

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Metodika ověřování kvality lisovaného spoje kolo-náprava

Autoři: prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.¹
prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D. ¹
Ing. Václav Svoboda ²
Ing. Jiří Soukup ³
Ing. Michal Výborný. ³

¹ Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera

² PREDITEST, s.r.o.

³ Výzkumný Ústav Železniční, a.s.

Certifikovaná metodika je výstupem z řešení projektu TAČR č. TH02010542

„Eliminace provozních poruch náprav kolejových vozidel“.

Obsah:

1. Úvod.....	2
2. Cíl metodiky.....	2
3. Pojmy, zkratky, použité přístroje a software.....	3
4. Popis metodiky.....	5
4.1 Postup testu.....	6
4.2 Výstupy testu.....	7
5. Novost postupů a zdůvodnění metodiky.....	8
6. Popis uplatnění certifikované metodiky.....	8
7. Ekonomické aspekty	9
8. Seznam použité literatury:	10
9. Seznam publikací, které předcházely metodice	11

1. Úvod

V rámci řešeného projektu „Eliminace provozních poruch náprav kolejových vozidel“ bylo jedním z nejdůležitějších zjištění, že v současné době se v praktickém provádění lisovaného spoje kolo-náprava postupuje v souladu s normativními předpisy, kdy kolo se lisuje „za studena“ na nápravu lisovací silou, která je v průběhu lisování zaznamenávána a je vlastně jediným parametrem vzniklého lisovaného spoje. Tento parametr je ale z hlediska kvality nalisovaného spoje naprosto nedostačující, respektive nemá dostatečnou vypovídací úroveň, neboť lisovací síla je vždy ovlivněna součinitelem tření ploch, které tvoří lisovaný spoj. Toto tření je jednak při každém lisování samo o sobě jiné vlivem stavu lisovaných ploch, například jejich drsností či vlhkostí, a také je ovlivnitelné lidským zásahem, příkladně zdrsněním nebo odmaštěním lisovacích ploch. Výsledkem takto prováděných lisovaných spojů, zejména u opakovaných případů lisovaných spojů, kdy kola jsou z provozních nebo opravárenských důvodů z nápravy slisována a po opravárenském zásahu znovu na nápravu nalisována, je nedostatečná pevnost lisovaného spoje. Tato nedostatečná pevnost, která se projevuje zejména v krajních částech lisovaného spoje, dosahuje pak v provozu takového rozsahu, že v těchto místech vzniká tzv. štěrbinová koroze, která je v součinnosti s namáháním nápravy ohybem za rotace příčinou vzniku únavových trhlin nápravy, což ve svém důsledku může vést až k celistvému lomu nápravy (viz. **OBR.1**), a tím k fatálním důsledkům takovéto provozní situace.

2. Cíl metodiky

Cílem dále popsané metodiky je provádění zcela nového způsobu kontroly kvality provedeného lisovaného spoje železniční kolo-náprava, který spočívá v tom, že po nalisování kola na nápravu je svěrný (radiální) tlak nalisovaného spoje v náboji kola kontrolován měřením mechanického napětí a naměřené výsledky jsou porovnávány s výpočtově stanoveným kritériem – minimální limitní hodnotou mechanického napětí zaručující v celé kontaktní ploše dosažení dostatečného svěrného tlaku. U předkládaného způsobu se využívá testování nalisovaného spoje měřením tangenciálního mechanického napětí na povrchu náboje kola pomocí měřicí jednotky – přístroje MMM (Metal Magnetic Memory), založeného na fyzikálním principu magnetické paměti materiálu při změně jeho mechanického napětí v důsledku vnějšího zatížení (v tomto případě nalisovaným spojem).



