26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.24

FUNKČNÍ BEZPEČNOST AUTOMATICKÉ ÚDRŽBY KOLEJOVÝCH VOZIDEL

FUNCTIONAL SAFETY OF AUTOMATIC MAINTENANCE OF ROLLING STOCK

Radek ŘEHÁK, Jan FAMFULÍK, Michal RICHTÁŘ, Jaromír ŠIROKÝ[*)]

1 ÚVOD

Se zvyšováním poptávky na přepravu v dálkové a regionální dopravě je nutné také nabízet vyšší počet spojení mezi nejvytíženějšími dopravními uzly. V ČR mezi takové uzly patří především Praha, Brno, Ostrava, Plzeň, Pardubice atd. Dopravci železniční dopravy na to musí reagovat vyšší kapacitou vlakových souprav nebo jejím vyšším počtem. Náklady na provoz kolejových vozidel nejsou jen ty, které můžeme lehce odhalit jako běžný cestující, ale především ty, které se dějí v depech a servisních centrech pro údržbu.

Údržba kolejových vozidel je alfou a omegou bezpečného a spolehlivého provozu. Provádění preventivní údržby je povinností každého odpovědného provozovatele vozidel. Avšak náklady na preventivní údržbu nejsou malé, a proto mnoho dopravců šetří na těchto činnostech jako první.

Pomoc s preventivní údržbou může dnešní vyspělá technika, především z oblasti automatizace a umělé inteligence. Prvotní stupně preventivní údržby (tzv. visual check) již dnes dokážou provádět automatizované linky.

Aby vše bylo v pořádku a věrohodné je potřeba se zaměřit i na samotné fungování automatické linky a jejích částí z pohledu funkční bezpečnosti.

[*)] **Ing. Radek ŘEHÁK,** Siemens Mobility, s.r.o., 28. října 2663/150, Ostrava, 702 00, M.: +420 607 026 689, e-mail: radek.rehak@siemens.com, RAM/LCC Manager na projektech regionálních a příměstských jednotek a vozidel městské hromadné dopravy, student doktorského studia VŠB-TU Ostrava, Institut dopravy.

doc. Ing. Jan FAMFULÍK, Ph.D., Institut dopravy, VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 2175/15, Ostrava – Poruba, 708 00, Tel.: +420 596 994 553, e-mail: jan.famfulik@vsb.cz, Vedoucí Ústavu dopravní techniky, specializace na spolehlivost a funkční bezpečnost.

Ing. Michal RICHTÁŘ, Ph.D., Institut dopravy, VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 2175/15, Ostrava – Poruba, 708 00, Tel.: +420 596 994 529, e-mail: michal.richtar@vsb.cz, spealizace na konstrukci silničních vozidel, spolehlivost a funkční bezečnos.

Ing. Jaromír ŠIROKÝ, Ph.D., Institut dopravy, VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 2175/15, Ostrava – Poruba, 708 00, Tel.: +420 596 994 375, e-mail: jaromír.siroky@vsb.cz, tajemník institutu dopravy, spealizace na konstrukci a provoz kolejových vozidel, znaec pohybu drážních vozidel.

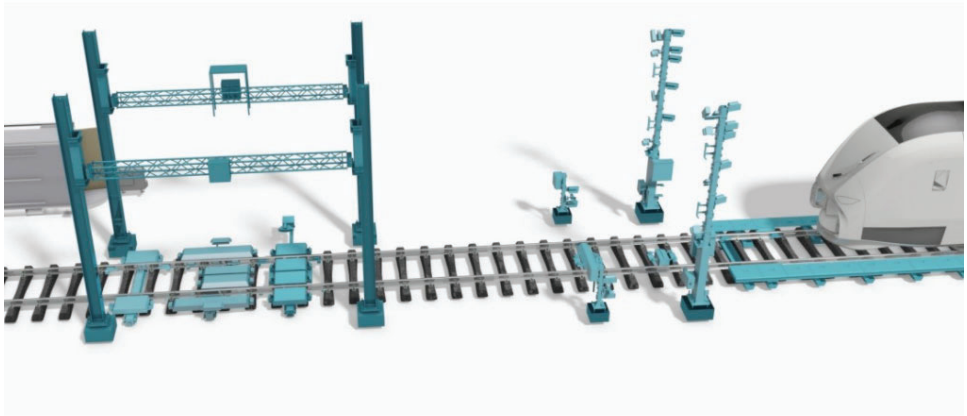
2 AUTOMATICKÁ LINKA ÚDRŽBY KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Systém pro automatickou údržbu zařízení kolejových vozidel VEMS (Vehicle Equipment Measurements Systems) od společností Siemens Mobility poskytuje řadu automatizovaných inspekcí kolejových vozidel za účelem zjištění provozuschopnosti a především bezpečnosti. VEMS je navržen jako modulární sada měřících a diagnostických zařízení instalovaných v prohlídkové jámě, vedle a nad kolejí v depu určená pro údržbu v nejnižších stupních.

