

INOVACE V OBLASTI NEDESTRUKTIVNÍHO TESTOVÁNÍ NÁPRAV DVOJKOLÍ ŽELEZNIČNÍCH NÁKLADNÍCH VOZŮ

INNOVATIONS IN NON-DESTRUCTIVE TESTING OF RAILWAY FREIGHT WAGON WHEELSET AXLES

Jan HLAVÁČ¹

e-ISBN: 978-80-7560-564-1
DOI: 10.46585/spkv20252658

ISSN: 3029-8342



Abstrakt

Příspěvek je zaměřen na diagnostiku náprav dvojkolí železničních nákladních vozů ve smyslu nedestruktivního testování v rámci údržby. Popisuje stávající standardní přístup včetně výhod a rizik, které vedly k výzkumu a vývoji nového zkušebního zařízení.

Klíčová slova

náprava dvojkolí, nedestruktivní testování, metoda vířivých proudů, zkušební zařízení

Abstract

The article focuses on the diagnostics of railway freight wagon wheelset axles in terms of non-destructive testing within maintenance. It describes the current standard approach, including the advantages and risks that led to the research and development of a new testing device.

Keywords

wheelset axle, non-destructive testing, eddy current testing, testing device

1 ÚVOD

Dvojkolí železničního nákladního vozu je klíčovou bezpečnostně kritickou komponentou. Typické dvojkolí nákladního vozu se skládá z plné nápravy, monobloků a ložiskových skříní s valivými ložisky. Všechny tyto části jsou v provozu dynamicky namáhány několika působícími silami a momenty. Mezi nejvíce sledované a prověřované části dvojkolí patří náprava, na níž jsou kladeny vysoké požadavky na jakost a bezvadnost. Bezvadnost nápravy, která je vykována z jednoho kusu předvalku z vakuované oceli čtvercového, nebo kruhového průřezu je potvrzována jak při samotné výrobě, tak i při údržbě dvojkolí v provozu. Rozsah a perioda údržby je stanovena údržbovými předpisy, které jsou úzce navázány na evropské normy. Evropské normy, které jsou zaměřeny na údržbu dvojkolí v provozu, konkrétně specifikují diagnostiku náprav s cílem preventivně odhalit vznikající poruchy (trhliny) a tím předejít v provozu možnému vzniku lomů s fatálními následky. Komplexní diagnostika je uvažována formou nedestruktivního testování. Nedestruktivní testování (dále jen NDT) zahrnuje soubor metod, které jsou na základě měřitelných, nebo sledovatelných fyzikálních jevů schopny odhalit vady ve výrobku bez jeho porušení nebo poškození.

¹ Bc. Jan Hlaváč. RYKO a.s. Dělnická 1408/29, 405 02 Děčín 2, Česká republika, tel.: +420 603 855 220, e-mail: j.hlavac@ryko.eu

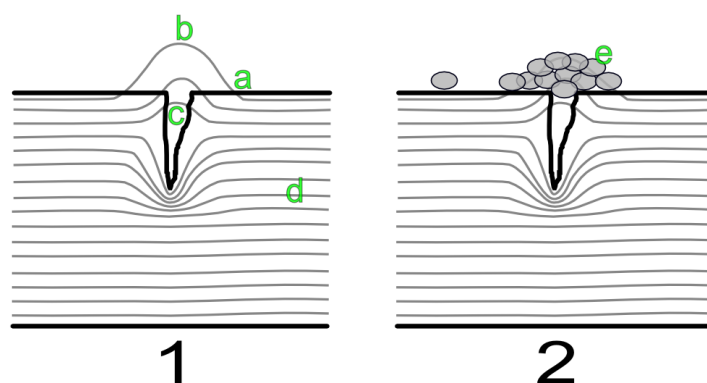
Při údržbě již provozovaného dvojkolí potažmo nápravy je nutno se primárně zaměřit na diagnostiku povrchu. Vnitřní výrobní vady již uvolněných náprav z výroby nejsou uvažovány. Povrchové vady představují největší a nejběžnější riziko pro budoucí destrukci nápravy. Vady na povrchu vznikají v důsledku a v kombinaci únavy, násilného poškození, nebo nadměrného přetěžování. Obecně je pro detekci vad povrchu náprav vhodná většina běžných metod NDT. Evropská norma ČSN EN 16910-1 doporučuje dvě metody pro diagnostiku nápravy ve smyslu „těžké údržby dvojkolí“. Při této údržbě je přístupný celý povrch nápravy, náprava je rozlisována. Jedná se o metody MT (magnetická metoda) a ET (vířivé proudy). Obě metody při volbě vhodné techniky garantují zjistitelnost vad v mezích přijatelné citlivosti, která je přímo závislá na rozměru, poloze a orientaci vady. Údržbové předpisy, které mimo jiné vychází z výše uvedené normy uvažují pouze metodu MT. Tato metoda je principiálně v rámci detekce nebezpečného poškození náprav dostatečná, ale skýtá jasně definovatelná rizika.

