupálya sínből van kimarva (10. ábra).



10. ábra: a fogasléc kialakítása

A fogaslécek állapotát 3 évente mérik: fogosztást, fogkopást. A legutóbbi mérés 2015. májusában volt (11. ábra).



11. ábra: mért fogkopások a vasútvonal hossza mentén

12. ábra: egy bontott, kopott fogasléc

A fogasléc-csatlakozások hézagait az évszakos hőingadozáshoz hozzá kell állítani az elvárt 100±1 mm fogköz betartása érdekében.

A kopott fogaslécek cseréjét ezidáig nem sikerült megoldani, mivel a hozzá szükséges darupályasín már nincs gyártásban. Emiatt a javítás egy ideig úgy történt, hogy azokat megfordították (az egyirányú terhelés miatt a völgyoldal nem volt kopott), de ahol ez a lehetőség elfogyott, ott már a meredekebb és kevésbé meredek szakaszok eltérően kopott fogasléceit cserélték fel egymással.

2015. május 11-én a 12+35 – 12+48 szelvények között kísérletképpen be lett építve 3 szál felhegesztett fogasléc egymás után (13,5 m). A rövid üzemidő alatt a beépített fogasléc az üzembentartó tapasztalatai szerint megfelelőnek tűnik. Az átlépések (a kopott régi és az új fogasléc között) beállítása azonban nem sikerült tökéletesen, ezzel voltak problémák. A felhegesztés nagyon munkaigényes és drága, várhatóan nem folytatódik a program.

A baleset előtt is már napirenden volt a teljes felújítás egy más fogasléc rendszerrel, ez érzékelhetően hátráltatja a problémák megoldását.

A vizsgálat idején, 2016. decemberére vált lehetővé más rendszerű sínből kiindulva új fogasléc gyátása.

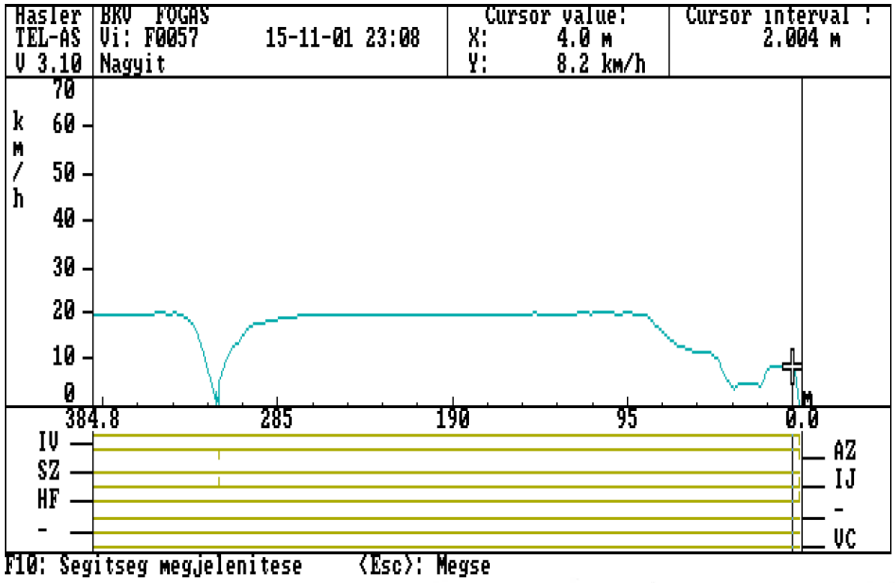
1.9 Állomási adatok

Az állomások elhelyezkedésének, elrendezésének, funkciójának az eseményben nem volt jelentősége, így részletezésük nem szükséges.

1.10 A vasúti járművek adatrögzítői

A járművön Tel500 adatrögzítő működött. A kiértékeléskor megjelenített sebesség-görbét a 13. ábra mutatja.

A kisiklás helyének grafikus megjelenítése:



13. ábra: az adatrögzítő kiértékelt képe

1.11 Kommunikációs eszközök

A kommunikációs eszközöknek az eseményben nem volt szerepük, részletezésük ez oknál fogva nem szükséges.

1.12 Meteorológiai adatok

A baleset időpontjában az évszaknak megfelelően +2°C-os hőmérséklet, szélcsendes időjárás, és a távolbalátást nem korlátozó látási viszonyok voltak.

1.13 A túlélés lehetősége

A baleset során a villamos vasúti jármű alacsony sebessége, valamint a baleset jellege folytán emberi élet nem került veszélybe, ezért a túlélés elemzése ebben az esetben ok nélkülinek tekinthető.

1.14 Próbák és kísérletek

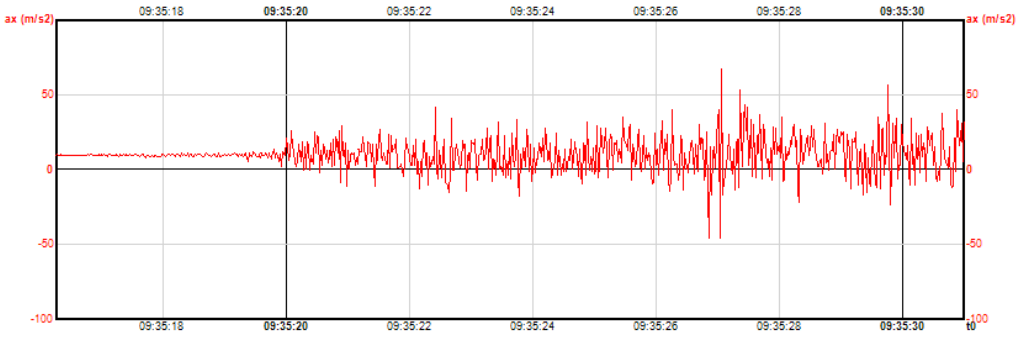
A vizsgálat során a Vb a járművek káros rezgéseit mérte. Ehhez a Vb egyedi mérőeszközt készített, amely rögzíti

- a gyorsulást 3 tengelyen, 1,7 kHz frekvenciával,
- valamint az időpontot, földrajzi koordinátát és sebességet másodperces gyakorisággal.