Systémem VEMS jsou především prováděny kontroly integrity vozidel, jízdních kol, náprav, brzdového zařízení podvozku, sběračů proudu na střeše a dalších.

Pro účely tohoto článku jsme se zaměřili na vizuální kontrolu jízdních kol a jízdního profilu. Zařízení pro údržbu je vybaveno velmi přesnými měřícími a diagnostickými zařízeními uzpůsobenými právě pro činnost měření parametrů jízdního kola s časovou úsporou. Návod, jak postupovat při ověření věrohodnost zařízení je tématem pro další kapitoly.

Celkový pohled na automatickou linku údržby je možné pozorovat na (***obr. 1***):



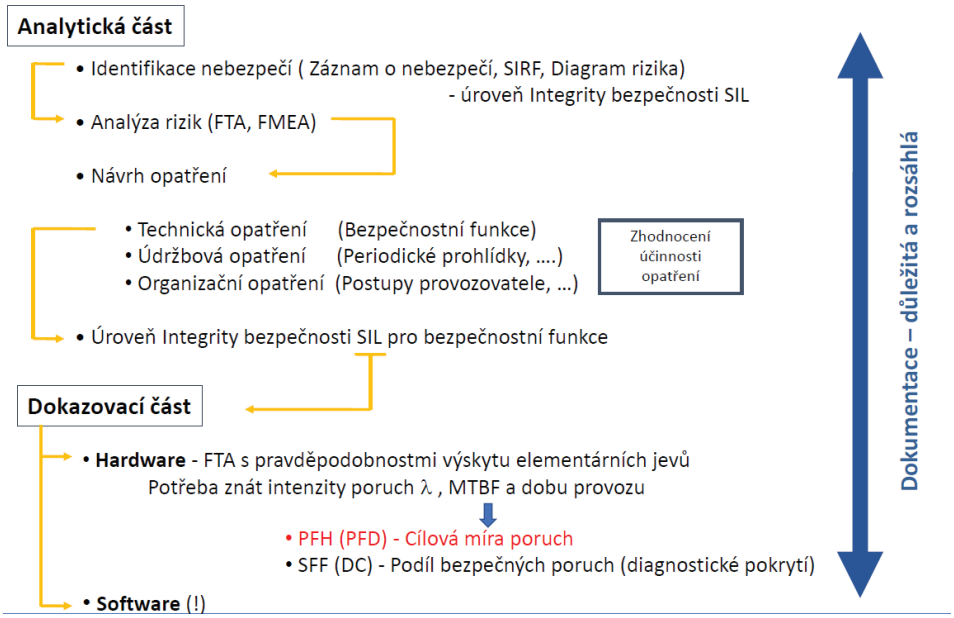
Obr. 1 *Prohlídková kolej se systémem VEMS*

Fig. 1 *Inspection track with VEMS system*

3 JAK POSTUPOVAT PŘI ANALÝZE FUNKČNÍ BEZPEČNOST ZAŘÍZENÍ V SYSTÉMU VEMS

Pro příklad tohoto příspěvku je uveden postup pro stanovení minimálních parametrů jednotlivých části zařízení pro měření rozměrů a profilu jízdního kola, tak aby byla zaručena požadovaná úroveň bezpečnosti. Pro názornost se budeme zabývat bezpečnostní funkcí, která je definována jako aktivace bezpečnostních výstrah zařízení (majáku, sirény).

