



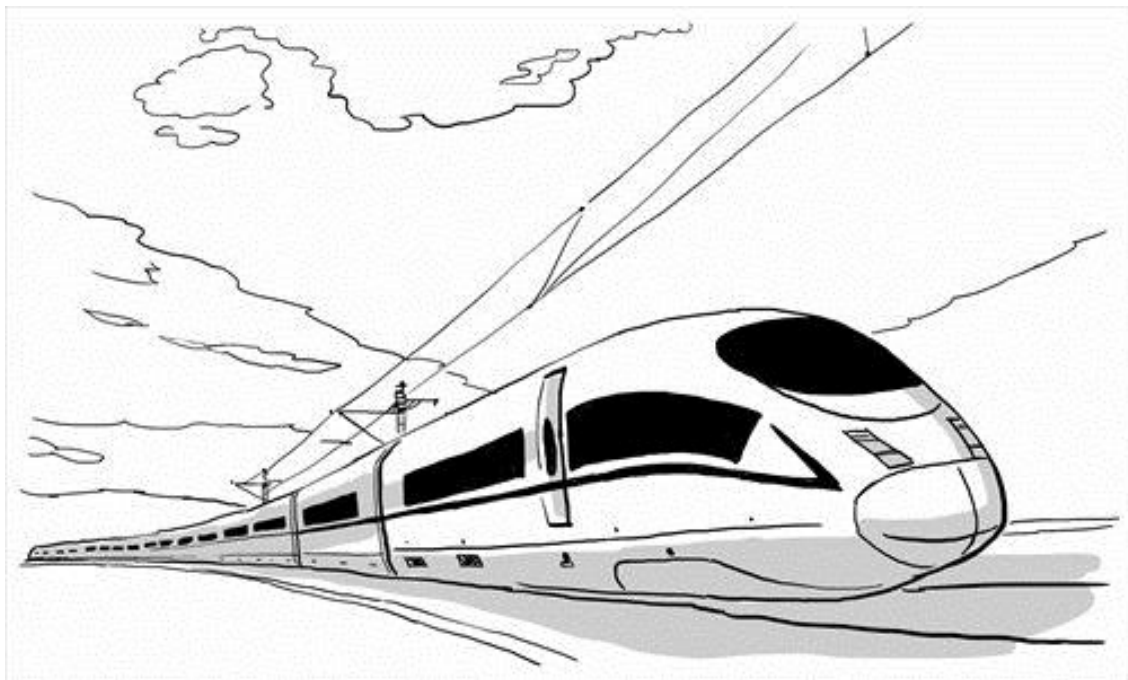
REPUBLIKA HRVATSKA

Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu
Odjel za istrage nesreća u željezničkom prometu

KLASA: 341-09/16-03/69

URBROJ: 699-06/1-16-70

Zagreb, 30.01.2017.



KONAČNO IZVJEŠĆE

Rijeka, incident lom kotača na lokomotivi u Rijeci

20.01.2016.



Objava izvješća i zaštita autorskih prava

Ovo izvješće je izradila i objavila Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu (u daljnjem tekstu AIN) na temelju članka 6., stavka 1. i 4. Zakona o osnivanju Agencije za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu („Narodne novine“, broj 54/13), članka 7., stavka 1. i 4. Statuta Agencije za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu, članka 115. Zakona o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava („Narodne novine“, broj 82/13, 18/15 i 110/15).

Nitko ne smije proizvoditi, reproducirati ili prenositi u bilo kojem obliku ili na bilo koji način ovo izvješće ili bilo koji njegov dio, bez izričitog pisanog dopuštenja AIN-a.

Ovo izvješće može se slobodno koristiti isključivo u obrazovne svrhe.

Za sve dodatne informacije kontaktirajte AIN.

Vodič za čitanje

Sve dimenzije i brzine u ovom izvješću su izražene u Međunarodnom sustavu jedinica (SI). Sve skraćenice i tehnički termini (*oni koji se pojavljuju u kurzivu prvi put se pojavljuju u izvješću*) su objašnjeni u pojmovniku.

Opisi i grafički prikazi mogu biti pojednostavljeni kako bi ilustrirali koncepte za ne-tehničke čitatelje.

Cilj istraga koje se odnose na sigurnost ni u kojem slučaju nije utvrđivanje krivnje ili odgovornosti.

Istrage su neovisne i odvojene od sudskih ili upravnih postupaka i ne smiju dovesti u pitanje utvrđivanje krivnje ili odgovornosti pojedinaca.

Konačno izvješće ne može biti korišteno kao dokaz u sudskom postupku koji ima za cilj utvrđivanje građanskopravne, kaznenopravne ili upravne odgovornosti pojedinca.



Predgovor

Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu (AIN) osnovana je Zakonom o osnivanju Agencije za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu („Narodne novine“, broj 54/2013) kao pravna osoba s javnim ovlastima. Osnivač Agencije je Republika Hrvatska, a osnivačka prava obavlja Vlada Republike Hrvatske.

Na način obavljanja poslova Agencije primjenjuju se posebni propisi, odnosno zakoni kojima se uređuje zračni promet, pomorstvo, te sigurnost i interoperabilnost željezničkog prometa, odnosno propisi doneseni za njihovu provedbu.

Odjel za istrage nesreća u željezničkom prometu je samostalna i nezavisna ustrojstvena jedinica AIN koja obavlja stručne poslove koji se odnose na istrage ozbiljnih nesreća i izvanrednih događaja u željezničkom prometu na željezničkoj mreži u Republici Hrvatskoj. Istrage se provode na temelju odredaba Zakona o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava („Narodne novine“, broj 82/13, 18/15 i 110/15).

AIN istražuje sve ozbiljne nesreće u željezničkom prometu, a to su svi događaji koji uključuju sudar vlakova ili iskliznuće vlaka koje ima za posljedicu smrt najmanje jedne osobe ili *teške ozljede* pet ili više osoba ili *veliku štetu* na vozilima, željezničkoj infrastrukturi ili okolišu, kao i svaka druga slična nesreća s očiglednim utjecajem na sigurnost željezničkog sustava ili na upravljanje sigurnošću.

AIN može istraživati i one nesreće i incidente koje su pod neznatno drugačijim okolnostima mogle dovesti do ozbiljnih nesreća, uključujući tehničke otkaze u radu strukturnih podsustava ili njihovih sastavnih dijelova.

AIN provodi sigurnosne istrage u svrhu sprečavanja nesreća i ozbiljnih nezgoda, što uključuje prikupljanje i analizu podataka, izradu zaključaka uključujući utvrđivanje uzroka i kada je to prikladno, izradu sigurnosnih preporuka kako bi se spriječile nesreće i incidenti u budućnosti i poboljšala sigurnost u željezničkom prometu.



Sadržaj

1. POJMOVNIK OZNAKA I KRATICA	6
2. SAŽETAK	6
3. REPORT SUMMARY	7
4. ODLUKA O POKRETANJU ISTRAŽIVANJA	7
5. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	7
6. PODACI O DOGAĐAJU	8
6.1. OPIS DOGAĐAJA	8
6.1.1. <i>Strane i sudionici nesreće</i>	8
6.1.2. <i>Vlakovi i njihov sastav</i>	8
6.1.3. <i>Opis infrastrukture i signalno-sigurnosnog sustava</i>	8
6.1.4. <i>Radovi koji se izvode na ili u blizini mjesta događaja</i>	8
6.2. SMRTO STRADALI, OZLIJEĐENI I MATERIJALNA ŠTETA	8
6.2.1. <i>Smrtno stradali i ozlijeđeni</i>	8
6.2.2. <i>Teret, prtljaga i druga imovina</i>	8
6.3. VANJSKE OKOLNOSTI	9
7. ZAPISI O ISTRAŽIVANJU I ANALIZAMA	9
7.1. IZVOR DOKAZA	9
7.2. SAŽETAK IZJAVA SVJEDOKA I SUDIONIKA	9
7.3. OČEVID KOTAČA	10
7.4. ISPITIVANJE KOTAČA	13
7.4.1. <i>Rezultati ispitivanja</i>	13
7.5. NAČIN RADA ŽELJEZNIČKIH VOZILA I TEHNIČKE OPREME	15
7.5.1. <i>Željeznička vozila, lokomotiva serije 1141-012</i>	15
7.5.1.1. <i>Prometovanje lokomotive 1141 012</i>	17
7.5.1.2. <i>Pregled potrošnje monoblok kotača za razdoblje 2012 – 2015</i>	17
7.5.1.3. <i>Tehničko nabavni uvjeti propisani od strane željezničkog prijevoznika za monoblok kotače</i>	18
7.5.2. <i>Željeznička vozila</i>	18
7.5.3. <i>Lokomotive serije 1141 podserije 000, 100, 200 i 300</i>	19
7.5.4. <i>Lokomotive serije 1061</i>	19
7.5.5. <i>Željeznička infrastruktura</i>	20
7.5.5.1. <i>Dionica pruge M202 od kolodvora Moravice do kolodvora Rijeka</i>	20
7.5.5.2. <i>Tip tračnica na dionici pruge od kolodvora Moravice do kolodvora Rijeka</i>	21
7.6. SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOŠĆU	22
7.7. SUČELJE ČOVJEK-STROJ-ORGANIZACIJA	22
7.8. PRETHODNI SLIČNI DOGAĐAJI	22
7.8.1. <i>Prethodni slični događaji na infrastrukturi</i>	22
7.9. PRAVILA I PROPISI	23
7.9.1. <i>Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava</i>	23
7.9.2. <i>Pravilnik 201 o vuči vlakova</i>	23
7.9.3. <i>Pravilnik 314, Pravilnik o održavanju gornjeg ustroja željezničkih pruga HŽ-a</i>	23
7.10. UPRAVLJANJE SIGURNOŠĆU -ODRŽAVANJE	24
7.10.1. <i>Pregled održavanja lokomotive 1141 012</i>	25