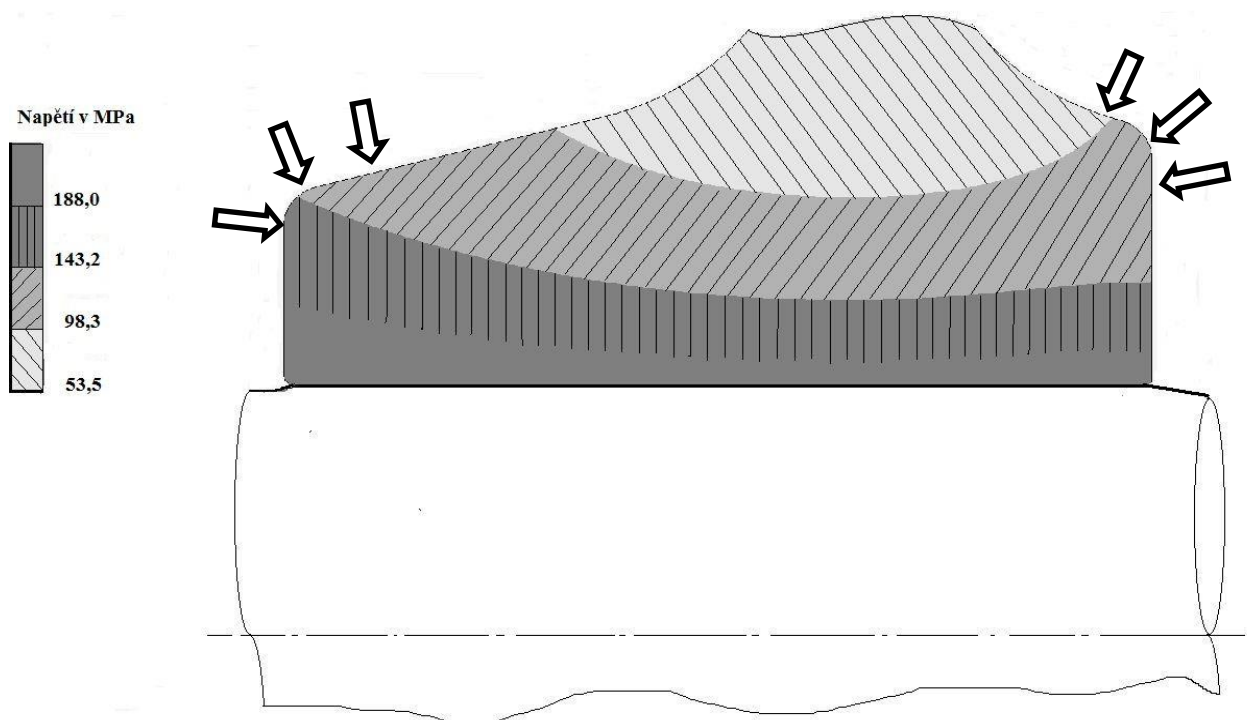
OBR. 1 – příklad únavového lomu nápravy s vyznačením oblastí štěrbinové koroze

3. Pojmy, zkratky, použité přístroje a software

Pojmy a zkratky: jsou vysvětleny v textu metodiky, základní pojmy jsou následující:

- **Kvalita nalisovaného spoje kolo-náprava:** pod pojmem kvalitní nalisovaný spoj se rozumí to, že tento spoj má v každém místě na povrchu náboje kola dosaženu minimální výpočtovou hodnotu mechanického napětí, zaručující minimální výpočtovou hodnotu svěrného (radiálního) tlaku v celé šířce lisovaného spoje.

- **Mechanické napětí na povrchu náboje kola:** rozumí se tangenciální mechanické napětí na povrchu náboje kola po jeho obvodu, osově v oblasti obou konců lisovaného spoje (viz **OBR. 2**).
- **Svěrný (radiální) tlak v lisovaném spoji:** je tlak v lisovaném spoji vyvolaný přesahem Δr poloměrů sedla nápravy a náboje kola (zjednodušeně: poloměry nápravy a kola v místě nalisování)
- **Lisovací síla:** axiální síla potřebná k nalisování kola na nápravu.