Základním parametrem je výpočet cílové míry poruch s vysokým vyžádáním podle normy ČSN EN 61 508. Celkový postup výpočtu cílové míry poruch můžeme rozdělit do několika kroků, viz (***obr. 2***):



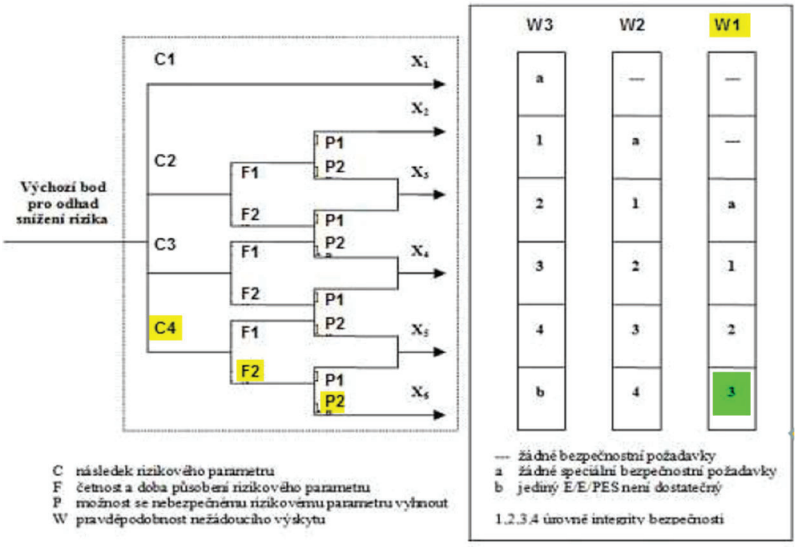
Obr. 2 *Proces výpočtu cílové míry poruch*

Fig. 2 *Process for calculating the target failure rate*

3.1 Identifikace nebezpečí – diagram rizika

Pro identifikaci nebezpečí a následné stanovení minimální potřebné úrovně integrity bezpečnosti používáme tzv. diagram rizika, který vychází z normy ČSN EN 61 508. V diagramu je posuzován následek nebezpečné události, režim vyžádání funkce, možnost se vyhnout nebezpečné události a také pravděpodobnost nežádoucího výskytu.

Pro názornost máme definované nebezpečí, že kolejové vozidlo po údržbě má špatnou geometrií jízdního kola a hrozí potencionální vykolejení. Výsledné posouzení nebezpečí v diagramu rizika vypadá následovně, viz (***obr.3***):



Obr. 3 *Posouzení nebezpečí v diagramu rizika*

Fig. 3 *Hazard assessment in risk diagram*

Z diagramu je patrné, že minimální úroveň integrity bezpečnosti pro konkrétní nebezpečí je SIL 3. Na základě požadavku na SIL 3 a nepřetržitém provozu zařízení známe i požadavek na průměrnou frekvenci (četnost) nebezpečných poruch za hodinu provozu zařízení, která pro SIL 3 viz ***TAB. 1***.