7.11.	SPOJNICE POSTOLJA	27
7.12.	ZABILJEŽENE NEUREDNOSTI NA PRUZI M202 U 2014 I 2015 GODINI	27
7.13.	KARAKTERISTIKE PRUGE M202 U ZAVISNOSTI OD BRZINE VOŽNJE, NADVIŠENJA, RADIJUSA LUKA I BOČNOG UBRZANJA.....	27
8.	ANALIZE I ZAKLJUČCI.....	29
8.1.	ZAVRŠNI PRIKAZ SLIJEDA DOGAĐAJA.....	29
8.2.	KARAKTERISTIKE SERIJE 1141, PODSERIJE 000	29
8.3.	USPOREDBA POTROŠNJE KOTAČA LOKOMOTIVA SERIJE 1061 I 1141	29
8.4.	PROMETOVANJE LOKOMOTIVE 1141-012	29
8.5.	KARAKTERISTIKE PRUGE	29
8.6.	ISPITIVANJE MATERIJALA KOTAČA	30
8.7.	LOM KOTAČA	30
8.8.	ANALIZA RIZIKA	30
8.9.	ZAKLJUČCI	30
9.	PODUZETE MJERE	31
10.	DODATNA ZAPAŽANJA	31
11.	SIGURNOSNE PREPORUKE	31



1. POJMOVNIK OZNAKA I KRATICA

AIA – Air, Maritime and Railway Accidents Investigation Agency,
AIN – Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu,
ASŽ – Agencija za sigurnost željezničkog prometa
EZ – Europska zajednica,
HŽ – Hrvatske željeznice,
ID3 – Oznaka za istražno izvješće Povjerenstva HŽ-a,
JŽ - Jugoslavenske željeznice,
KP – kontrolni pregled,
NN – Narodne novine,
NSA – National Safety Authority (ASŽ),
M202 – Oznaka pruge Zagreb GK - Rijeka,
RP – Regionalno područje,
UI – upravitelj infrastrukture,
ZUT – zona utjecaja topline.

2. SAŽETAK

Dana 20. siječnja 2016. godine u 22:45 sati pri dolasku strojnog vlaka broj 69047 u kolodvor Rijeka Brajdica utvrđen je prijelom lijevog monoblok kotača na prvom vratilu lokomotive 1141-012. Zbog ovog incidenta nije došlo do prekida željezničkog prometa.

U incidentu nitko nije stradao niti je ozlijeđen.

Izravni uzrok ovog incidenta:

- toplinske promjene materijala vijenca kotača koje su inicirale pojavu pukotina na površini kotrljanja kotača (poglavlje 7.4). Toplinske promjene uzrokovane su kočenjem lokomotive.

Čimbenici koji su pridonijeli ovom incidentu:

- lokomotive serije 1141, podserije 000, opremljene su mehanizmom kočenja koji kinetičku energiju lokomotive tijekom kočenja na obodu kotača pretvara u toplinsko energiju (poglavlje 8.2),
- lokomotive serije 1141, podserije 000 nisu opremljene kočnicom za elektrodinamičko kočenje (poglavlje 8.2),
- konfiguracija i stanje pruge M 202 (poglavlje 8.5).

Organizacijski čimbenici:

- lokomotive serije 1061 zamijenjene su lokomotivama serije 1141, a da prethodno nije napravljena analiza rizika kod zamjene serije vozila u svezi tehničkih karakteristika vozila serije 1141 podserija koje nisu opremljene elektrodinamičkom kočnicom na brdskim prugama (poglavlje 8.2. i 8.3).

Sigurnosna preporuka

Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu nema sigurnosnih preporuka vezanih za ovaj incident.

3. REPORT SUMMARY

On 20th of January 2016 at 22:45 h, in the Station Rijeka – Brajdica on locomotive serial number 1141-012, on a front wheel was discovered a crack.

The direct cause of the incident:

- Is caused by thermal changes on the material of the wheel which generated cracks on the surface of the wheel (chapter 7.4). Thermal changes are caused by braking of the locomotive.

Contributory Factors:

- Locomotives of series 1141, subseries 000, are equipped with braking mechanism that kinetic energy during braking transforms in to thermal energy on the perimeter of the wheels (chapter 8.2),
- Locomotives of series 1141 are not equipped with an electrodynamic brakes (section 8.2),
- Configuration and condition of rail lines M202 (section 8.5).

Underlying Factors:

- Locomotives of series 1061 have been replaced with locomotive of series 1141 without analysis of technical characteristics of locomotives series 1141 (regarding electrodynamic brakes) on mountain rail lines (chapter 8.2 and 8.3).

Safety recommendation

As a result of this investigation, the Air, Maritime and Railway Accidents Investigation Agency (AIA) does not have safety recommendation.

4. ODLUKA O POKRETANJU ISTRAŽIVANJA

AIN je dojavu o navedenom incidentu zaprimio putem elektronske pošte od strane glavnog dispečera Upravitelja infrastrukture. Temeljem prikupljenih informacija iz obavijesti odlučeno je da istražitelj AIN-a neće izaći na mjesto događaja, te da se neće pokretati istraživanje. Odluka o pokretanju istraživanja predmetne nesreće donesena je na zahtjev uključenog željezničkog prijevoznika temeljem Zakona o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava („Narodne novine“ broj 82/13, 18/15 i 110/15), članka 110, stavka 3.

5. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

AIN je utvrdio opseg istraživanja kako bi se osiguralo da se prikupe i pregledaju informacije bitne za provođenje istraživanja kako slijedi:

- Utvrditi slijed događaja,

- Utvrditi uzrok i kontributivne faktore uzroka,
- Ispitivanje relevantnih elemenata sigurnosnog sustava,
- Ispitivanje svih ostalih značajki sigurnosnog sustava.

Istraživanje su proveli glavni istražitelj željezničkih nesreća AIN-a i viši stručni savjetnik željezničke struke.

6. PODACI O DOGAĐAJU

6.1. Opis događaja

Dana 20. siječnja 2016. godine u 22:45 sati pri dolasku strojnog vlaka broj 69047 u kolodvor Rijeka Brajdica utvrđen je prijelom lijevog monoblok kotača na prvom vratilu lokomotive serije 1141-012. Strojni vlak broj 69047 bio je sastavljen od zaprežne lokomotive oznake 1141-012 i vozne lokomotive oznake 1141-108. U periodu od 16.01 – 20.01. 2016. navedene lokomotive prometovale su na pruzi M 202 na relaciji Moravice – Rijeka. Zbog ovog incidenta nije došlo do prekida željezničkog prometa.

6.1.1. Strane i sudionici nesreće

U ovom incidentu sudjelovali su djelatnici društva HŽ Cargo d.o.o. Željezničko vozilo je u vlasništvo željezničkog prijevoznika društva HŽ Cargo d.o.o. Željeznička infrastruktura je pod upravom društva HŽ Infrastruktura d.o.o..

Uključene osobe: strojno osoblje vlaka.

6.1.2. Vlakovi i njihov sastav

U incidentu je sudjelovao strojni vlak broj 69047 koji je bio sastavljen od lokomotiva serije 1141, oznaka 012 i 108. Radi se o električnim lokomotivama za sustav napajanja napona 25 kV/50 Hz. Predmetna serija lokomotiva je univerzalna, namijenjena za vuču putničkih i teretnih vlakova. Lokomotive ove serije gradila je kompanija „Traktion-Union“ koju su činile švedska kompanija „ASEA“, švicarski „Secheron“ i austrijski „Elin-Union“, a kasnije su po licenci kompanije „ASEA“ izgradnju preuzele zagrebačka tvornica "Rade Končar" te niška tvornica „MIN“.

6.1.3. Opis infrastrukture i signalno-sigurnosnog sustava

Incident se dogodio na pruzi M202, pruga Zagreb Glavni kolodvor - Rijeka. Navedena pruga je glavna međunarodna, jednokolosiječna, elektrificirana pruga (sistema 25kV, 50Hz). Lokomotiva je tijekom mjeseca siječnja 2016. godine većinom prometovala između kolodvora Moravice 563+200 km i kolodvora Rijeka 653+221 km. Prilikom jednog od prometovanja, lokomotiva 1141- 012, između kolodvora Plase i Meja, naišla je (tijekom vožnje) na puknutu tračnicu, u položaju 630+720 km.

6.1.4. Radovi koji se izvode na ili u blizini mjesta događaja

U blizini mjesta incidenta nije bilo radova.

6.2. Smrtno stradali, ozlijeđeni i materijalna šteta

6.2.1. Smrtno stradali i ozlijeđeni

U ovom incidentu nitko nije stradao niti je ozlijeđen.

6.2.2. Teret, prtljaga i druga imovina

Vozila uključena u ovaj incident nisu prevozila putnike i prtljagu. Nastala šteta je materijalna šteta u vidu loma monoblok kotača na prvom vratilu lokomotive serije 1141-012.