Na základě potřeby definování nového pracoviště pro diagnostiku náprav v souvislosti s novým projektem opravy RYKO byly provedeny analýzy celého procesu a metody MT, jejichž výstupy vedly k rozhodnutí o vývoji autonomního zkušebního zařízení na bázi ET.

2 METODA MAGNETICKÁ PRÁŠKOVÁ FLUORESCENČNÍ (MT)

2.1 Princip metody

Metoda magnetická prášková je jednou z nejpoužívanějších technik diagnostiky povrchu feromagnetických materiálů. Metoda je založena na principu rozptylových polí, kde je součást zmagnetována přímo (průchodem elektrického proudu), nebo nepřímo (vnějším zdrojem magnetického pole – například cívkou) za účelem magnetického nasycení povrchu zkoušené oblasti. Pokud se na zkoušeném povrchu vyskytuje necelistvost (vada), která je vhodně orientována vůči směru magnetických siločar, dojde v místě necelistvosti k jejich deformaci a vzniká tzv. rozptylový magnetický tok, který vystupuje nad povrch zkoušené oblasti. Tento rozptylový tok je následně nutné zviditelnit vhodným způsobem pro zkoušejícího. V případě zkoušení náprav se pro zviditelnění standardně používá magnetická fluorescenční suspenze, která se v místě rozptylového toku shlukuje a vytvoří tzv. indikaci. Zkouška principiálně znázorněna na obr. 1. Detekce indikace probíhá za použití UV-A záření tak, že fluorescenční obaly jednotlivých magneticky měkkých šupin UV-A záření absorbují a následně emitují již viditelné světlo, které je vůči pozadí kontrastní a indikace je dobře detekovatelná pro zkoušejícího.

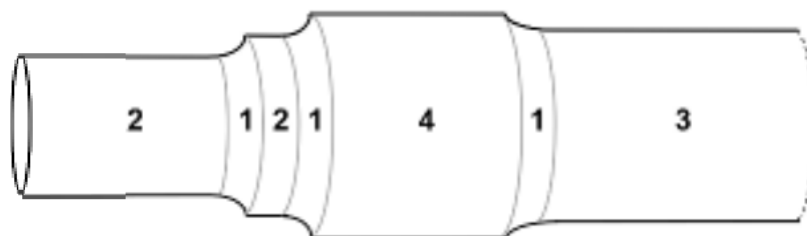


Obr. 1 Princip detekce necelistvosti

1. Rozložení siločar v okolí vady
2. Zviditelnění necelistvosti – tvorba indikace
 - a. Magnetický pól – místo kde siločáry vystupují z materiálu
 - b. Rozptylový magnetický tok
 - c. Necelistvost
 - d. Magnetické siločáry
 - e. Indikace tvořená detekčním prostředkem

2.2 Rozsah zkoušky

V oblasti zájmu je celý povrch plné nápravy vyjma čel, který je z pohledu hodnocení případných indikací rozdělen do 4 oblastí:



Obr. 2 Zkušební oblasti

1. Přechody průřezů
2. Ložiskový čep + sedlo opěrného kroužku
3. Dřík nápravy
4. Sedlo kola / brzdového kotouče

2.3 Zkušební zařízení, prostředky a zkušební systém

Celý proces zkoušky je úzce spjat s potřebou speciálního zařízení, měrek a prostředků, které kumulativně zajistí relevantní výstupy zkoušky. Konkrétně se jedná o:

1. Zkušební kabina: zkouška probíhá v zatemněné kabině, kde je intenzita zbytkového bílého světla ≤ 20 lx
2. Magnetizační zařízení: konstruováno pro cirkulární a podélnou magnetizaci z důvodu detekce nahodile orientovaných indikací
3. Zdroj UV-A záření
4. Měřicí zařízení: měřič tangenciálního magnetického pole, měřič UV-A záření, luxmetr, posuvné měřidlo, dotykový teploměr
5. Měrky: Bertholdova měrka, referenční měrka typu 1
6. Zkušební prostředky: magnetická fluorescenční suspenze

2.4 Očekávané indikace

Při zkoušce očekáváme nalezení indikací o rozměrech ≥ 2 mm, které mohou být orientovány v libovolném směru vůči ose rotace součásti.