A mérés két járművön történt, a kopott kapaszkodó fogaskerékkel rendelkező 53 psz., és a balesetben is részes, a méréskor már (2016. februárjában beépített) újabb kapaszkodó fogaskerékkel rendelkező 57 psz. motorkocsin. A mérőeszköz a völgyvégi forgóváz pályakotróján volt elhelyezve (14. ábra).

14. ábra: a mérőeszköz elhelyezése a pályakotrón

A mérőeszközből kiolvasott, függőleges tengelyű gyorsulásadatok egy részletét mutatja be a 15. ábra, a szintén a Vb által készített megjelenítő programban.



15. ábra: a mért gyorsulásadatok részlete

A rezgések frekvenciaösszetételének vizsgálata, a frekvenciaspektrumok előállítása az MS Excelben rendelkezésre álló Fourier-analízis szolgáltatással történt.

A mérésekhez a vasúti társaság kiemelkedő együttműködéssel biztosította a szükséges járműveket, forgalmi feltételeket.

1.15 Érintett szervezetek / a munkaszervezés jellemzése

1.15.1 Járműfenntartás

A fogaskerekű vasút járműveinek fenntartását a Városmajor végállomáson lévő műhely végzi. A fenntartási műhely nem rendelkezik minősített hegesztő szakemberrel, de gyakorlott hegesztővel igen.

1.15.2 Pályafenntartás

A fogaskerekű vasút pályáját a BKV-n belül a Budai Pályafenntartási Üzem, Városmajori Pályamesteri Szakasz tartja fenn.

A szakasz területe kiterjed 68 km villamosvágányra, 4 km fogasvágányra, 200 m sikló vágányra és 168 csoportkitérőre.

Pályafelügyelet

Vonalgondozói vonalbejárás (előírás szerint hetente háromszor) létszámkorlát miatt hetente egyszer van nappal. Emellett minden reggel, üzemkezdet előtt sor kerül egy gyalogos vonalbejárásra (ami kb. 1 órás gyalogos bejárás sötétben, és nem terjed ki a pályaszerkezet állapotának vizsgálatára), valamint közlekedik egy próbavonat is a pálya megszemlélésére.

Kb. 2000-2008-ig volt egy állandó 5-6 fős munkacsapata a fogaskerekűnek, akik a pályahibákat folyamatosan kijavították. Azóta a hibákat csak ad-hoc jelleggel javítják, de tervszerű javítás már nincs. A fogaslécek csatlakozási hézagainak beállítása nagyon sok munkát igényel, amióta nincs tervszerű fenntartás.

Képesítés

A pályamester út-vasút mélyépítő technikus, a vonalbejáróknak BKV-nál vagy MÁV-nál szerzett vonalgondozói szakvizsgái vannak. Ezen felül mindenki rendelkezik a Vasúti Vizsgaközpontnál szerzett egyszerűsített forgalmi vizsgával.

1.16 Szabályok és szabályzatok

A BKV 8/2005 sz. Műszaki Utasítása a Széchenyi-hegyi Fogaskerekű Vasút pályakarbantartás és pályafelügyelet végrehajtásához a fogasléc fogtávolságának fenntartási mérethatárait 100 mm -0+3 mm értékben határozza meg.

Ugyanezt az értéket adja meg a BKV „Közúti vasúti pályaépítési és fenntartási műszaki adatok és előírások” c. (2000-ben kiadott) előírása azzal, hogy illesztésnél ±3 mm a tűrés.

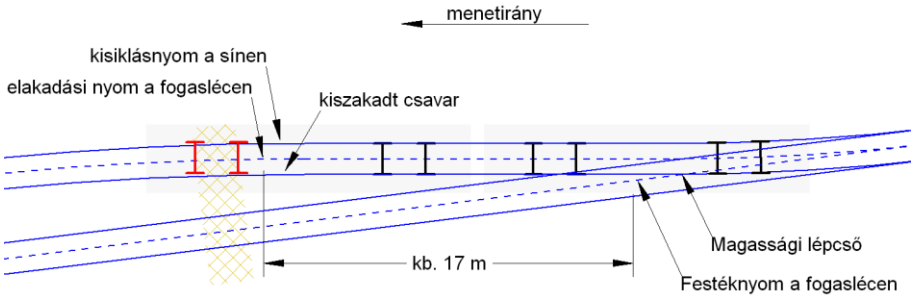
Ennek betartása érdekében az éves hőingást a fogaslécek közti illesztési hézag időszakos szabályozása biztosítja.

Ezek az utasítások a fogak kopására nem adnak meg határértéket, de a fogasléc mérőlapok azt 6,5 mm-ben határozzák meg.

1.17 Kiegészítő adatok

A helyszínen a Vb a következő fontosabb nyomokat találta (16. ábra):

- a magassági lépcső közelében festéknyomot a másik vágányhoz tartozó fogaslécen;
- ezután a kisiklás helyéig súrolásnyom a fogaslécen;
- a kisiklás helyénél kiszakadt csavar;
- tárgy elakadási nyoma a fogaslécen.



16. ábra: nyomok a helyszínen

1.18 Korábbi hasonló esemény

Korábban hasonló eseményt a KBSZ nem vizsgált.

2. ELEMZÉS

2.1 Az esemény tényleges lefolyása

2.1.1 Az esemény előtti történések

Általános jelenségek

10-15 éve a járművek kapaszkodó fogaskerekét kb. 3 évente cserélték annak kopása miatt.

Később, pontosan meg nem határozott időszakban megjelent az a jelenség, hogy a járművek feltűnően rezgésbe jönnek mehet közben.

Kb. 4 éve már rendszeresen tapasztalható a járműveken a pályakotró lelazulása, rögzítésének repedezése.

A kapaszkodó fogaskerekek kopása felgyorsult, kb. évente kell cserélni.

> Ezen adatokat a járműfenntartási személyzet bocsátotta rendelkezésre (1.7.2).

A konkrét jármű tönkremenetele

A jármű korábbi üzeme során elszenvedett rezgések miatt a pályakotró jobb rögzítésénél a csavarok és a rögzítőtalp érintkező felületei megkoptak, a kötés ezáltal kilazult.