6.3. Vanjske okolnosti

Predmetna lokomotiva je nakon ugradnje novog kompleta monoblok kotača puštena u promet sredinom mjeseca listopada 2015. godine, kada već nastupa period hladnijeg vremena odnosno zimski uvjeti, koji su praćeni niskim temperaturama i obilnim oborinama (kiša ili snijeg) pogotovo na području RP Zapad (Rijeka), gdje je većim dijelom navedena lokomotiva prometovala do loma kotača.

Prilikom zadnje vožnje lokomotive, nakon koje je ustanovljen lom kotača, bile su vrlo nepovoljne vremenske prilike, vanjska temperatura je iznosila 0°C, padao je snijeg i puhao je vrlo jaki vjetar.



Slika 1. – Karta željezničkih pruga područje Rijeka, Ogulin i Karlovac (izvor slike: Izvješće o mreži 2015.)

7. ZAPISI O ISTRAŽIVANJU I ANALIZAMA

7.1. Izvor dokaza

- Zapisi o ispitivanju sudionika i svjedoka,
- Podaci od Upravitelja infrastrukture i Željezničkog prijevoznika,
- Zapisi iz željezničkog vozila,
- Dokumentacija o željezničkim vozilima,
- Dokumentacija o infrastrukturi,
- Dokumentacija o tehničko nabavnim uvjetima za monoblok kotače željezničkog prijevoznika,
- Dokumentacija o provedenom ispitivanju uzroka loma monoblok kotača,
- Dokumentacija o tehničko nabavnim uvjetima za ugrađene tračnice.

7.2. Sažetak izjava svjedoka i sudionika

Strojovođa vlaka 69042 od 03.01.2016. je izjavio: navedenog dana vozeći lokomotivski vlak br. 69042 na relaciji Lokve – Rijeka, nakon prolaska kroz kolodvor Plase, u km 630+750 došlo je do snažnog udara u vanjsku tračnicu što je upućivalo na moguće puknuće tračnice. O istome odmah sam telefonski obavijestio

dežurnog dispečera prometa kako bi prvi sljedeći vlak oprezno prešao preko navedenog mjesta i ustanovio stvarno stanje.

Strojovođa vlaka 62075 od 20.01.2016. kada je ustanovljen lom kotača je izjavio: prilikom dolaska vlaka 69047 u kolodvor Rijeka Brajdica u 22:46 i čekanja sastavljanja vlaka 62075 pri obilasku oko lokomotive uočio sam puknuće kotača na prvoj osovini strana A. O svemu sam obavijestio nadzornika i instruktora, te lokomotivu proglašavam neispravnom za daljnju vožnju.

7.3. Očevid kotača

Istražitelji AIN-a nisu obavili očevid na mjestu uočavanja loma kotača u kolodvoru Rijeka već su dana 12.2.2016. godine obavili očevid puknutog monoblok kotača na Ranžirnom kolodvoru u radionici za popravak vučnih vozila, u vlasništvu društva TSŽV d.o.o., uz prisustvo ovlaštenog predstavnika željezničkog prijevoznika, u čijem vlasništvu se nalazi predmetno vučno vozilo.

Tijekom očevida napravljena je fotodokumentacija kotača i zapisane su oznake na kotaču. Iz oznaka na kotaču E2 L E 1501980 09-15, ER 8 0024 HZC je vidljivo da se radi o šarži kotača oznake E1501980, kotaču oznake 0024 unutar navedene šarže proizvođača te kotaču koji ima definirana svojstva klase ER8 po normi EN 13262. Na suprotnoj strani vratila nalazio se kotač oznake E2 L E 1501979 09-15, ER 8 0010 HZC, iz čega je vidljivo da se radi o šarži kotača oznake E1501979, kotaču oznake 0010 unutar navedene šarže proizvođača te kotaču koji ima definirana svojstva klase ER8 po normi EN 13262.



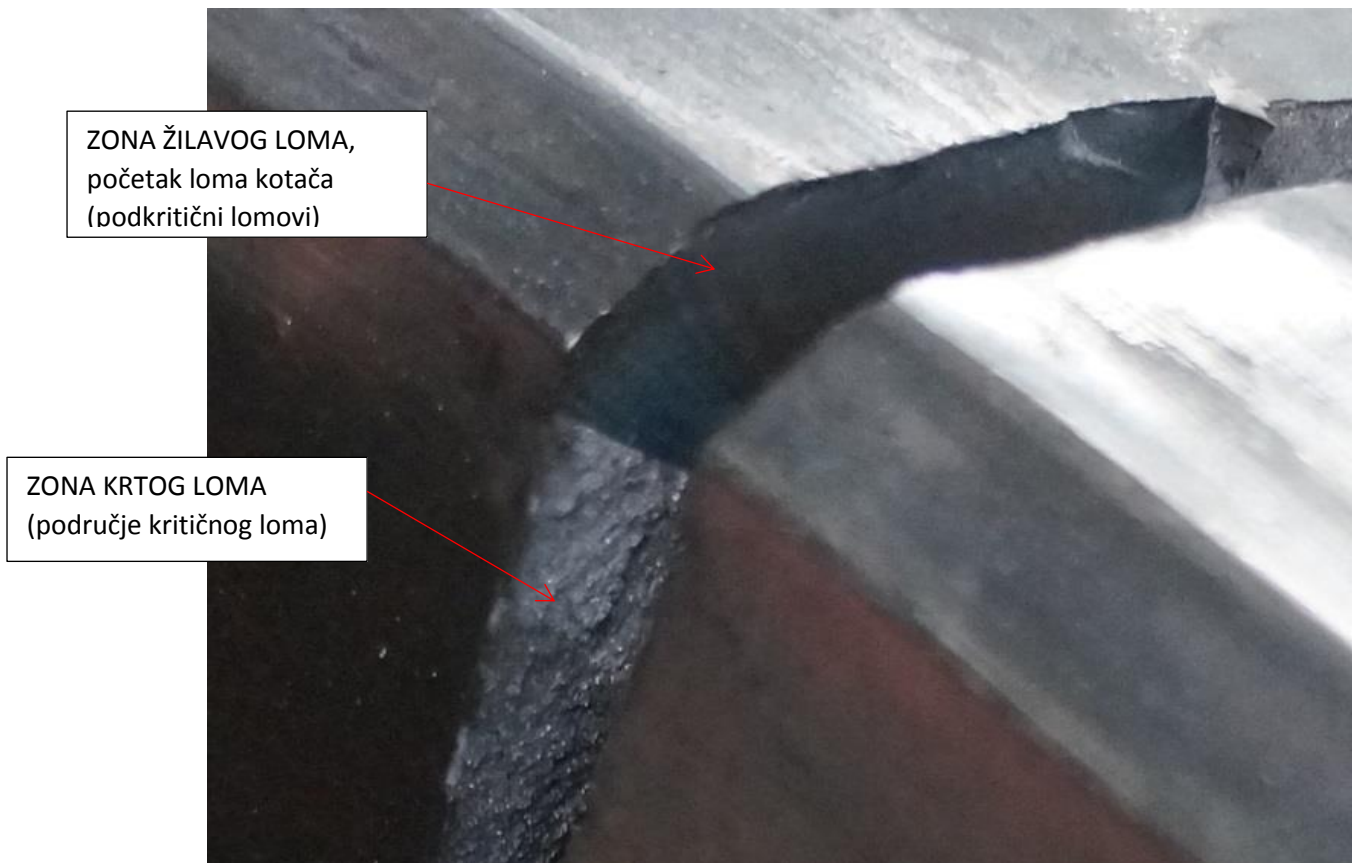
Slika 2. Osovinskog sloga – prvog u smjeru vožnje na lokomotivi 1141-012 (Izvor AIN)



Slika 3. Oznake puknutog monoblok kotača (Izvor AIN)



Slika 4. Bliži snimak mjesta inicijalne pukotine (Izvor AIN)



Slika 5. Detalj mjesta inicijalne pukotine (Izvor AIN)

Iz prethodne slike vidljivo je da je lom nastao na površini kotrljanja kotača, te da se širio prema središtu kotača.

Također, obavljeno je mjerenje profila puknutog kotača sa posebnim mjerilom, te su izmjerene slijedeće vrijednosti:

- Visina vijenca kotača $V_v = 28$ mm (propisana vrijednost $V_v \leq 36$ mm),
- Debljina vijenca kotača $D_v = 28,5$ mm (propisana vrijednost $D_v \geq 25$ mm),
- Nagib vijenca kotača $q_R = 8$ mm (propisana vrijednost $q_R \geq 6,5$ mm).

Iz rezultata mjerenja dimenzija kotača, uzevši u obzir vrijeme ugradnje predmetnih kotača, proizlazi da je potrošnja kotača u eksploatacijskom periodu znatno veća od očekivane.

- Zatim su puknuti monoblok kotač i drugi kotač s istoga vratila, od strane željezničkog prijevoznika i uvoznika, upućeni u ovlašteni laboratorij tvrtke Lucchini na analizu uzroka koji su doveli do navedenog loma.