2.5 Fázové rozdělení průběhu zkoušky se zaměřením na lidský faktor a nejistotu

1. Fáze zahrnuje kontrolu citlivosti celého systému v minimálně 7 krocích → rozhodování na základě metriky a nominálního hodnocení.
2. Fáze zahrnuje kontrolu součásti z pohledu čistoty povrchu → rozhodování na základě nominálního hodnocení.
3. Fáze je provedení samotné zkoušky, které zahrnuje: správný směr UV-A záření, správnou rychlost posuvu cívky, dostatečnou dobu magnetizace a dostatečnou dobu polévání → rozhodování na základě zkušenosti operátora.
4. Fáze zahrnuje hodnocení. Zásadní vliv na správné vyhodnocení zkoušky má: včasná inspekce – nalezení indikace, zabránění rozmazání indikace rotací součásti a poléváním, správná klasifikace indikace, správný náměr indikace (délka, šířka a úhel natočení vůči ose nápravy) → rozhodování na základě metriky a zkušenosti operátora.

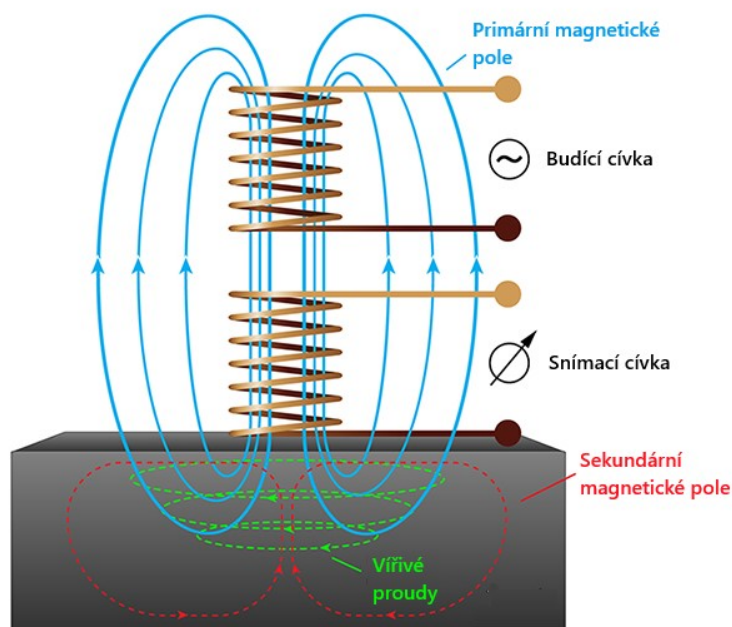
5. Fáze je pouze dokumentační část, kde operátor na základě svých dovedností zakreslí a zanechá stav povrchu zkoušené nápravy do předlohy protokolu.

Každá fáze stávající magnetické fluorescenční zkoušky je přímo/nepřímo závislá na lidském faktoru. Výsledek zkoušky je tedy z pohledu relevantnosti velmi subjektivní a obtížně opakovatelný. Kumulativní nejistota je přímo úměrná počtu použitých měřidel, zařízení a lidskému faktoru.

3 METODA VÍŘIVÝCH PROUDŮ (ET)

3.1 Princip metody

Metoda vířivých proudů je moderní nedestruktivní metoda, která je založena na principu elektromagnetické indukce. Umístíme-li do střídavého magnetického pole elektricky vodivý předmět, indukují se v něm tzv. vířivé proudy, které se soustřeďují u povrchu předmětu. V technické praxi jsou většinou vířivé proudy nežádoucí, protože působí proti směru budícího pole a způsobují tak energetické ztráty v elektrických strojích. Průvodním jevem je teplo, které může mít další negativní účinky na chod elektrického stroje. Rozložení a intenzita vířivých proudů je závislá mimo jiné na vlastnostech zkoušeného materiálu, jako jsou magnetická permeabilita, elektrická vodivost a geometrie zkoušené součásti. Pokud se do blízkosti materiálu, ve kterém jsou indukovány vířivé proudy, umístí snímač (indukční cívka), opět na principu elektromagnetické indukce se v cílce vytvoří určité napětí, jehož vlastnosti závisí zejména na vlastnostech budícího pole, ale také do značné míry na velikosti a rozložení vířivých proudů ve zkoušené součásti. Tato indukční cívka je připojena na zařízení měřící napětí. Pokud ve zkoušeném materiálu dojde ke změně jeho vlastností (může se jednat o změnu vodivosti, permeability, ale také o výskyt necelistvosti), změní se i vlastnosti napětí indukovaného ve snímací cílce. Necelistvost – vada např. trhlinka je v podstatě změnou geometrického tvaru povrchu. Indikací vady nebo změny materiálu je potom změna napětí odečtená na měřicím zařízení. Stejně tak se změní napětí na snímací cílce, pokud se změní vzájemná poloha snímače vůči zkoušenému povrchu. Je tedy důležité, aby snímač byl v průběhu zkoušky v konstantní poloze. Nespornou výhodou metody ET je její možná automatizace.