> A csavarok és a lemez érintkező felülete gömbfelületszerűen kopott, a csavar lekerekedett, a lemezben kis mélyedés jött létre. Ez a hosszú ideje fennálló, kis mozgással járó koptató hatás jellegzetes nyoma (8. ábra).

A továbbiakban a laza felfogás miatt pályakotró maga is felerősödött rezgésbe jöhetett, így a bal oldali hegesztés folyamatos fárasztó terhelésnek lett kitéve. A hegesztés fokozatosan elengedett, a megmaradt részei így már egyre nagyobb részt kaptak a fárasztó terhelésből.

> Az eltört hegesztés egy része már rozsdás volt a helyszíneléskor, másutt fényes, de lekoptatott, ami a hosszú ideje fennálló törött állapotra utal. Egy kis részen a fáradásos törés jellegzetes sávjai láthatók (6. ábra).

2.1.2 Az esemény folyamata

Amikor a jármű Orgonás forgalmi kitérő 1. sz. váltóján 8,2 km/h sebességgel áthaladt, a váltó 15 mm-es illesztési lépcsőjén (1.8.2) jelentősebb függőleges ütést kapott. Ettől az ütéstől a pályakotró bal konzolját még tartó hegesztés-szakasz eltört, a szerkezet bal oldala a pályára zuhant.

> A pályára zuhanás helyét a másik irányú járművek által használt fogaslécen lévő, pályakotró színének megfelelő festéknyom megmutatta. A festéknyom régi nem lehetett, mivel a fogaslécnek egy olyan felületén volt, ahol az előzőleg felfelé haladó jármű biztosan letörölte volna.

A pályakotró innentől a sínen és a fogaslécen csúszott.

> A sínen és a fogaslécen is megfigyelhetők voltak a rajta húzott tárgy friss nyomai. Összhangban van ez a járművezető által mondottakkal is, miszerint az üzemszerű működéstől élesen elütő zajokat észlelt.

Rövid út után a pályakotró a fogaslécben elakadt, kifordult. Ekkor leszakadt a jobb oldali rögzítés is, majd aláfordult a forgóváznak, kiemelve azt a pályáról.

> A fenti csúszásnyom véget ér egy elakadási nyomnál, ugyanitt kiszakadt csavar, talpfa-sérülésnyom is látható, illetve a kisiklás nyoma a sínszálon (1.17).

Az első forgóváz kb. 3-4 m út után megállt a gyalogos átjárón, annak aszfalt burkolatát összezúzva.

2.2 A balesethez vezető körülmények a folyamatban

2.2.1 A pályakotró kialakítása

A pályakotrónak a forgóvázkeretre való rögzítése több tekintetben is arra utal, hogy az nem eredeti, járműre tervezett megoldás, hanem az üzembentartó alakította ki. A vizsgálat alatt azonban a szerkezet gyári vagy utólagos kialakításával kapcsolatban nem sikerült bizonyító erejű információt találni.

- A karok kialakítása nem csatlakozik szervesen a forgóvázkerethez, azok egyetlen sík felületre vannak felhegesztve;
- a hegesztés minősége kifejezetten eltér a forgóvázkeret más hegesztéseitől;
- olyan helyen vannak varratok, amelyek nehezen hozzáférhetők, elhelyezésük nem utal megfontolt tervezésre.

A pályakotró ugyan nem közvetlen futásbiztonsági szerepű, teherhordó-vezető alkatrész, azonban mint a jelen eset is mutatja, megfelelő konstrukciója és kialakítása hatással van a biztonságos közlekedésre.

2.2.2 Járműfenntartás

A pályakotró rögzítését annak hosszú erőkarján át erős hajlító-nyomaték gyengíti, fárasztja. A fogaskerekű hajtás kopottságából eredő rezgések ezt a károsító hatást fokozzák, amint ezt a járműfenntartási személyzet is észlelte, illetve folyamatosan észleli a pályakotró rögzítésének sérülésein, lazulásán.

Az ilyen helyzetekre két módon adható válasz:

- a károsító hatás csökkentésével,
- a hatásnak ellenállóbb rögzítéssel.

Az előbbi lehetőség elsősorban a pályafenntartás területét érinti (2.4). A járműfenntartás területén a másik lehetőség áll fenn, azonban nem látható, hogy sikerült volna e hatásokra érdemi, működő választ adni. A rögzítések napi szintű lazulása ennek megoldatlanságát jelzi.

A törött hegesztési felületet szemrevételezve (6. ábra) annak előkészítettsége, kivitelezési minősége is elmarad egy forgóváz-szerkezeten, közlekedésbiztonságot meghatározó elemen elvárhatótól. Ez szoros összefüggésben állhat azzal is, hogy a fenntartási műhely nem rendelkezik minősített hegesztő szakemberrel.

2.3 A jármű rezgései

Tekintettel arra is, hogy a jármű káros rezgései a vizsgálat során lehetséges okként többször is előkerültek, a Vb erre vonatkozóan méréseket végzett (1.14).

A mérési adatokat kiértékeléshez előzetesen át kellett alakítani, a berendezés elhelyezéséből és a pálya lejtéséből következő nullpont-eltolódást figyelembe kellett venni.

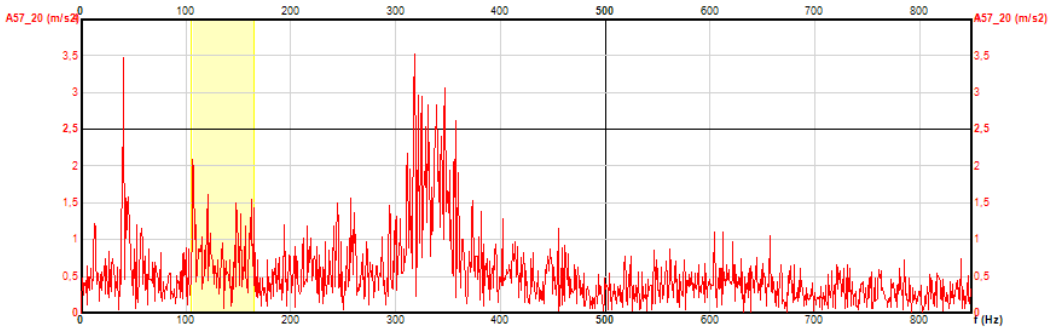
2.3.1 Frekvenciaspektrumok

A mért rezgésadatok elemzéséből előállítható azok frekvenciaspektruma, amit a Vb az alábbi hat esetre készített el:

Ssz.	Jármű	Útpont (m, távolság a mérések kezdőpontjától)	Sebesség (km/h)
1.	53	1800	20,4

2.	57	1800	22,5
3.	53	2510	12,7
4.	57	2510	10,1
5.	53	3040	26,0
6.	57	3040	26,9

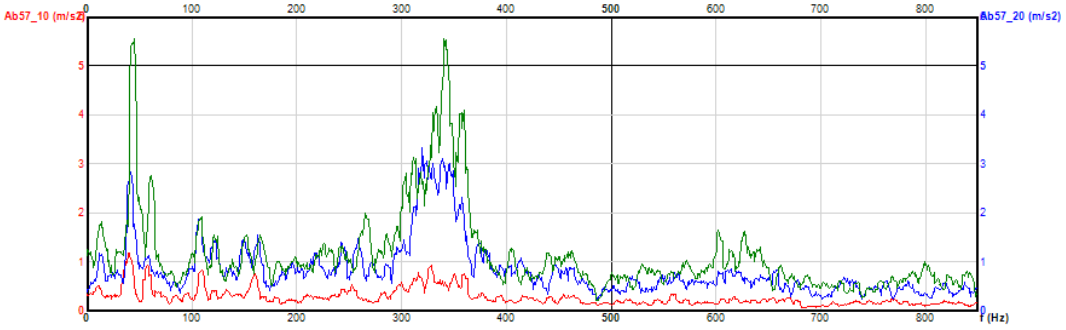
A 2. eset (57 psz. 22 km/h-nál) frekvenciaspektrumát a 17. ábra mutatja. Szembetűnik az ábrán néhány nagyobb csúcs, valamint egy szélesebb tartomány 310-360 Hz között. Felismerhető a pályakotrónak a 2.3.2 fejezetben tárgyalt sajátrezgése is a megjelölt 105-165 Hz tartományban.



17. ábra: Fourier-analízissel előállított frekvenciaspektrum

Frekvenciák

A 4. sor szerinti alacsonyabb sebességhez tartozó frekvenciaspektrum jellege ezzel lényegében megegyezik, azonos frekvenciákkal, de alacsonyabb amplitúdókkal. A fogasléc-hajtás fogátlépéseinek frekvenciája egyik esetben sem jelenik meg akár csak csekély kiemelkedő amplitúdóval sem. A 18. ábra a jobb láthatóság érdekében ezúttal csak a finomított (burkoló-) görbét tartalmazza.



18. ábra: frekvenciaspektrum 10 (vörös), 22 (kék) és 26 km/h (zöld) sebességnél

Ebből az mondható ki, hogy a pályakotró rezgéseinek frekvenciáját pályából érkező – szükségszerűen sebességfüggő – hatások nem befolyásolják, a frekvenciatartományokat a járműszerkezet határozza meg.

Az 53 psz. jármű esetében más frekvenciaértékekkel, de azonos megállapítások tehetők.

Amplitúdók

Az egyes sebességekhez tartozó amplitúdók átlaga rendre az 53 és 57 psz. járművek esetében a lényeges, 0-400 Hz tartományon:

10 km/h	0,4 és 0,7 m/s^2
20 km/h	1,1 és 1,2 m/s^2

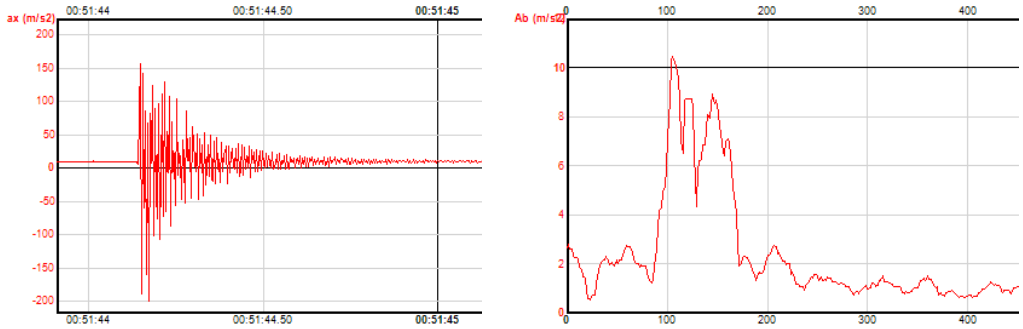
26 km/h	1,4 és 1,6 m/s^2

A nagyobb sebességeknél a két jármű jellemzőjének eltérése annak ellenére kicsi (7-14%[1]), hogy azok eltérő minőségű kapaszkodó fogaskerékkel rendelkeznek. A kisebb sebességen azonban már szembetűnően nagy (50%), itt már valószínűleg érvényesül a fogaskerék jobb állapota.

2.3.2 Sajátrezgések

A próba alapján az is ellenőrizhető, hogy a pályakotró saját rezgései, frekvenciái milyen viszonyban vannak a haladás során keletkező gerjesztő frekvenciákkal. Ehhez a jármű álló helyzetében a pályakotróra mért ütés hatásának elemzése segít. Az ütéstől az csillapodó rezgésbe jön (19. ábra), amelynek frekvenciája a szerkezet fontos jellemzője.

A rezgés adataiból Fourier-elemzéssel előállítható a rezgés spektruma. Ennek alapján a 105-165 Hz tartomány jelenti a szerkezetre a veszélyes gerjesztőfrekvenciát.



19. ábra: a pályakotró saját rezgése és a rezgés frekvenciaspektruma

Figyelemmel arra, hogy a vasúti pálya fogaslécének fogosztása 10 cm (1.8.3), ez a frekvencia a fogasléc felől 10,5-16,5 m/s sebességtartományban állhat elő, ami megfelel 38-60 km/h-nak. A vasúton engedélyezett és alkalmazott sebességtartományban (max. 20-30 km/h) ezért ez a veszélyes gerjesztés nem jön létre.