Slika 6. Mjerenje profila puknutog kotača (Izvor AIN)

7.4. Ispitivanje kotača

Predmetni momoblok kotač je nakon loma demontiran s vratila i predan proizvođaču na ispitivanje. Ovlašteni laboratorij je izradio ispitno izvješće oznake MET 049_16 koje je dostavljeno AIN-u. Ispitivanje je obavljeno u ovlaštenom laboratoriju, a provedeno je u dvije faze:

- Verifikacija kvalitete materijala kotača prema zahtjevima norme EN13262 i to: kemijski sastav (točke 3.1, 3.1.1., 3.1.2, 3.1.3 i Tablica 1), mehanička svojstva (točke 3.2, 3.3 i tablice 2 i 3) te metalurška svojstva (točka 3.4 i tablica 6) predmetnoga kotača i usporedba istih s vrijednostima dobivenima na odabranom kotaču korištenom za ispitivanje svojstava materijala šarže iz koje je izrađen predmetni kotač, te materijala kotača s istog vratila s kojeg je polomljeni kotač.
- Metalurško ispitivanje oštećenja provedeno je u cilju razumijevanja porijekla loma i uzroka loma kotača.
- Ispitivanje je provedeno na uzorku izuzetom iz zone loma, uzorak je označen slovom „C“ te iz dva uzorka izvan zone označeni slovima „A“ i „B“.

7.4.1. Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja sastava materijala, mehaničkih svojstava i metalurških su pokazali slijedeće:

- Kemijska analiza je pokazala da je sastav materijala iz uzorka „C“ sukladan normi EN13262.

- Rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava pokazali su da je vlačna čvrstoća na oba kotača s lokomotive (vrijednost u ispitnom izvješću označena YS) su niže od vrijednosti zadanih normom i to za otprilike 7 %. Dok su sve ostale vrijednosti unutar propisanih granica.
- Rezultati ispitivanja metalurških svojstava pokazali su da je na površini kotača materijal bio izložen povišenoj temperaturi do te mjere da je nastala zona utjecaja topline (ZUT). Kristalna struktura materijala je sačinjena od perlitnih i feritnih kristalnih zrna (ovu kristalnu strukturu karakterizira visoka žilavost). Unutar ZUT-a se pojavila martenzitna kristalna struktura koju karakterizira visoka tvrdoća i krhkost.

Rezultati ispitivanja lomne površine pokazali su utvrđeno je slijedeće:

- Pregledom kotrljajne površine predmetnoga kotača na istoj je pronađeno nekoliko površinskih pukotina.
- Pregledom je utvrđeno da se inicijalna pukotina nalazi 15 mm udaljena od čela kotača na površini kotrljanja kotača. Podkritični lomovi od inicijalne pukotine su se širili do dubine od oko 18 mm i to u nekoliko koraka, te su na materijalu ostavili tragove u obliku krivulja nalik na godove (zona žilavog loma). Mikroskopskim pregledom inicijalne pukotine u istoj nisu pronađeni tragovi greške u materijalu kao što su uključci ili pukotine. Kada je veličina pukotine došla do kritične faze kod koje materijal nije više mogao izdržati naprezanja kojima je bio izvrnut, došlo je do nagle propagacije pukotine u formi krtoga loma.
- Ispitivanjem drugog kotača, skinutoga s istog vratila predmetne lokomotive, pokazalo je da na površini kotrljanja kotača, do dubine od 0,1 mm postoji zona utjecaja topline (ZUT). Zona utjecaja topline je dio materijala koji je bio podvrgnut temperaturi dovoljno visokoj da nastupi promjena kristalne strukture, u konkretnom slučaju iz feritno perlitne strukture u martenzitnu strukturu čelika.



Slika 7. Mikroskopski snimak mjesta inicijalne pukotine (Izvor Lucchini)

7.5. Način rada željezničkih vozila i tehničke opreme

7.5.1. Željeznička vozila, lokomotiva serije 1141-012

Lokomotiva serije 1141 - 012 je četveroosovinska lokomotiva, s pojedinačnim osovinskim pogonom i osovinskim rasporedom *Bo' Bo'*, postiže brzinu od 120 km/h, ukupna masa lokomotive iznosi 78 tona i najveće osovinsko opterećenje iznosi 19,5 t/os. Ova serija lokomotiva je opremljena mehanizmom za kočenje koji se sastoji od kočnog cilindra, kočnog polužja i regulatora. Zadatak kočnog mehanizma je da silu tlaka zraka iz kočnog cilindra prenese preko kočnih poluga, nosača kočnih umetaka na kočni umetak s kojega se sila prenosi na kotrljajnu površinu kotača. Proizvedena je u razdoblju između 1967. i 1972. godine od strane tvornica ASEA i Končar. Električna oprema predmetne serije lokomotiva konstruirana je za rad s jednofaznom izmjeničnom strujom nazivnoga napona 25 kV/50 Hz. Lokomotiva ima dvije upravljačnice, na svakome kraju po jednu. Lokomotiva serije 1141 podserije 000 je osnovna vrsta serije 1141, a koja nema dodatnu opremu za elektrodinamičko kočenje, višestruko upravljanje i niti uređaj za podmazivanje vijenca kotača.

Na predmetnoj lokomotivi u listopadu 2015. godine su ugrađeni novi monoblok kotači, nakon čega je ista vraćena u promet.



Slika 8. lokomotiva 1141-012 (izvor slike www.vozovi.com)



Slika 9. – Puknuća tračnice u km 630+750 (izvor slike: *Željeznički prijevoznik*)

7.5.1.1. Prometovanje lokomotive 1141 012

Navedena lokomotiva je u razdoblju od 01.01.2016. do 20.01.2016. godine prometovala na slijedećim dionicama:

- 01.01.2016. do 12.01.2016. na dionici pruge Moravice - Rijeka – Šapjane,
- 13.01.2016. Moravice – Zagreb RK,
- 13.01.2016. i 14.01.2016. KP4 u Zagreb RK,
- 14.01.2016. do 16.01.2016. Zagreb RK- Dobova – Šid – Zagreb RK,
- 16.01.2016. Zagreb RK – Moravice,
- 16.01.2016. – 20.01.2016. Moravice – Rijeka.

Iz prethodnog je vidljivo da je ista većinom prometovala na „Riječkoj pruzi“ prije nego što je došlo do puknuća monoblok kotača.

Dana 15.10.2015. godine lokomotiva je pušten u promet s kompletom novonavučениh monoblok kotača proizvođača Lucchini RS. Proces navlačenja kotača odradila je tvrtka ĐĐ Strojna obrada d.o.o. iz Slavonskog broda.

Pregledom zapisa o prometovanju lokomotive vidljivo je da je ista u razdoblju od 15.10.2015. – 20.01.2016. godine pretrčala 46 068 km i od toga na području RP Zapad (Rijeka) 46%, RP Centar 36% i RP Istok 18%.

U navedenom periodu na kotačima nije obavljeno tokarenje, a prilikom obavljanja KP-a dana 14.01.2016. godine nisu uočeni nikakvi nedostaci na kotačima.

7.5.1.2. Pregled potrošnje monoblok kotača za razdoblje 2012 – 2015

Redni broj	Godina	Serijski broj VV	Broj VV u eksploataciji	Broj VV istokarenih	Broj obavljenih tokarenje	Broj istokarenih os. sklopova	Pretrčani km, god	Prosječni km / VV (km / VV)	Prosječni istokarenost mat/kot (mm/kot)	Potrošnja kotača (mm/100000 km)	Materijal kotača
1	2012	1061	10	9	14	84	1.113.861	111.386	15,35	13,78	ER 8 T
		1141	39	29	39	147	4.178.046	107.129	17,19	16,05	ER 8/ER 9
2	2013	1141	38	32	107	425	3.821.059	100.554	21,96	21,84	ER 9
3	2014	1141	31	23	65	260	3.424.428	110.465	22,66	20,51	ER 9
4	2015	1141	32	29	135	522	3.660.450	114.389	21,33	18,65	ER 8

Tablični prikaz potrošnje kotača lokomotive serije 1061 i 1141 u vlasništvu željezničkog prijevoznika

Iz gore navedenog vidljivo je da su tijekom 2012 godine mrežom pruga u Hrvatskoj prometovale serije lokomotiva 1061 i 1141. Serija 1061 je prometovala isključivo „Riječkom prugom“. Početkom 2013. godine prestaje prometovanje lokomotiva serije 1061 zbog izmjene sustava napajanja na dijelu "Riječke pruge" od dionice Moravice – Rijeka s istosmjernim naponom 3000 V (sustav na kojem je radila serija 1061) na izmjenični jednofazni sustav napona 25 kV i 50 HZ (sustav na kojem rade lokomotive serije 1141). Iz istog se vidi da je potrošnja kotača na lokomotivama serije 1141 bila u 2012. godini oko 16,05 mm/100000 km (lokomotive su prometovale na cijeloj mreži osim na području "Riječke pruge"), dok od početka 2013. godine lokomotive serije 1141 prometuju i na području Riječke pruge" te je vidljivo da dolazi do značajnijeg porasta potrošnje kotača od 22,66 mm/100000 km u 2014. godini, gotovo 30%.

7.5.1.3. Tehničko nabavni uvjeti propisani od strane željezničkog prijevoznika za monoblok kotače

Monoblok kotači proizvode se i isporučuju sukladno važećoj normi HRN EN 13262 i Tehničko nabavnim uvjetima propisanim od strane željezničkog prijevoznika.