OBR. 2 – příklad hladin tangenciálního mechanického napětí v náboji kola kvalitního lisovaného spoje kolo-náprava, šipkami označené oblasti měření napětí na povrchu náboje kola podle předkládané metodiky

Použitá zařízení, přístroje a software:

- Skenovací jednotka MMM, např. přístroj TSC-7M-16 (viz **OBR. 3**) pro měření mechanického napětí na povrchu náboje kola
- Vyhodnocovací software MMM mechanického napětí na povrchu náboje kola.



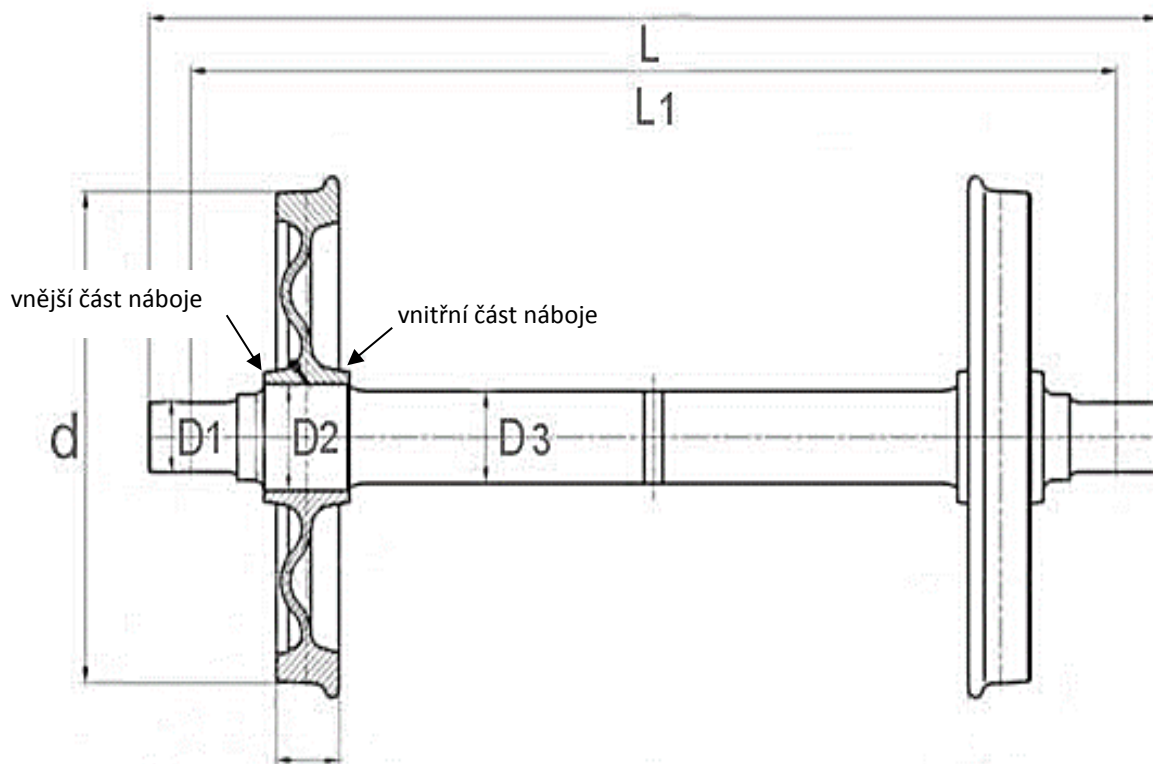
OBR. 3 – přístroj TSC-7M-16

4. Popis metodiky

Metodika se zabývá realizací bezdemontážní kontroly lisovaného spoje kolo-náprava pomocí skenovací jednotky MMM, např. přístroje TSC-7M-16. Jde o způsob kontroly kvality lisovaného spoje, jehož podstata spočívá v tom, že po nalisování kola na nápravu se na povrchu vnější a vnitřní části náboje kola (viz **OBR. 4**) pomocí vyhodnocení údajů zbytkového magnetického pole, zachycujícího historii lisování, změří hodnota tangenciálního mechanického napětí materiálu vzniklého v náboji kola působením svěrného radiálního tlaku lisovaného spoje. Tato hodnota mechanického napětí se následně porovnává s výpočtově stanovenou minimální hodnotou odpovídající nejmenšímu možnému normovému přesahu průměru sedla nápravy oproti vnitřnímu průměru náboje kola. Pokud mechanické napětí nedosáhne v daném místě stanovené limitní hodnoty, je lisovaný spoj označen za nevyhovující a dvojkolí není připuštěno k užívání. Měření mechanického napětí se provádí pomocí pohybující se sondy skenovací jednotky MMM. U nalisovaného spoje kolo-náprava se tak nedestruktivně ověří jestli svěrný (radiální) tlak mezi kolem a nápravou je anebo není

dostatečný. Měří se na povrchu náboje v místech odpovídajících koncům lisovaného spoje. Pohybující se sonda po obvodu náboje má nastavený boční doraz opírající se o čelo náboje kola tak, aby zachytila mechanické napětí v místech konců lisovaného spoje. Tj. v místech, která jsou (pokud zde není dostatečný svěrný tlak) příčinou vzniku štěrbinové koroze v okrajích lisovaného spoje a je pak v kombinaci s namáháním nápravy ohybem za rotace příčinou vzniku únavových trhlin v těchto místech. Pokud hodnoty měřeného mechanického napětí nedosáhnou výpočtové hodnoty odpovídající lisovanému spoji na dolní hranici tolerance přesahu průměrů sedla nápravy-náboje kola, je takový lisovaný spoj nevyhovující.