Természetesen az ettől eltérő rezgés is káros, azonban nem okoz szélsőségesen gyors tönkremenetelt.

A fenti megállapítások a baleseti helyreállítás utáni állapot mérése alapján készültek, előzőleg a tárgyalt értékek (és jelenleg más járművek értékei) lehettek eltérők. A szerkezetekben azonban lényegi eltérések és változások nincsenek, ezért az esetleges kis mértékű eltérések a megállapítás lényegét nem érintik.

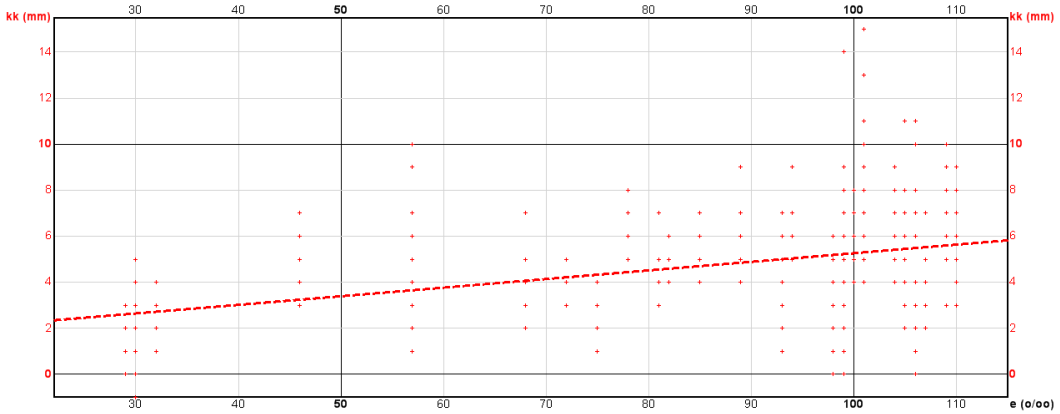
2.4 A vasúti pálya fogasléceinek állapota

2.4.1 Kopás

A fogaslécek kopottságát vizsgálva (lásd 1.8.3) annak szélsőértékei -1 – 15 mm közöttiek. A kiugró, viszonylag ritka értékeket figyelmen kívül hagyva a legjellemzőbb a 4-8 mm-es tartomány. A fogaslécek jelentős részben meghaladják a mérőlap (1.16) szerint megengedett 6,5 mm-es határértéket, a jellemző minimális kopottság is a felső felében van a tűrésmezőnek.

[1] az értékek különbsége az átlaguk arányában

A fogaslécek kopottságának eloszlása megfelel a várhatónak, azaz a meredekebb, nagyobb vonóerőt igénylő szakaszon kopottabbak (20. ábra).



20. ábra: a fogaslécek kopottsága a pálya meredekségének függvényében a mért adatok: pontsereg, az illesztett egyenes[2]: szaggatott

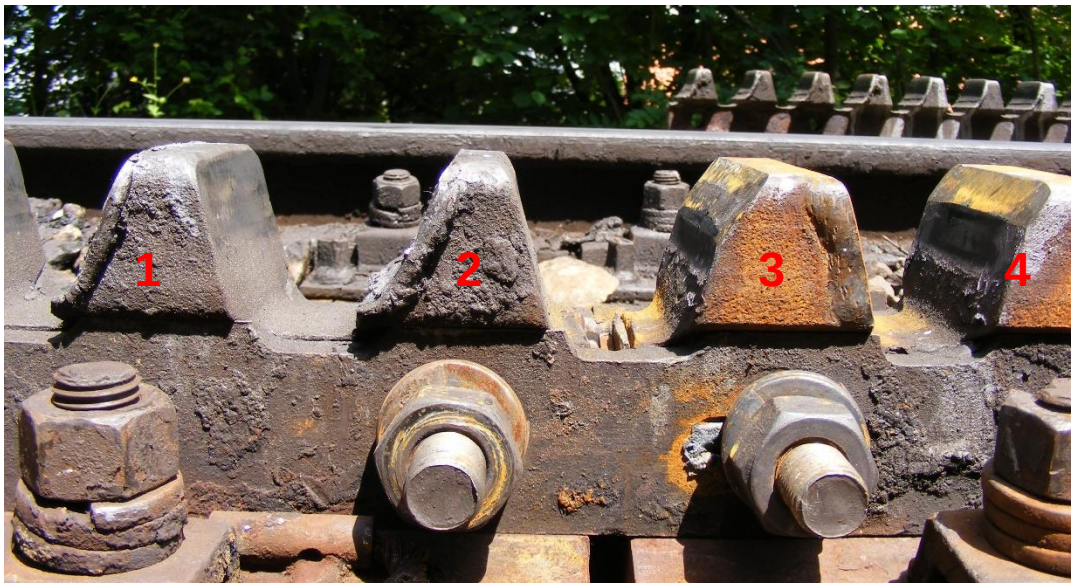
2.4.2 Fogosztás

A fogosztás értéke 90-109 mm között változik (ez a fogasléc-darabok illesztésénél érvényes), a kiugró értékek nélkül is 96-104 mm a jellemző tartomány. Ez számottevően kilép a megengedett 100 mm -0+3 mm sávból (1.16). A pálya meredeksége és a fogosztás között az előzőhöz hasonlóan kimutatható összefüggés nincs.

A 21. ábra többféle problémát is szemléltet:

- a fogak (1 és 2.) rendkívül kopottak;
- a fogasléc-illesztések tárgyalt fogosztási hibája miatt az illesztésnél erősebb a kopás, jól látható, hogy a bal léc 2-es foga sokkal kopottabb, mint az 1-es (a kopás még a jobb oldali léc képen látható állapotúra cseréje előtt alakult ki);
- ez a hiba a fogasléccsere után az új fogasléccel való kapcsolat minőségét is lerontja;
- az építők az új fogasléc fogait a 3-as fognál jobban, a 4-es nél kisebb mértékben leköszörülték azzal a szándékkal, hogy a kapcsolódási hibát csökkentsék.