Željeznički prijevoznik je u svojim uvjetima za nabavu kotača definirao materijal od kojeg trebaju biti napravljeni kotači. Čelik za kotače ima oznake ER8. Svojstva čelika ER8 su slijedeća: prosječna vrijednost lomne žilavosti (K_{Ic}) dobivena od šest (6) mjerenja mora biti veća ili jednaka 75 MPa \sqrt{m} , dok vrijednost pojedinačnih ispitivanja ne smije biti manja od 70 MPa \sqrt{m} . Čelik oznake ER8 ima definirani slijedeći kemijski sastav:

Steel grade	Maximum content in % ^a										
	C	Si	Mn	P ^b	S ^{bc}	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr + Mo + Ni
ER6	0,48	0,40	0,75	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
ER7	0,52	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
ER8	0,56	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
ER9	0,60	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

Slika 10. Maksimalne vrijednosti kemijskih elemenata u materijalu - HRN EN 13262 (izvor AIN)

Iz faznog dijagrama za ugljične čelike (FeC dijagram) proizlazi da se transformacija perlitne kristalne strukture čelika u austentnu (iz koje naglim hlađenjem nastane martenzitna struktura) strukturu događa na temperaturama od preko 730°C.

Steel grade	Minimum Brinell hardness value	
	Category 1	Category 2
ER6	-	225
ER7	245	235
ER8	245	245
ER9	-	255

Slika 11. Minimalne vrijednosti tvrdoće materijala po Brinellu - HRN EN 13262 (izvor AIN)

7.5.2. Željeznička vozila

Do 2012. godine sva željeznička vučna vozila u Republici Hrvatskoj bila su vlasništvo društva HŽ Vuča vlakova d.o.o. Godine 2012. Društvo HŽ Vuča vlakova d.o.o. je ugašeno, a vučna vozila su dogovorno podijeljena između društava HŽ Putnički prijevoz d.o.o. i „HŽ Cargo“ d.o.o. Električne lokomotive serije 1141, podserije 000, 100 i 200 je preuzelo društvo „HŽ Cargo“ d.o.o., lokomotive serije 1141, podserije 300 je preuzelo društvo HŽ Putnički prijevoz d.o.o. Lokomotive serije 1061 su podijeljene između društava „HŽ Cargo“ d.o.o. i „HŽ Putnički prijevoz“ d.o.o. Lokomotive serije 1061 prestale su prometovati prugama u Hrvatskoj 2013 godine jer je sustav napajanja električnom energijom napona 3 kV ukinut i prešlo se u potpunosti na sustav napajanja 25 kV.

7.5.3. Lokomotive serije 1141 podserije 000, 100, 200 i 300

Pregled dodatne opreme ugrađene po podserijama 100, 200 i 300 u odnosu na osnovnu izvedbu lokomotive serije 1141 i podserije 000 je sljedeći:

- Podserija 100 je izvedba lokomotive za maksimalnu brzinu 120 km/h, ima dodatnu opremu za električnodinamičko kočenje, višestruko upravljanje i uređaj za podmazivanje vijenca kotača,
- Podserija 200 je izvedba lokomotive za maksimalnu brzinu 140 km/h, ima dodatnu opremu višestruko upravljanje i uređaj za podmazivanje vijenca kotača, ali nema opremu za elektrokinamičko kočenje,
- Podserija 300 je modernizirana tiristorska lokomotiva koja je opremljena elektrokinamičkom kočnicom s kontinuiranom regulacijom, ima dodatnu opremu za višestruko upravljanje i sustav regulacije koji omogućuje automatsko održavanje zadane brzine i nadzor nad svim sustavima za sigurnost prometa.

Lokomotive serije 1141 su projektirane sa spojnicama okretnih postolja. Spojnice postolja su s lokomotiva serije 1141 demontirane krajem sedamdesetih godina odlukom Direkcije JŽ-a.

7.5.4. Lokomotive serije 1061

Do izmjene napona mreže od kolodvora Moravice do kolodvora Rijeka prometovale su lokomotive serije 1061. HŽ serija 1061 serija je električnih lokomotiva, 3 kV istosmjernoga sustava napajanja. Bile su namijenjene za vuču teretnih i putničkih vlakova na dionici od Rijeke do Moravica (i na teretnoj pruzi prema Bakru), kao i od Rijeke do Šapjana odnosno Ilirske Bistrice (Slovenija). Lokomotive ove serije imaju šest pogonskih vratila, a nabavljene su u razdoblju od 1960. do 1969. od talijanske tvornice Ansaldo iz Genove. Lokomotive mogu razviti brzinu do 120 km/h. Svaka od tih lokomotiva raspolaže sa šest vučnih motora snage 440 kW, tj. ukupne snage 2640 kW. Motori su raspoređeni u tri okretna postolja neovisni jedan o drugom s po dva motora i s osovinskim rasporedom Bo' Bo' Bo'. Lokomotive u sredini imaju zglob. Opremljene su elektrokinamičkom kočnicom snage 1150 kW.



Slika 12. Lokomotiva serije 1061 (Izvor Wikipedia)

7.5.5. Željeznička infrastruktura

Željeznička pruga oznake M202 je dionica pruge Zagreb Glavni kolodvor – Karlovac – Rijeka ukupne duljine 227,847 km, a nalazi se na V.b ogranku paneuropskog koridora DG – Botovo – Koprivnica – Zagreb – Rijeka.

Navedena pruga je glavna međunarodna, jednokolosiječna, elektrificirana pruga (sistema 25Kv, 50Hz).

Dozvoljeno opterećenje pruge iznosi 22,5 tona po osovini vozila i 8,0 tona po dužnom metru, regulacija prometa na dijelu pruge od Zagreb GK – Moravica odvija se u blokovskom razmaku, dok na dijelu pruge od Moravica do Rijeke odvija se u kolodvorskom razmaku.

7.5.5.1. Dionica pruge M202 od kolodvora Moravice do kolodvora Rijeka

Dionica pruge M202 od kolodvora Moravice (563+200 km) do kolodvora Rijeka (653+221 km) u duljini od cca 100 km smatra se jednom od najzahtjevnijih dionica po svojim svojstvima na području mreže pruga u Republici Hrvatskoj.

Na dionici pruge od kolodvora Moravice (563+200 km) do kolodvora Brod Moravice (570+417 km) nalazi se 20 horizontalnih lukova od čega je 11 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=266 m), 5 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 4 luka polumjera od 500 do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 12 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 16,74 promila odnosno prosječnim nagibom od 11,62 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Brod Moravice (570+417 km) do kolodvora Skrad (579+643 km) nalazi se 30 horizontalnih lukova od kojih je 12 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=266 m), 13 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 5 luka polumjera od 500 m do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 36 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 20 promila odnosno prosječnim nagibom od 14,49 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Skrad (579+643 km) do kolodvora Zalesina (586+538 km) nalazi se 19 horizontalnih lukova od kojih su 3 luka polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=266 m), 9 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 7 luka polumjera od 500 m do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 12 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 17,22 promila odnosno prosječnim nagibom od 11,79 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Zalesina (586+538) km do kolodvora Delnice (592+417 km) nalazi se 20 horizontalnih lukova od kojih je 16 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=251 m), 1 luk polumjera od 300 m do 500 m, te 3 luka polumjera od 500 m do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 13 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 1,1 promila odnosno prosječnim nagibom od 0,04 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Delnice (592+417 km) do kolodvora Lokve (600+891 km) nalazi se 22 horizontalnih lukova od kojih je 10 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=268 m), 6 luk polumjera od 300 m do 500 m, te 6 luka polumjera od 500 m do 10000 m. Također na ovoj dionici ima 9 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 16,805 promila odnosno prosječnim nagibom od 8,89 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Lokve (600+891 km) do kolodvora Fužine (609+662 km) nalazi se 25 horizontalnih lukova od kojih je 17 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=250 m), 5 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 3 luka polumjera od 500 m do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 20

lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 25,864 promila odnosno prosječnim nagibom od 8,63 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Fužine (609+662 km) do kolodvora Drivenik (616+795 km) nalazi se 21 horizontalnih lukova od kojih je 12 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=265 m), 4 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 5 luka polumjera od 500 m do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 16 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 17,2 promila odnosno prosječnim nagibom od 12,33 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Drivenik (616+795 km) do kolodvora Plase (625+918 km) nalazi se 29 horizontalnih lukova od kojih je 16 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=259 m), 5 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 8 luka polumjera od 500 m do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 39 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 26,8 promila odnosno prosječnim nagibom od 12,21 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Plase (625+918 km) do kolodvora Meja (633+346 km) nalazi se 24 horizontalnih lukova od kojih je 15 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=246 m), 4 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 5 luka polumjera od 500 m do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 35 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 27,4 promila odnosno prosječnim nagibom od 22,86 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Meja (633+346 km) do kolodvora Škrljevo (641+226 km) nalazi se 35 horizontalnih lukova od kojih je 15 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=254 m), 11 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 9 luka polumjera od 500 m do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 45 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 26,73 promila odnosno prosječnim nagibom od 22,86 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Škrljevo (641+226 km) do kolodvora Sušak Pećine (650+238 km) nalazi se 21 horizontalnih lukova od kojih je 8 lukova polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=268 m), 3 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 10 luka polumjera od 500 m do 5000 m. Također na ovoj dionici ima 18 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 26,9 promila odnosno prosječnim nagibom od 23,58 promila.