Obr. 3 Princip ET

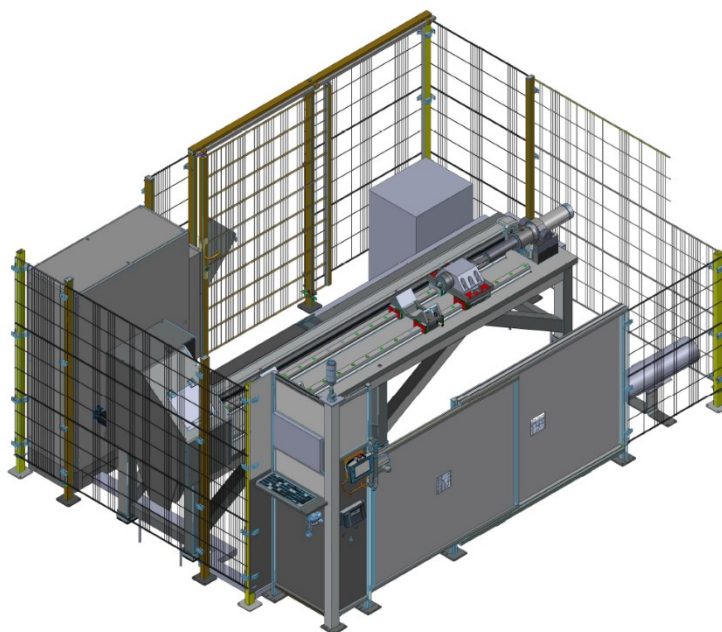
3.2 Použité metody vývoje nového zkušebního zařízení

Pro efektivní nahrazení magnetické metody vířivými proudy byly v rámci vývoje použity níže uvedené metody:

1. Analýza
 - a. Srovnávací
Komparace obou metod ve smyslu procesní implementace, funkčnosti, citlivosti a opakovatelnosti.
 - b. Prediktivní
Ověření konkrétních parametrů zamýšleného zkušebního zařízení ve smyslu výkonu stroje, univerzality a bezpečnosti v oblasti detekce.
 - c. Riziková
Komplexní definování rizik obou přístupů včetně návrhu eliminace rizik u nového přístupu.
2. Konceptuální návrh
Definování parametrů nového zkušebního zařízení, tvorba výkresové dokumentace, vývoj referenčního vzorku, tvorba algoritmu hodnocení.
3. Prototypování
Výroba zařízení a postupné (v dílčích krocích) ověřování definovaných parametrů v oblasti detekce, výkonu, citlivosti, opakovatelnosti a bezpečnosti.
4. Experimentální validace
Komplexní a úplné ověření zkušebního zařízení u výrobce včetně zátěžového testu a simulace reálného provozu.
5. Certifikace a schvalování
Tvorba zkušebních postupů a jejich validace za účelem certifikace a schválení nejen zkušebního zařízení, ale celého procesu nezávislou certifikační autoritou v oblasti NDT.
6. Implementace a školení
Začlenění procesu v rámci výroby a zajištění potřebné odbornosti personálu.

3.3 Zkušební zařízení ET

Plně automatizované pracoviště pro zkoušení náprav dvojkolí vířivými proudy. Pracoviště je koncipováno pro provoz s minimem zásahů operátora. Samotné zkoušení včetně vyhodnocení zajišťuje stroj. Jedná se o vývoj sofistikovaného a do určité míry autonomního stroje pro detekci povrchových necelistvostí, který je schopný nalézt trhliny o libovolných orientacích vůči ose rotace nápravy.



Obr. 4 3D model zkušebního zařízení

3.4 Popis procesu zkoušky

1. Založení referenčního tělesa a následné ověření citlivosti (obsluha / zkušební zařízení).
2. Vyjmutí referenčního tělesa (obsluha).
3. Založení čisté a osoustružené nápravy (obsluha).
4. Zkouška (zkušební zařízení).
5. Strojní hodnocení včetně vygenerování protokolu (zkušební zařízení).
6. Vyjmutí nápravy (obsluha).