[2] Legkisebb négyzetek módszerét alkalmazva



21. ábra: kopott és újszerű (felhegesztett) fogasléc találkozása (fotó: BKV Zrt.)

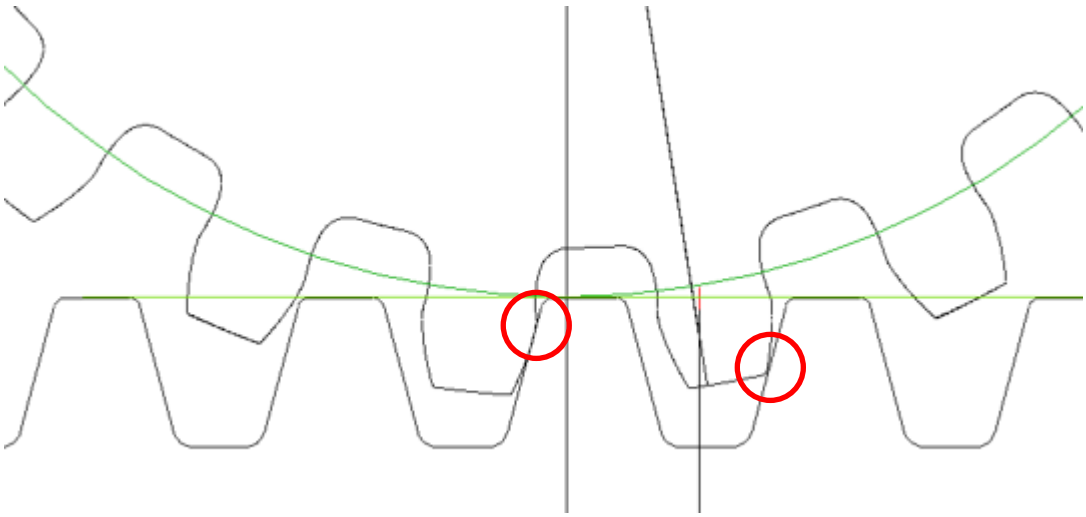
2.4.3 A fogasléc állapotának hatása

2.4.3.1 Kopottság

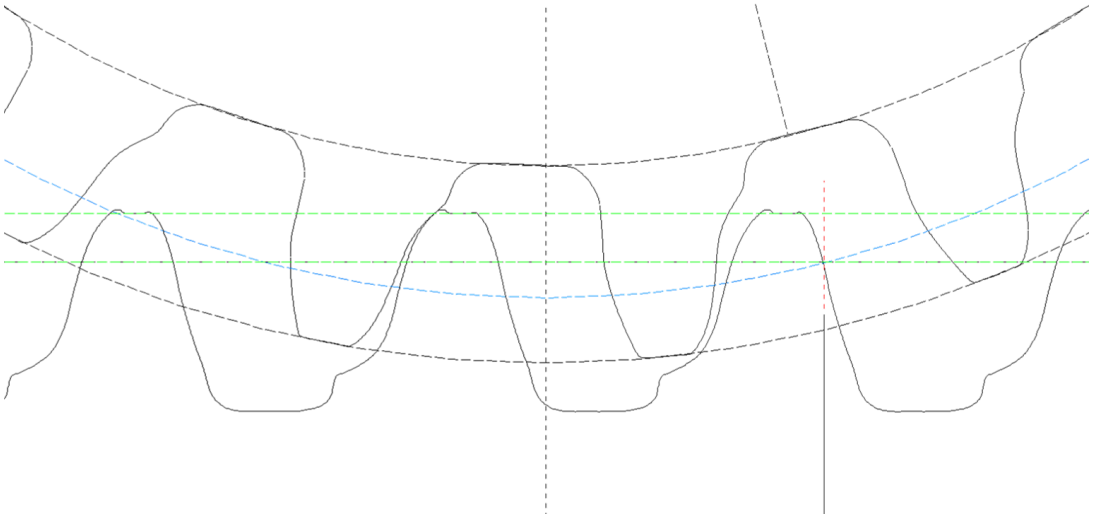
A fogasléc túlzott kopottsága veszélyes lehet a teherbírására. Fogtöréssel járó eseményről azonban az üzembentartó nem tudott, ami arra utal, hogy a fogak elég bőven méretezettek ahhoz, hogy az előálló terhelést 1973 óta, 43 éve jól viselik, a jelentős kopás ellenére is.

Másik, és ezen eseményben érdekelt hatás, hogy a kopott fogashajtás-kapcsolatban a fogaskerék és fogasléc találkozása nem az evolvens fogazásra jellemző kétpontos érintkezéssel valósul meg (22. ábra), hanem egyetlen, ráadásul esetenként ugrásszerűen megváltozó helyzetű ponttal (23. ábra). Ez a terhelést és a kopást is fokozza, valamint egyenlőtlen lesz a haladás sebessége. A sebesség-lengés káros rezgésekhez vezet, ez pedig a Vb véleménye szerint a jármű károsodásának egyik oka: szerkezeti repedések és törések kialakulásához vezet.

A fogak kapcsolódásának ezen jellemzőit az üzembentartó szakemberei vizsgálták, a 22. ábra és a 23. ábra forrása az általuk összeállított dokumentum.



22. ábra: jó állapotú fogaskerék és fogasléc kapcsolódása (forrás: BKV Zrt.)



23. ábra: kopott fogaskerék és fogasléc kapcsolódása (forrás: BKV Zrt.)

A kapaszkodó fogaskerekek említett gyors kopása a járműfenntartásban egyértelműen kimutatható. Új fogaskerék beépítésekor már egyetlen futás után is megfigyelhető (24. ábra).

**24. ábra: új fogaskerék egy menet után,
jól láthatóan kopott és kimángorlódott fogakkal (fotó: BKV Zrt.)**

A gépjavítási gyakorlat szerint egymással kapcsolatban lévő fogaskerekeket párban célszerű cserélni, ellenkező esetben a beépített új fogaskerék profilja gyors ütemben megy tönkre a másik, kopottabb párja miatt. Ez a gyakorlat a fogaskerekű vasúton a fogaslécek és kapaszkodó fogaskerekek együttes cseréjét jelentené, ami nyilvánvalóan nem oldható meg, ráadásul a pálya változó meredeksége, változó sebességgel járt szakaszai szükségszerűen eltérően kopnak, így az összekopás jelensége itt nem is valósulna meg.