Na dionici pruge od kolodvora Sušak Pećine (650+238 km) do kolodvora Rijeka (653+221 km) nalazi se 11 horizontalnih lukova od kojih su 2 luka polumjera manjeg od 300 m (najmanji R=250 m), 3 lukova polumjera od 300 m do 500 m, te 6 luka polumjera od 500 m do 12000 m. Također na ovoj dionici ima 9 lomova uzdužnog nagiba pruge, s najvećim nagibom od 26,2 promila odnosno prosječnim nagibom od 15,48 promila.

Na horizontalnim lukovima dionica pruge od kolodvora Moravice do kolodvora Rijeka opremljena je mazalicama koje služe za podmazivanje vijenca kotača. Horizontalni lukovi su izvedeni sa nadvišenjima vanjske tračnice. Svrha nadvišenja je kompenziranje djelovanja centrifugalne sile na vozila u kretanju koja prolaze kroz luk.

7.5.5.2. Tip tračnica na dionici pruge od kolodvora Moravice do kolodvora Rijeka

Upravitelj infrastrukture dostavio je podatke da su na pružnoj dionici Moravice – Rijeka od km 564+000 do 653+220 ugrađene tračnice tipa 60E1-R260, čije dimenzije i kvaliteta su sukladne normi HRN EN 13674-1.

Također tračnice odgovaraju tehničkim uvjetima i odredbama definiranim u TSI/2011/275/EU i/ili TSI/208/57/EC odnosno u skladu sa Zakonom o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava.

Iz materijala dostavljenoga s terena vidljivo je da na tračnicama na pruzi M202 između kolodvora Moravice i Rijeka postoje različite vrste oštećenja tračnica i to: oštećenja boka tračnica, oštećenja glave tračnica koja su posljedica neravnomjernog kontakta površine kotrljanja kotača i tračnice. Također, povremeno dolazi do loma tračnica.

7.6. Sustav upravljanja sigurnošću

Željezničkom infrastrukturom u Republici Hrvatskoj upravlja upravitelj infrastrukture društvo „HŽ Infrastruktura“ d.o.o.

Upravitelj infrastrukture je unutar svog sustava upravljanja sigurnošću vezanog uz održavanje infrastrukture uspostavio vlastita pravila za održavanje koja uključuju način održavanja, mjerenje geometrije kolosijeka, upute za održavanje i tehničko-tehnološke postupke za održavanje.

Željeznički prijevoznik unutar svog sustava upravljanja sigurnošću vezanog uz održavanje prijevoznih sredstava uspostavio vlastita pravila za održavanje koja uključuju način održavanja, upute za održavanje i tehničko-tehnološke postupke za održavanje. Kada je obavljena odjela vučnih vozila u vlasništvu „HŽ Vuče vlakova“ u sustavu upravljanja sigurnošću nije bila razrađena metode procjene rizika kod promjene tehnologije rada (npr. zamjena serije vozila). Uvođenjem sustava upravljanja sigurnošću sukladno Zakonu o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava ugrađena je odredba o provođenju metode izrade analize rizika.

7.7. Sučelje čovjek-stroj-organizacija

Radno vrijeme strojovođe i pomoćnika strojovođe bilo je u skladu sa propisima, zdravstveno su bili sposobni i stručno osposobljeni za upravljanje vučnim vozilom serije 1141.

7.8. Prethodni slični događaji

7.8.1. Prethodni slični događaji na infrastrukturi

Temeljem uvida u dostavljenu dokumentaciju od strane upravitelja infrastrukture vidljivo je da je tijekom 2014. godine na navedenoj dionici pruge bilo četiri (4) puknuća tračnice (loše izveden zavar, loše stanje smjese i gradiva), u 2015. godini zabilježeno je šest (6) slučajeva puknuća tračnice (dotrajnost zavara, uslijed temperaturne razlike i umora gradiva).

Temeljem dostavljene dokumentacije od željezničkog prijevoznika proizlazi da se istovrsni incident dogodio 2014. godine na lokomotivi serije 1141 koja je prometovala riječkom prugom.

U zadnjih deset godina prometovanja lokomotiva serije 1061 prugom M202 (2003.-2013. godina) nisu zabilježeni lomovi kotača na toj seriji lokomotiva.

7.9. Pravila i propisi

7.9.1. Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava

RAZVOJ I UPRAVLJANJE SIGURNOŠĆU

Održavanje i unaprjeđenje sigurnosti željezničkog sustava

Članak 18.

(1) Upravitelji infrastrukture i željeznički prijevoznici odgovorni su za sigurnost željezničkog sustava i nadziranje povezanih rizika u okviru svoje djelatnosti.

(2) Upravitelji infrastrukture i željeznički prijevoznici moraju provoditi mjere potrebne za nadziranje rizika, po potrebi međusobno surađujući, primjenjivati nacionalna sigurnosna pravila te uspostaviti sustav upravljanja sigurnošću u skladu s ovim Zakonom.

Članak 64.

(1) Svakom vozilu prije puštanja u uporabu ili prije korištenja mora biti dodijeljen subjekt nadležan za održavanje (engl. Entity in Charge of Maintenance – ECM) koji se upisuje u registar vozila iz članka 73. ovoga Zakona.

Članak 69.

(1) Upravitelj infrastrukture mora postojeće infrastrukturne podsustave održavati u ispravnom funkcionalnom stanju u skladu s projektiranim rješenjima, s ciljem stalnog ispunjavanja osnovnih zahtjeva utvrđenih u TSI-jevima i nacionalnim tehničkim pravilima, a u skladu s tehničkim uvjetima za održavanje.

(2) Upravitelj infrastrukture mora u okviru sustava upravljanja sigurnošću uspostaviti vlastita pravila za održavanje koja uključuju način održavanja, upute za održavanje i tehničko-tehnološke postupke za održavanje.

7.9.2. Pravilnik 201 o vuči vlakova

Članak 12.

1. Ispravnost vučnih vozila mora biti osigurana njihovim redovitim održavanjem u skladu s odredbama Pravilnika o održavanju željezničkih vozila.

7.9.3. Pravilnik 314, Pravilnik o održavanju gornjeg ustroja željezničkih pruga HŽ-a

Pravilnikom 314 propisuju se odredbe o organizaciji i načinu obavljanja nadzora i pregleda pruge, kao i tehnički uvjeti za održavanje željezničkih pruga normalnog kolosijeka temeljne širine 1435 mm za brze vlakove do 160 km/h, te radovi koji se moraju poduzimati za siguran i uredan promet.

Članak. 31 a (Nadvišenje vanjske tračnice u luku)

(1) U lukovima, zavisno od veličine polumjera luka i brzine vlakova, nadvišenje kolosijeka se postiže izdizanjem vanjske tračnice. Upravitelj infrastrukture može iznimno odobriti da se nadvišenje izvede djelomičnim izdizanjem vanjske, a djelomičnim spuštanjem unutrašnje tračnice.

(2) Na prugama za vlakove različitih ili istih brzina nadvišenje(h) se izračunava po slijedećoj formuli za brzine do 120 km/h

$$h = 7,1 \frac{V^2}{R}$$

h - nadvišenje u mm,

V - najveća dopuštena brzina vlakova u km/h,

R - polumjer luka u metrima,

(13) Bočno ubrzanje (P) se izračunava po slijedećoj formuli:

$$p = \frac{V^2}{13R} - g \frac{h}{S}$$

p – bočno ubrzanje u m/s²

V - brzina vlakova u km/h,

R - polumjer luka u metrima,

g = 9,81 gravitacijsko ubrzanje m/s²,

h - nadvišenje u mm,

S = 1500 osovinski razmak tračnica mm,

Vrijednosti bočnog ubrzanja mogu biti u slijedećim granicama:

- normalno $p \leq 0,65 \text{ m/s}^2$,
- minimalno $p = 0,75 \text{ m/s}^2$,
- izuzetno $p = 0,85 \text{ m/s}^2$.

7.10. Upravljanje sigurnošću -održavanje

Sustavom upravljanja sigurnošću Upravitelj infrastrukture, kao pravna osoba ovlaštena za gospodarenje i upravljanje željezničkom infrastrukturom obuhvatio je procese pomoću kojih upravlja održavanjem i obnovom građevinskog infrastrukturnog podsustava.

Procesi kojima su definirani postupci prilikom održavanja i obnove građevinskog infrastrukturnog podsustava regulirani su unutar Zakona o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava, Zakona o gradnji, Zakona o prostornom uređenju, Pravilniku 314 i Pravilniku 315.

Željeznički prijevoznik je unutar svog sustava upravljanja sigurnošću definirao procese održavanja i pregleda vučnih vozila prije i nakon vožnje, navedeni procesi regulirani su unutar Zakona o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava i Pravilnika 201.