TAB. 1 *Požadavky – režim s vysokým vyžádáním*

TABLE 1 *Requirements – High Demand Mode*

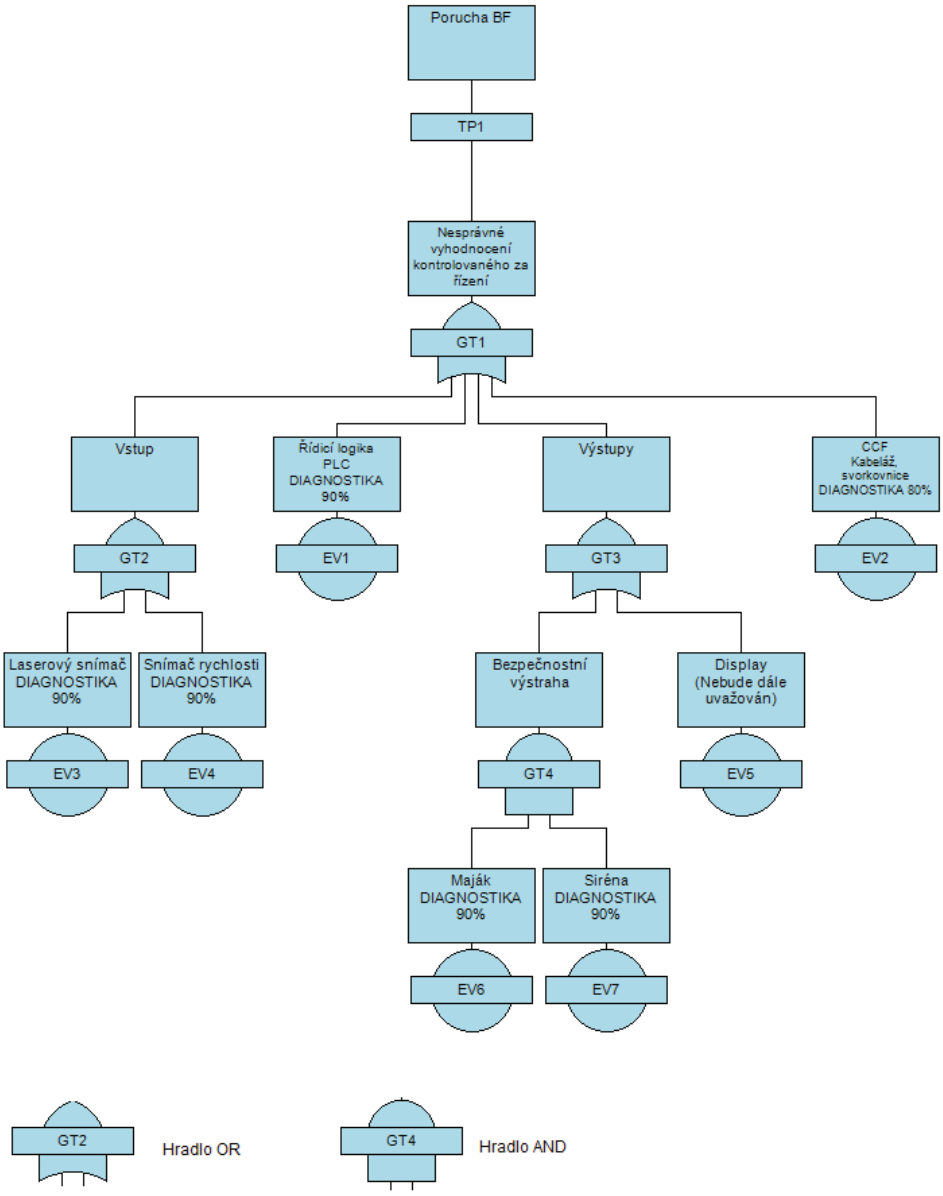
Úroveň integrity bezpečnosti (SIL)	Cílová střední pravděpodobnost poruchy PFH_{SYS}
4	$(1\cdot10^{-8}, 1\cdot10^{-7})$
3	$(1\cdot10^{-7}, 1\cdot10^{-6})$
2	$(1\cdot10^{-6}, 1\cdot10^{-5})$
1	$(1\cdot10^{-5}, 1\cdot10^{-4})$

3.2 Architektura bezpečnostní funkce a diagnostické pokrytí

Bezpečnostní funkce pro zajištění bezpečného provozu zařízení je koncipována jako paralelní zapojení hlavních částí systému a dále se větví na několik dalších úrovní až k jednotlivým prvkům. V Architektuře je zahrnut i vliv poruch se společnou příčinou CCF.

Pro další postup u sériové soustavy bereme v úvahu intenzity nebezpečných, ale diagnostikovatelných poruch za hodinu provozu. U paralelní soustavy uvažujeme jak intenzitu nebezpečných, ale diagnostikovatelných poruch tak i intenzitu nebezpečných, ale nediagnotikovatelných (neúčinnost diagnostiky).

Výslednou architekturu systému je možné pozorovat na ***obr. 4***:



Obr. 4 *Architekrura systému*

Fig. 4 *Architecrure of system*

Pro zjednodušení nebereme v úvahu vliv zobrazovacího zařízení (display). Celkovou míru stanovíme na základě rozložení celkové architektury na elementární uzly OR (sériovou) a AND (paralelní).