3.5 Vývoj a očekávaný přínos

V rámci konceptuálního návrhu byl kladen důraz na čtyři základní parametry procesu:

1. Vysoká bezpečnost
2. Efektivita
3. Ergonomie
4. Životní prostředí

Zkušební zařízení s technikou ECT (Eddy Current Testing) poskytuje mnoho předností oproti magnetické zkoušce. Vývoj nebyl zaměřen pouze na samotnou zkoušku, ale na celé pracoviště a efektivní začlenění do celého procesu. Stěžejní výhody a přínos nového přístupu:

Oblast bezpečnosti

- Plně automatizovaný proces s minimem zásahů obsluhy. Vedení snímacích sond (cívek) zajišťuje stroj. Snížení vlivu chybovosti obsluhy na minimum.
- Vyhodnocení zkoušky zajišťuje stroj. PLC (Programmable Logic Controller) je nasycen algoritmy hodnocení, které vychází z požadavků předpisu. Obsluha pouze stvrzuje protokol o provedené zkoušce.
- Ověření citlivosti. Stroj si v rámci pracovní směny sám překontroluje citlivost detekce na referenčním tělese nápravy, které je opatřeno vadami o mezních rozměrech v kritických (problematických) oblastech.
- Univerzalita a snížení vlivu lidského faktoru. Stroj je koncipován pro všechny druhy náprav. Výběr rychlosti posuvu sond a rotace součásti je zajištěn automaticky.
- Interpretace výsledků. Výstupem ze zkoušky je protokol, který obsahuje všechna potřebná data včetně rozvinu pláště se znázorněním nalezených vad.
- Hloubka vady. Na základě hloubky vniku lze experimentálně odhadnout hloubku necelistvosti.

Oblast efektivity

- Nasnímání hloubky necelistvosti umožňuje rozhodování o opravitelnosti. Například oprava dříku nápravy soustružením za předpokladu, že bude dodržen minimální provozní rozměr. Pokud je detekována nepřijatelná vada metodou magnetickou, náprava bude vyřazena.
- Jelikož se jedná o automatizované zkoušení uvažujeme pouze strojní čas. Oproti magnetické zkoušce je možné vytvářet takt celé linky včetně NDT ET.
- Doba zkoušky jedné nápravy nepřesáhne 20 min.

Oblast ergonomie

- Oproti fluorescenční magnetické zkoušce je nový inovativní přístup na té nejvyšší úrovni. Komparativně – obsluha není v temné komoře s max. 20lx na pracovišti, neakomoduje a neadaptuje zrak / oko, nepracuje s CHLS (chemické látky a směsi), není vystavena UV-A záření, není vystavena magnetickému poli.

Oblast životního prostředí

- Zkoušení je realizováno bez použití CHLS v podobě olejových a vodních suspenzí. Nevzniká tedy nebezpečný odpad, který je potřebný dále likvidovat.
- Absence spotřebních nákladných elementů jako jsou například UV-A lampy.

4 ZÁVĚR

Výzkum a vývoj nového autonomního zkušebního zařízení na bázi vířivých proudů pro diagnostiku náprav dvojkolí představuje významný krok vpřed v oblasti údržby železničních vozů. Tento inovativní přístup přináší zásadní zlepšení v bezpečnosti, efektivitě a ekologické šetrnosti, což výrazně posouvá standardy v diagnostice a údržbě náprav dvojkolí železničních nákladních vozů. Automatizace procesu minimalizuje zásahy obsluhy a snižuje riziko lidské chyby, což zvyšuje spolehlivost výsledků. Výstupy vývoje potvrzují správnost záměru nahrazení stávajícího přístupu novým. Stěžejní výhody nahrazení a implementace:

- 90% eliminace lidského faktoru,
- možnost efektivně rozhodnout o opravitelnosti nápravy,
- 100% digitalizace vstupů a výstupů,
- výrazné snížení kumulativní nejistoty,
- minimalizace faktorů a nároků na obsluhu,
- odstranění potřeby CHLS,
- možnost optimalizace procesu na základě strojního času.



Literatura

- [1] ČSN EN 16910-1:2018. *Železniční aplikace – Vozidla – Požadavky na nedestruktivní zkoušení pojezdu při údržbě – Část 1: Dvojkolí.*
- [2] TICHÝ, P. *ET metoda vířivých proudů stupeň I, II.* Leden 2022.

Zasláno / received: 12. 06. 2025, přijato / accepted: 22. 06. 2025, publikováno / published: 17. 09. 2025.

Příspěvek recenzovali / The paper was reviewed by: prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D. (Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera), Ing. Alois Kotrba, Ph.D. (České dráhy, a.s.).