Hlavním přínosem řešení je umožnění provádění poměrně jednoduché kontroly lisovaného spoje, zajišťující, že se do provozu dostanou pouze kolejová vozidla, u kterých je eliminován vliv špatného nalisování kol na nápravy na možný vznik únavových poruch náprav.



OBR. 4 – znázornění vnější a vnitřní části náboje kola

4.1 Postup kontroly lisovaného spoje

Provedení kontroly obsahuje následující kroky:

- a) Před lisovacím procesem se pomocí zkalibrované jednotky MMM změří na volném kole zbytková magnetická pole na povrchu náboje kola, která odpovídají nulovému mechanickému napětí nezatiženého kola
- b) Provede se nalisování kola na nápravu
- c) Po nalisování se jednotkou MMM provede měření magnetických polí na povrchu náboje kola v místech stejných jako bylo provedeno měření ad a)
- d) Zaznamenané hodnoty změny magnetického pole náboje kola vlivem nalisování jsou ON-line softwarově převedené na mechanická napětí
- e) Takto vyhodnocená mechanická napětí jsou porovnávána s kritériálními hodnotami pro příslušný typ lisovaného spoje (respektive příslušný typ dvojkolí)
- f) Je-li hodnota mechanického napětí nižší než kritériální hodnota, lisovaný spoj je nevyhovující a náprava s daným nalisovaným kolem nesmí být připuštěna do provozu.

4.2 Výstupy kontroly lisovaného spoje

Výstupy kontroly jsou záznamy magnetického pole odpovídajícího tangenciálnímu mechanickému napětí na povrchu náboje kola po jeho nalisování na nápravu. Napětí jsou zaznamenávána po celém obvodu náboje kola na jeho vnější i vnitřní straně (viz **OBR. 4**) pohybující se sondou jednotky MMM. Příklad záznamu magnetického pole po obvodu náboje kola (viz **OBR. 5**).



OBR. 5 – příklad záznamu magnetického pole po obvodu náboje kola

5. Novost postupů a zdůvodnění metodiky

V současné době se neprovádí žádná kontrola kvality svěrného (radiálního) tlaku provedeného lisovaného spoje kolo-náprava ani při prvním nalisování, natož při opakovaném slisování a znovu nalisování kola na nápravu. Vychází se pouze z předpokladu pevnostním výpočtem potvrzeného přesahu průměru sedla nápravy oproti vnitřnímu průměru náboje železničního kola. Jediným parametrem při lisování je lisovací síla. Tento parametr je ale, jak je popsáno v části 1 – úvodu, z pohledu kontroly kvality nalisovaného spoje nedostačující.