I. NORMALNA NADVIŠENJA SPOLJNE ŠINE U KRIVINI

R (m)	v km/h																R (m)														
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105		110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160			
6000																			20	20	20	20	20	20	25	25	25	30	30	35	5000
5000															20	20	20	20	25	25	25	25	30	30	35	35	40	40	40	4000	
4000														20	20	20	25	25	30	30	35	35	35	40	40	45	50	50	55	3000	
3000											20	20	20	20	25	25	30	30	35	35	40	40	40	45	50	55	60	60	65	2500	
2500										20	20	20	20	25	25	30	30	35	40	45	45	50	50	55	60	65	70	75	80	85	2000
2000									20	20	20	25	25	30	30	35	35	40	45	50	50	55	55	60	65	70	75	80	90	1900	
1900								20	20	20	25	25	30	30	35	40	45	50	50	55	55	60	65	70	75	80	85	90	1800		
1800								20	20	20	25	25	30	30	35	40	45	50	55	55	60	65	70	75	80	85	90	100	1700		
1700								20	20	20	25	25	30	30	35	40	45	50	55	60	60	65	70	75	80	85	90	100	105	1600	
1600								20	20	20	25	25	30	30	35	40	45	50	55	60	65	65	70	75	80	85	90	100	105	110	1500
1500								20	20	25	25	30	35	40	45	45	50	55	65	70	70	75	80	85	90	100	105	110	120	1400	
1400								20	20	25	25	30	30	35	40	45	50	55	60	65	75	75	80	85	90	100	105	110	120	130	1300
1300								20	20	25	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	80	85	90	100	105	115	120	130	140	1200
1200								20	20	25	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	85	95	95	100	110	115	125	135	140	1100
1100					20	20	25	25	30	35	40	45	50	60	65	70	80	85	95	95	100	100	110	110	120	125	135	145	1000		
1000					20	20	25	30	35	40	45	50	55	65	70	80	85	95	100	100	110	110	120	125	135	145	900				
900				20	20	25	30	35	40	45	50	55	65	70	80	85	95	105	115	115	120	130	140	150	800						
800				20	20	25	30	40	45	50	55	65	70	80	90	100	105	115	130	130	135	150	700								
700			20	20	25	30	35	45	50	55	65	75	80	90	100	110	125	135	145	145	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	600
600			20	20	25	30	35	45	50	60	65	75	85	95	105	120	130	145	145	145	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	550
550		20	20	25	30	40	45	55	65	75	85	95	105	115	130	140	140	140	140	140	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	500
500		20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	105	115	130	140	140	140	140	140	140	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	450
450		20	25	30	40	50	55	65	75	90	100	115	130	140	140	140	140	140	140	140	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	400
400	20	20	30	35	45	55	65	75	85	100	115	130	145	145	145	145	145	145	145	145	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	350
350	20	25	30	40	50	60	75	85	100	115	130	145	145	145	145	145	145	145	145	145	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	300
300	20	30	40	50	60	70	85	100	115	135	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	275
275	25	30	40	50	65	80	95	110	125	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	250
250	25	35	45	60	70	85	100	120	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	225
225	30	40	50	65	80	95	115	135	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	200
200	30	45	55	70	90	105	130	150	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	180
180	35	50	65	80	100	120	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	180

Slika 13. Tablica vrijednosti nadvišenja u ovisnosti o brzini i radijusu , Službeni glasnik ZJŽ 2/1990


7.10.1. Pregled održavanja lokomotive 1141 012

Pregled održavanja lokomotive u razdoblju od 15.10.2015. – 20.01.2016. godine, odnosno od dana kada je puštena u promet s novim kotačima do dana kad je došlo do loma kotača:



R. br.	Datum ulaska	Razlog dolaska	Napravljeni radovi	Datum izlaska	Napomena
1	02.11.2015.	IP	Zamijenjen ventil pantografa	02.11.2015.	
2	06.11.2015.	SKP	Napravljen servisni kont. pregled	06.11.2015.	Servisni pregled obavljen po propisanom opisu radova
3	10.11.2015.	KP1	Napravljen kontrolni pregled	10.11.2015.	Kontrolni pregled obavljen po propisanom opisu radova
4	17.11.2015.	SKP	Napravljen servisni kont. pregled	17.11.2015.	Servisni pregled obavljen po propisanom opisu radova
5	05.12.2015.	SKP	Napravljen servisni kont. pregled	05.12.2015.	Servisni pregled obavljen po propisanom opisu radova
6	10.12.2015.	KP1	Napravljen kontrolni pregled	11.12.2015.	Kontrolni pregled obavljen po propisanom opisu radova, također otvaran birač napona
7	18.12.2015.	SKP	Napravljen servisni kont. pregled	18.12.2015.	Servisni pregled obavljen po propisanom opisu radova
8	14.01.2016.	KP4	Napravljen kontrolni pregled	14.01.2016.	Kontrolni pregled obavljen po propisanom opisu radova

Također unutar kontrolnog pregleda obavljenog 14.01.2016. godine napravljena su mjerenja profila kotača, iz kojeg je vidljivo da su sve vrijednosti (debljina vijenca, visina vijenca i nagib vijenca) unutar propisanih vrijednosti, te da nisu zabilježene nikakve pojave pukotina.



TEHNIČKI SERVISI ŽELJEZNIČKIM VOZILIMA

MJERNI LIST
PROFIL KOTAČA

ML-1141-PK
Rev. 0/12
Stranica 1 od 1

Radni nalog: _____ Org. jedinica: _____
Datum: 14.1.2016. Vučno vozilo: 1141-012

Nazivne mjere novog profila kotača
Dv = 32.5 mm
Vv = 28 mm
qa = 10.5 mm

Promjer kruga kotrljanja:
max. 1250 mm
min. 1126 mm, ovisi o tipu monobloka (odnosno proizvođaču)
min. 1175 mm, vrijedi za bandaž

osovina	Strana lokomotive	Monoblok	Bandaž	Debljina vijenca $D_v \geq 25$ mm		Visina vijenca $V_v \leq 36$ mm		Nagib vijenca $q_a \geq 6,5$ mm		Promjer kruga kotrljanja [mm]
				1	2	1	2	1	2	
Upisati vrijednosti prethodnog mjerenja pod 1										
Upisati izmjerene vrijednosti pod 2										
I	D			30.0		29.5		9		
	L			29.0		29.5		9		
II	D			28.5		29.5		8.5		
	L			28.5		29.5		8.5		
III	D			30.0		29.5		8.8		
	L			30.0		29.5		9.0		
IV	D			30.0		29.5		8.5		
	L			29.7		29.5		9.0		

Slika 14. Mjerni list profila kotača (Izvor AIN)

7.11. Spojnice postolja

Lokomotive serije 1141, koje su bile u vlasništvu društva ŽTP Zagreb bile su isporučene sa spojnicama okretnih postolja. Današnje slijednice društva, HŽ Putnički prijevoz i HŽ Cargo posjeduju lokomotive serije 1141 bez spojnic okretnih postolja. Spojnice su sa lokomotiva serije 1141, koje su prometovale ravničarskim prugama, skinute tijekom sedamdesetih godina prema odluci Direkcije JŽ-a.

Spojnic okretnih postolja je mehanizam koji dijagonalno povezuje okretna postolja, a uloga joj je da na brdskim prugama pospješuje ravnomjerno zakretanje oba okretna postolja i time smanjuje bočne sile između kotača i tračnice.

7.12. Zabilježene neurednosti na pruzi M202 u 2014 i 2015 godini

Tijekom 2014. godine na navedenoj dionici pruge M202 bilo je četiri (4) puknuća tračnice (loše izveden zavar, loše stanje smjese i gradiva). U 2015. godini zabilježeno je šest (6) slučajeva puknuća tračnice (dotrajnost zavara, uslijed temperaturne razlike i umora gradiva).

7.13. Karakteristike pruge M202 u zavisnosti od brzine vožnje, nadvišenja, radijusa luka i bočnog ubrzanja

Obzirom da su na dionici pruge M202 od kolodvora Moravice do kolodvora Rijeka najmanji lukovi polumjera $R=250$ m (poglavlje 7.3.4.1.), te da su u Pravilniku 314 (poglavlje 7.7.3.), definirane formule za izračun vrijednosti nadvišenja i bočnog ubrzanja za lukove polumjera $R = 250$ m iz slike br.7 (Tablica vrijednosti nadvišenja u zavisnosti od brzine i radijusa, Službeni glasnik ZJŽ 2/1990) možemo iščitati slijedeće podatke kod brzine vožnje $V=30$ km/h, za luk polumjera $R=250$ m i propisana je visina nadvišenja $h=25$ mm. Za dobivanje informacije o konkretnim odnosima promjene brzine vlaka/ radijusa / nadvišenja koristili smo formulu iz Pravilnika 314 (poglavlje 7.7.3.) koja glasi: $h = 7,1 \frac{V^2}{R}$

h - nadvišenje u mm,

V - najveća dopuštena brzina vlakova u km/h,

R - polumjer luka u metrima,

Tablicni prikaz dobivenih vrijednosti:

Pregled vrijednosti za polumjer luka $R = 250$ m				
brzina vožnje	V (km/h)	30	35	40
propisana visina nadvišenja	h (mm)	25	35	45
Primjer za propisanu brzina vožnje $V=30$ km/h i $h = 25$ mm				
smanjenje brzine vožnje	V (km/h)	25	20	15
vrijednost visina nadvišenja prema izračunu	h (mm)	17	11	6

Također za uvid kako brzina/ radijus/ nadvišenje utječu na iznos bočnog ubrzanja „p“ koristili smo formulu iz Pravilnika 314 (poglavlje 7.7.3.)



$$p = \frac{V^2}{13R} - g \frac{h}{S}$$

p – bočno ubrzanje u m/s^2

V - brzina vlakova u km/h

R - polumjer luka u metrima

g = 9,81 gravitacijsko ubrzanje m/s^2

h - nadvišenje u mm

S = 1500 osovinski razmak tračnica mm

Tablični prikaz dobivenih vrijednosti

Pregled vrijednosti neponištenog bočnog ubrzanja p , kod R=250						
brzina vožnje	V (km/h)	30	25	20	40	50
propisana visina nadvišenja	h (mm)	25	25	25	25	25
neponišteno bočno ubrzanje	p (m/s^2)	0,111	0,028	-0,04	0,329	0,605
brzina vožnje	V (km/h)	35	30	25	20	40
propisana visina nadvišenja	h (mm)	35	35	35	35	35
neponišteno bočno ubrzanje	p (m/s^2)	0,148	0,048	-0,037	-0,106	0,263

8. ANALIZE I ZAKLJUČCI

8.1. Završni prikaz slijeda događaja

Dana 20. siječnja 2016. godine pri dolasku strojnog vlaka broj 69047 u kolodvor Rijeka Brajdica u 22:45 sati utvrđen je prijelom lijevog monoblok kotača na prvom vratilu lokomotive 1141-012. Strojni vlak broj 69047 bio je sastavljen od zaprežne lokomotive oznake 1141-012 i vozne lokomotive oznake 1141-108. U periodu od 16.01 – 20.01. 2016. navedene lokomotive prometovale su na pruzi M 202 na relaciji Moravice – Rijeka. Zbog ovog incidenta nije došlo do prekida željezničkog prometa.