Megoldás a fogaslécek folyamatos, jó minőségű, a megállapított határértékeket betartó karbantartása lehet, a fogprofilok elvárt alakjának helyreállításával és fenntartásával.

Erre 2016. decemberétől új fogaslécek szakaszos beépítésével kerül sor.

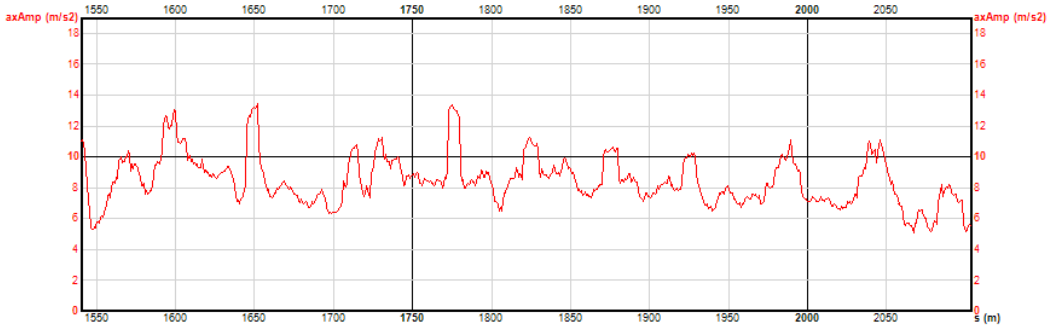
2.4.3.2 Fogosztás

A fogosztás kiugró értékei egyik részről az előzőhöz hasonló problémát okoznak, azonban nem állandó kis mértékű, hanem ritka (4,5 méterenkénti), nagy ütéseket okozva a járműre, a hajtásrendszeri elemekre.

Súlyosabb probléma, hogy nagy eltérés esetén a fogaskerék foga nem fogárokkal, hanem foggal fog találkozni, így akár ki is emelheti a járművet, ami közvetlenül kisiklás-veszélyes.

2.4.4 Egyéb károsító hatások

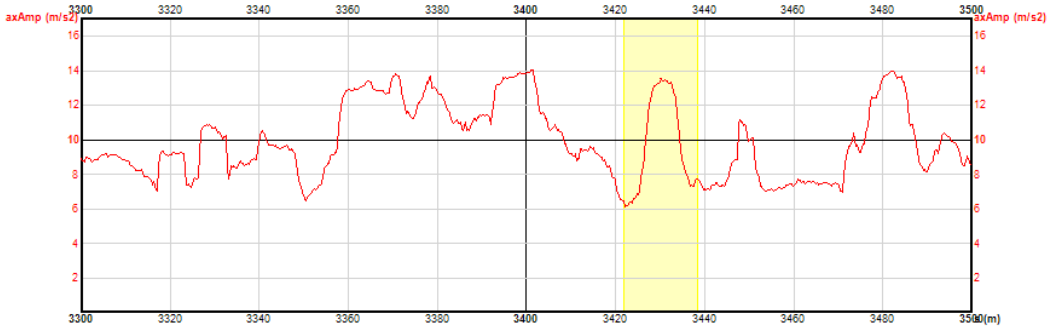
Megfigyelhető mindkét motorkocsi mérési adatainál, hogy egyes pályaszakaszokon kb. 50 méterenként kiugró amplitúdó értékek adódtak. Azonosítható, hogy ezek a pontok jól egybeesnek a pályát megtámasztó betontömbökkel.



25. ábra: kiugró amplitúdók kb. 50 méterenként

A pálya tervszerű állapotában a megtámasztó betontömbök csak hosszirányú erőt vehetnének fel, függőlegesen a pálya azokat nem terhelhetné. A vágány aktuális, megsüllyedt állapotában azonban gyakran fel is fekszik azokon (27. ábra), ezért azokon fekszinthiba jelenik meg, ráadásul a környező pályaszerkezetnél rugalmatlanabb is a vágány.

Hasonló a helyzet a hidaknál, a 26. ábra megjelölt szakaszán a Művész úti híd ütése ad hirtelen terhelést.



26. ábra: a Művész úti híd hatása

A mérési adatok ezt jól igazolják, e helyeken 25-100%-kal nagyobb lengések keletkeznek (az amplitúdó-becslés eljárása azonban elfedi az előforduló, akár 3-4-szeres pillanatnyi ütéseket). Ezek nem csak a járművet károsítják, hanem az ellenerők magukat a megtámasztó tömböket is tönkreteszik.

27. ábra: egy megtámasztó betontömb jelen állapotában

Meg kell jegyezni, hogy a mérési adatokban sok olyan helyen is vannak kiugró értékek, ahol azonosítható különleges pályaelem nincsen, így a komoly károsító hatások forrását a pálya általános állapota is magában hordozza.

2.4.5 Felújítás

A fentiek alátámasztják, hogy időszerű a fogaskerekű vasút teljes rekonstrukciója, átépítése, ami szerepel is az elképzelésekben. Igaz, a fennálló állapotokat tekintve ezen tervezés időzítése késői, már kifutott a reális élettartamból.

Másrészt sajátos módon éppen a várható, tervezett átépítés is hozzájárul a rosszabb pályaállapothoz: a meglévő fogasléc cseréje, felújítása a kis tételű, egyedi gyártás miatt csak nagyon költségesen oldható meg, ugyanakkor a tervezett átépítés már más fogasléc-rendszerrel számol. Így az átépítés után az új fogaslécek feleslegessé válnak, a nagy ráfordítás előnyei várhatóan rövid ideig lesznek élvezhetők.