Je zcela evidentní, že současný stav provádění kontroly lisovaného spoje kolo-náprava je nedostatečný. Při podrobném zkoumání odborné literatury z dané oblasti, souvisejících norem i patentové literatury nebyla nalezena informace o tom, že by existovala metoda, která by popisovala posuzování kvality nalisovaného spoje kolo-náprava tak, aby lisovaný spoj byl po nalisování vyhodnocen z hlediska pevnosti lisovaného spoje. Dílčím způsobem se takto pojatého hodnocení kvality lisovaného spoje dotýká metoda popsána ve spise CN103084977A, která řeší posuzování napětí v nápravě v důsledku lisovacího procesu, tzn. opět pouze ve vazbě na lisovací sílu, a neřeší vyhodnocení stavu napjatosti po nalisování, který by jako jediný mohl dát relevantní obrázek o kvalitě nalisovaného spoje. Dále existuje celá řada postupů pro nalisování kola na nápravu, například patenty CN102717258A, CN105014353A, CN201264154Y, CN202639802U, RU2309831C1, RU2385793C1, které popisují zařízení pro provádění lisovaných spojů kolo-náprava, ale žádný z nich neřeší otázku kontroly kvality lisovaného spoje po nalisování. Autoři navrhované metodiky jsou přesvědčeni, že metodika obsahuje zcela nový postup pro kontrolu lisovaného spoje kolo-náprava, a že zdůvodnění navrhované metodiky je obsaženo v nutnosti řešit kontrolu kvality lisovaného spoje kolo-náprava, která se dosud neprováděla.

6. Popis uplatnění certifikované metodiky

Předkládaná metodika je předurčena ke zjišťování skutečného stavu (kvality) nalisovaných spojů kolo-náprava jak v novovýrobě, tak zejména v údržbě a opravách kolejových vozidel. V opravárenství je často nutné provést slisování kol kvůli jejich např. výměně obruče, případně z jiného důvodu. Opětovné nalisování opraveného nebo nového kola na nápravu nese sebou silná rizika, že opakovaně provedený lisovaný spoj nebude mít zejména v krajních částech lisovaného spoje dostatečnou pevnost – viz v úvodu uvedený popis snížení pevnosti v uvedených místech. Takže, aby byla zaručena požadovaná pevnost lisovaného spoje

v celé jeho šířce při opakovaném lisování kola na nápravu a tím zajištěna bezpečnost provozu z pohledu poruch (únavových trhlin) náprav, předpokládáme uplatnění navrhované metodiky především v opravovnách kolejových vozidel, kde se provádí v „kolovkách“ slisování a opětovné nalisování kol na nápravy.

7. Ekonomické aspekty

Ekonomické aspekty lze posuzovat ze dvou hledisek:

a) Výdaje

- a. jednorázové odhadnuté vlastní náklady na pořízení měřicí jednotky MMM a zaškolení personálu jsou uvedeny v **Tab 1**
- b. provozní náklady náklady na realizaci měření dle předkládané metodiky jsou naznačeny v **Tab 2**

Položka	Věcná náplň položky	Kalkulace v tis (Kč)
1	Náklady na pořízení jedné měřicí jednotky MMM	80
2	Jednorázové proškolení odborného personálu – jeden člověk v trvání 14 dní školení u odborné firmy	40
	Celkové jednorázové náklady	120

Tab 1- Kalkulace jednorázových nákladů

Položka	Věcná náplň položky	Kalkulace v tis (Kč)
1	Osobní měsíční náklady na odborný personál – využití 20% kapacity jednoho technika pro realizaci měření dle metodiky	8
2	Náklady na energie a krytí opotřebení měřicí jednotky zařízení	2
3	Finanční rezerva 10% na řešení mimořádných okolností (např. opakování měření)	2
	Celkové předpokládané měsíční náklady pro realizaci měření	12