8.2. Karakteristike serije 1141, podserije 000

Lokomotiva serije 1141, podserije 000 je opremljena mehanizmom za kočenje koji se sastoji od kočnog cilindra, kočnih umetaka, kočnog polužja i regulatora. Zadatak kočnog mehanizma je da silu tlaka zraka iz kočnog cilindra prenese preko kočnog polužja, nosača kočnih umetaka na kočni umetak s kojega se sila prenosi na površinu kotrljanja kotača. U kontaktu između kočnog umetka i kotača se tijekom kočenja kinetička energija lokomotive pretvara u toplinsku energiju. Transformacijom kinetičke energije u toplinsku se ostvaruje kočenje vozila. Ova podserija lokomotiva nema dodatnu opremu za elektrodinamičko kočenje, niti uređaj za podmazivanje vijenca kotača. Na lokomotivama serije 1141 demontirane su spojnice okretnih postolja. Lokomotive serije 1061, koje su do 2013. godine prometovale prugom M202, bile su opremljene elektrodinamičkom kočnicom.

8.3. Usporedba potrošnje kotača lokomotiva serije 1061 i 1141

Tijekom 2012. godine prugom M202 prometovale serije lokomotiva 1061 i 1141, ali svaka svojom dionicom pruge. Početkom 2013. godine prestaje prometovanje lokomotiva serije 1061. Iz istog se vidi da je potrošnja kotača na lokomotivama serije 1141 bila u 2012. godini oko 16,05 mm/100.000 km, dok od početka 2013. godine, kada lokomotive serije 1141 počinju prometovati i na području „Riječke pruge“, vidljivo da dolazi do značajnijeg porasta potrošnje kotača od 22,66 mm/100.000 km u 2014. godini što je porast od 30% (poglavlje 7.3.1). Iz rezultata mjerenja na očevidu vidljivo je da je na predmetnoj lokomotivi došlo do trošenja vijenca kotača iznad očekivanoga za ovu seriju lokomotive.

8.4. Prometovanje lokomotive 1141-012

Lokomotiva je nakon ugradnje novih kotača od sredine listopada 2015. godine do 20.01.2016. godine pretrčala 46.068 km i za to je vrijeme većinom prometovala na pruzi M202 (46 % pretrčanih kilometara ostvareno je na području „Riječke pruge“). Također tijekom gore navedenog razdoblja eksploatacije trajali su izrazito nepovoljni vremenski uvjeti.

8.5. Karakteristike pruge

Dionica pruge M202 od kolodvora Moravice do kolodvora Rijeka ima ukupno 277 horizontalnih lukova, od toga 131 luk radijusa manjeg od 300m. Radijus najmanjega horizontalnoga luka na dionici iznosi 246 m. Na dionici postoji veliki broj lomova uzdužnog nagiba sa prosječnim nagibom od 15,42 promila. Najveći pojedinačni nagib na dionici iznosi 27,4 promila.

Obzirom da se navedena dionica sastoji od velikog broja horizontalnih lukova vrlo malog radijusa i velikog broja lomova uzdužnog nagiba, a uzimajući u razmatranje bitni odnos brzine/radijusa/nadvišenja/bočnog ubrzanja na karakteristike pruge (poglavlje 7.5.5 i 7.13) vidi se da čak i kod malih smanjenja brzina (za 5 ili 10 km/h) od projektirane brzine dolazi do znatnih promjena kod bočnog ubrzanja (p u m/s^2). Odnosno, da

bi kod vožnje vozila brzinama manjim od projektiranih u cilju poništavanja bočnog ubrzanja trebalo smanjiti nadvišenje pruge u horizontalnom luku. Vrijednosti bočnog ubrzanja mogu imati utjecaja na vozna svojstva prijevoznih sredstva, u smislu povećavanja kontakta između prijevoznih sredstva i željezničke infrastrukture (kontakt između kotača i pruge), a što dalje utječe na svojstva monoblok kotača u eksploataciji.

Na pruzi je tijekom zime 2015. zabilježen lom tračnice, koji se saniran zavarivanjem. Strojovođa koji je upravljao predmetnom lokomotivom dana 03.01.2016. je prijavio da je nakon prolaska kroz kolodvor Plase, u km 630+750 došlo je do snažnog udara u vanjsku tračnicu što je upućivalo na moguće puknuće tračnice. Stanje gornjeg ustroja pruge moglo je doprinijeti da dođe do loma zagrijanoga monoblok kotača.

8.6. Ispitivanje materijala kotača

Ispitivanje materijala polomljenog kotača pokazalo je da materijal kotača odgovara karakteristikama propisanim normom EN 13262 za kotač ER8, osim u dijelu vlačne čvrstoće (YS) koja je oko 7% manja od propisane. U području inicijalne pukotine nisu pronađeni metalurški defekti kao što su: uključki i sl.

Promjena temperature površine kotrljanja kotača, zbog pregrijavanja uzrokovanog kočenjem kočnim umetcima, je uzrok pojave poprečnih pukotina na površini kotrljanja (poprečna toplinskih pukotina, uzrokovana u sloju martenzita), kada je zaštitno tlačno zaostalo naprezanje u kotaču pretvoreno u tlačno naprezanje. Na kotrljajnoj površini pronađene su i druge male termalne pukotine, uzrokovane djelovanjem kočnog sustava.

Ispitivanje drugoga kotača s istoga vratila (kotača koji nije polomljen) pokazalo je da se materijal kotača podudara s karakteristikama propisanim normom, osim vlačne čvrstoće YS. Iako kotač nije bio polomljen na istome su utvrđena djelovanja promjene temperature na površini kotrljanja kakve su pronađene i na površini polomljenoga kotača.

Ispitivanja su pokazala da su kotači na predmetnoj lokomotivi bili izloženi toplinskom opterećenju koje je dovelo do promjene svojstva površine materijala (perlitno-feritna žilava struktura je promijenjena u krutu martenzitnu strukturu). Promjena kristalne strukture nepovoljno utječe na eksploatacijska svojstva kotača.

8.7. Lom kotača

Tijekom zadnjih deset godina eksploatacije lokomotiva serije 1061 nije zabilježen lom kotača, dok je tijekom dvije godine eksploatacije lokomotiva serije 1141 na pruzi M202 zabilježeno dva loma kotača.

8.8. Analiza rizika

Željeznički prijevoznik prije zamjene vučnih vozila na pruzi M202 nije napravio analizu rizika.

8.9. Zaključci

Izravni uzrok ovog incidenta:

- Toplinske promjene materijala vijenca kotača koje su inicirale pukotine na površini kotrljanja kotača (poglavlje 7.4). Toplinske promjene uzrokovane su kočenjem lokomotive.

Čimbenici koji su pridonijeli ovom incidentu:



- lokomotive serije 1141, podserije 000, opremljene su mehanizmom kočenja koji kinetičku energiju lokomotive serije 1141, podserije 000, tijekom kočenja na obodu kotača pretvara u toplinsku energiju (poglavlje 8.2),
- lokomotive nisu opremljene kočnicom za elektrodinamičko kočenje (poglavlje 8.2),
- konfiguracija i stanje pruge M 202 (poglavlje 8.5).

Organizacijski čimbenici:

- vozila serije 1061 zamijenjena su vozilima serije 1141, a da prethodno nije napravljena analiza rizika kod zamjene serije vozila u svezi tehničkih karakteristika vozila serije 1141 na brdskim prugama (poglavlje 8.2. i 8.3).

9. PODUZETE MJERE

Željeznički prijevoznik se odlučio na jednu lokomotivu serije 1141 ugraditi spojnicu okretnih postolja.

10. DODATNA ZAPAŽANJA

Dionica pruge M202 Moravice - Rijeka izvedena je s velikim brojem horizontalnih lukova s nadvišenjima. Trebalo bi napraviti analizu utjecaja stvarne brzine vlaka u odnosu na projektiranu brzinu u horizontalnom luku na povećanje sila na kotače a time i na trošenje kotača.

11. SIGURNOSNE PREPORUKE

Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu nema sigurnosnih preporuka vezanih za ovaj incident.

Odgovorni istražitelj željezničkih nesreća