2.5 Pályafenntartás

Miközben a vasúti pálya elöregedett, ilyenkor természetes jelenség a fokozott elhasználódottság. A fenntartási beavatkozások is azonban éppen ilyenkor ritkultak meg, amikor a vasúti pálya – kopottsága és egyéb általános állapota miatt – már fokozott fenntartási igényű lenne:

- a vonalgondozói vonalbejárás az elvárt heti 3 helyett 1 alkalommal történt meg (ez nem azonos a hajnali, pályaszerkezet állapotát nem ellenőrző bejárással);
- 2000-2008 között megszűnt az állandó munkacsapata a fogaskerekűnek, ezzel a folyamatos hibajavítás (1.15.2), műszaki beavatkozásra csak 2-4 naponta kerül sor, az is általában csak egy-egy konkrét hiba elhárítása.

Ezt a kérdést a jelen vizsgálat idején Széchenyi-hegy állomáson történt kisikláshoz kapcsolódóan tárgyalja még a KBSZ (2016-0557-5).

2.6 Egyéb észrevételek

2.6.1 A vonat haladása

A rögzített adatok (1.10) elemzéséből megállapítható, hogy a jármű vezetője nem lépte túl a vonatra és a pályára megengedett legnagyobb sebességet. A jármű a kisiklást megelőző időpontban 8,2 km/h sebességgel közlekedett.

2.6.2 Kizárható okok

A vizsgálat során előkerült az a lehetséges ok, hogy a gyalogos átjáró rossz állapotú aszfaltozása túlzottan kiemelkedett, a pályakotró abban akadt el, amiatt szakadt le.

A helyszínen a kisiklással összefüggő nyomok és a pályakotró egyes elemeinek elhelyezkedése a gyalogos átjáró előtt volt, így ez az ok kizárható.

2.6.3 A járművezetői magatartás

Az ilyen meghibásodást (pályakotró lelazulása) a járművezetőnek nem kell észlelnie: a jármű átvételekor a pályakotró megfelelő rögzítettségét nem feladata ellenőrizni, menet közben pedig nem észlelhető. Az eseményt okozó leszakadást megelőzni nem tudja.

A kisiklás a leszakadás után röviddel (kb. 17 m, 7 mp) bekövetkezett, így a rendellenes zajokra való felfigyelés után nem volt érdemi ideje arra, hogy a járművet még a kisiklás előtt megállítsa. Kétséges, hogy a rendellenes zajok is mikor észlelhetők: maga a jármű is menet közben remeg, zörög, ami elfedheti a sínen és fogaslécen csúszó alkatrész keltette zajt. Emellett a nyomok is azt mutatják, hogy az alkatrész helyzete a csúszás során változott, nem biztos, hogy kezdettől fogva számottevő zajt okozhatott.

2.6.4 A kapaszkodó fogaskerekek

A járművek kapaszkodó fogaskerekeit kritikus mértékű kopás után cserélik, miközben a kopott fogaslécek cseréje ezidáig elmaradt. Általános szakmai tapasztalat, hogy ha egymáshoz kapcsolódó fogaskerekek, fogaslécek kopottság jelentősen eltérő, akkor a jó állapotú alkatrész kopása rendkívül gyors lesz. Ezzel hozható összefüggésbe, hogy a járművek fogaskerekei a korábbi csereciklusnak (kb. 3 év) csak töredékét élik meg (kb. 1 év).

Mivel nagy értékű alkatészről van szó, a sűrű csere nagyon sok erőforrást igényel, ami többek között más közlekedésbiztonsági intézkedések megvalósításától von el forrásokat.

3. KÖVETKEZTETÉSEK

3.1 Az eset bekövetkezésével közvetlen összefüggésbe hozható ténybeli megállapítások

A vasúti jármű pályakotrója leszakadt, és azon az első forgóváz kisiklott (2.1.2).

3.2 Az eset bekövetkezésével közvetetten összefüggésbe hozható ténybeli megállapítások

A pályakotró rendszeres meglazulása ismert, de az igénybevételnek megfelelő rögzítése nem megoldott, a hegesztések alacsony minőségűek (2.2.2).

A vasúti pálya fogasléce nagyon elhasználódott, káros rezgéseket, erőhatásokat ad a járműre, és fokozott ütemű elhasználódást okoz a hajtásrendszer és járműszerkezet elemeinél (2.4.3).

A fenntartási ráfordítások éppen akkor csökkentek le, amikorra a vasúti pálya már elöregedett, fokozott fenntartási igényűvé vált (2.5).

3.3 Az eset bekövetkezésével összefüggésbe nem hozható, kockázatnövelő tényezők

A vágány megsüllyedése miatt a megtámasztó betontömböknél a járművet és a pályát egyaránt erősen károsító ütések jelentek meg (2.4.4).

A fogaslécek találkozásánál a fogosztás sok esetben jelentősen eltér az előírttól, ami szélsőséges esetben közvetlen kisiklásveszélyt is okozhat (2.4.3).

A fogaskerekek gyakori cseréje más közlekedésbiztonsági intézkedések teljesítésétől von el forrást, veszélyeztetve azok megvalósulását (2.6.4).

4. BIZTONSÁGI AJÁNLÁS

4.1 A vizsgálat során kiadott biztonsági ajánlások

A vizsgálat során a KBSZ nem adott ki biztonsági ajánlást.

4.2 További biztonsági ajánlások

BA2015-1160-5-01: *A Vb tapasztalta, hogy a BKV fogaskerekű vasút pályája rendkívül elavult, sok esetben a meghatározott mérethatárokon túli kopásokkal, pontatlan fogasléc-beállításokkal üzemel. Ennek következtében a járművekre ható, jól mérhető káros hatások is jelentkeznek.*

A KBSZ javasolja a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium Vasúti Hatósági Főosztályának, vizsgálja meg a pályahálózat működtető pályafenntartási rendszerét, hogy az mennyiben alkalmas a mérethatárokon túl lévő pályahibák (különös tekintettel a fogasléc profiljára is) felismerésére és kijavítására, és tegye meg a szükséges intézkedéseket.

Az ajánlás elfogadása és végrehajtása esetén a vasúti pálya okozta közvetlen kisiklási veszély csökkentésén túl a járműszerkezeteket károsító, közvetett kisiklásveszélyt okozó hatások is mérsékelhetők.

Budapest, 2017. február 14.

Chikán Gábor Vb vezetője	Kovács József Vb tagja