Tab 2- Kalkulace provozních nákladů na realizaci měření

- b) Úspory při zavedení metodiky lze předpokládat v těchto oblastech:
- a. Zásadní přínos metodiky spočívá v tom, že se zvýší kvalita nalisovaných spojů kolo-náprava, čímž se sníží riziko lomu náprav v tomto místě na minimum. Tím se významně zvýší bezpečnost provozu kolejových vozidel (zabrání se možným haváriím v důsledku lomů náprav v tomto kritickém místě), což představuje nevyčíslitelné úspory vzhledem k tomu, že havárie celistvého lomu nápravy patří k těm nejzávažnějším a také co do nákladů k odstranění způsobených škod na vozidlech i poškozené koleji k těm nejnáročnějším.
 - b. Významná úspora bude spočívat v tom, že tato metodika kontroly nalisovaného spoje kolo-náprava povede k tomu, že nalisovaný spoj bude i v okrajích kvalitní a zabrání se tak v provozu následně vznikající štěrbinové korozi, která ničí povrch nápravy i kola, což přinese úsporu v snížení počtu vyřazených náprav i kol v tomto důsledku.

8. Seznam použité literatury:

1. Svoboda V., Olmr Z.: Metoda magnetické paměti materiálu, Defektoskopie 2011, Ostrava 2011
2. Dubov A.: Metrological aspects in the Metal Magnetic Memory method, 3rd_Conference MMM, Praha 2019
3. ČD, a.s.: předpis ČD V 99/1, Oprava dvojkolí železničních kolejových vozidel, Praha 2010
4. Fajkoš R.: Vývoj nových metod zvyšování únavové pevnosti železničních dvojkolí, VŠB-TU Ostrava, 2011
5. Culek B., Schmidová E., Malkovský Y., Kmoch J., Culek B.jr.: Způsob kontroly kvality provedeného lisovaného spoje, zejména u dvojkolí železniční kolo – náprava, ÚPV Praha, 2019
6. Patentová kancelář Ing. Loskotová Jarmila, registrační č. CZ 202, EP 123390: Rešerše č. 009/2018 Metody kontroly svěrného tlaku lisovaného spoje železniční kolo-náprava, Praha, březen 2019
7. Patentová kancelář Soukup Petr, registrační č. 115: Rešeršní a konzultační podklady RP 68/19, Olomouc, březen 2019

8. ČSN EN 13103+A2: Železniční aplikace-dvojkolí a podvozky-nápravy běžných dvojkolí-metoda návrhu, 2013
9. ČSN EN 13261+A1: Železniční aplikace-dvojkolí a podvozky-nápravy-požadavky na výrobek, 2011

9. Seznam publikací, které předcházely metodice

1. Schmidová E., Schmid M., Tomek P., Středová D.: Rozbor zlomené hnací nápravy vozidla ř.810, *výzkumná zpráva KMMČS – ASI 69/2013*, Pardubice 2013
2. Culek B., Schmidová E., Schmid M.: Studie problematiky poruch náprav kolejových vozidel, XXIII. Konference Současné problémů v kolejových vozidlech, Česká Třebová 2017
3. Vojtek T.: Analýza lomu nápravy hnacího kolejového vozidla, diplomová práce, Pardubice 2010
4. Schmidová E., Holec J: The specificities of fatigue damage and diagnostics of railway axles, Deterioration, dependability and diagnostics, Brno, 2011
5. Schmidová E., Pačšenko P., Švanda P.: Analýzy poškození náprav, technická zpráva č. KMMČS 68/2010, České dráhy, a.s., 2010
6. Schmidová E.: Materiálové analýzy nápravy koľajového vozidla, Zpráva č. ASDI 65/18, Tatrabagónka a.s., Poprad, 2018
7. Schmidová E.: Materiálové analýzy ložiskových čapov náprav, Zpráva č. ASDI 62/19, Tatrabagónka a.s., Poprad, 2019