U architektury OR platí, že výsledná intenzita poruch je rovna součtu intenzit poruch tvořících prvků. Poté vztah pro průměrnou frekvenci nebezpečných poruch je:

$$PFH^{1001} = \lambda_{CCF} + \sum_{i=1}^{N} \lambda_{DU,\,i} \tag{1}$$

kde: λ_{CCF} [h-1] – intenzita poruch se společnou příčinou (CCF), λ_{DU} [h^{-1}] – intenzita nebezpečných poruch, nediagnotikovatelných

Pro architekturu AND je výpočet složitější. To proto, že při poruše jednoho prvku soustava dále pracuje. Tudíž nás zajímá situace až po poruše jednoho prvku, kdy hrozí porucha celé soustavy. Zajímá nás doba, po kterou bude jeden prvek v poruše. Takové době říkáme ekvivalentní doba prostoje prvku t_{CE} a vypočítáme ji podle vztahu (2), (3):

$$t_{CE} = (1-DC)\cdot\left(\frac{T_1}{2} + MRT\right) + DC\cdot MTTR \tag{2}$$

$$DC = \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_{DD} + \lambda_{DU}} \tag{3}$$

kde: T_1 – interval testu bezpečnostní funkce v servisu, např. za rok, *MRT* – průměrná doba obnovy (doba nalezení poruchy + doba opravy), λ_{DD} – intenzita nebezpečných poruch, diagnostikovatelných, λ_{DU} – intenzita nebezpečných poruch, nediagnotikovatelných, *MTTR* – průměrná doba opravy

Výpočet *PFH* pro paralelní soustavu po odvození je podle následujícího vztahu (4):

$$PFH = 2\cdot(\lambda_{DD} + \lambda_{DU})\cdot\lambda_{DU}\cdot t_{CE} \tag{4}$$

3.3 Průměrná frekvence nebezpečných poruch pro celkový systém

Základní a finální vztah pro celkovou architekturu systému kontroly jízdního kola je uveden v následujících vztazích (5), (6), (7):

$$PFH_{SYS} = FPH_{vstup} + FPH_{řídicí\ logika} + FPH_{výstupy} + FPH_{CCF} \tag{5}$$

$$PFH_{SYS} = \lambda_{vstup\ DU} + \lambda_{řídicí\ logika\ DU} + \lambda_{výstupy\ DU} + \lambda_{CCF\ DU} \tag{6}$$

$$PFH_{SYS} = (\lambda_{laser}\cdot 0{,}1 + \lambda_{rychloměr}\cdot 0{,}1) + \lambda_{řídicí\ logika}\cdot 0{,}1 + (\lambda_{maják} + \lambda_{siréna})\cdot(\lambda_{maják}\cdot 0{,}1 + \lambda_{siréna}\cdot 0{,}1)\cdot t_{CE} + \lambda_{CCF}\cdot 0{,}2 \tag{7}$$

Celkový výsledek průměrné frekvence nebezpečných poruch pro systém musí být v souladu s požadavkem na minimální úroveň integrity bezpečnosti SIL3, tudíž *PFH musí být lepší nebo rovná* $\mathbf{1\cdot 10^{-6}}$ [h^{-1}] provozu.

4 ZÁVĚR

Závěrem příspěvku je vyjádření průměrné frekvence nebezpečných poruch pro systém měření geometrie dvojkolí v obecném tvaru. Po dosazení konkrétních hodnot intenzity poruch pro jednotlivé komponenty dostaneme finální průměrnou frekvenci nebezpečných poruch a tu porovnáme s minimální požadovanou hodnotou a požadovaného stupně integrity bezpečnosti.

V dalším výzkumu bude cílem stanovit preventivní program, který bude založen na fiktivní zkoušce zařízení, tzv. zkušebním dvojkolím. Jak často by tato zkouška měla být provedena bude obsahem další analýzy.

Literatura

[1] Famfulík, J. a kol.: Zkoušky spolehlivosti. Skriptum VŠB – Technické univerzity Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2277-8. **[2] Famfulík, J a kol.**: Teorie údržby. Ostrava, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006, ISBN 80-248-1029-8. **[3]** ČSN EN 61 508-1 ed.2. Funkční bezpečnost elektrických/ elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností - Část 1: Všeobecné požadavky. **[4]** Podklady společnosti SIEMENS Mobility

♠ ♠ ♠

Resumé

Automatická údržba vede k efektivnější a levnější údržbě kolejových vozidel při prvotních stupních údržby. Pro zajištění věrohodnosti výsledku údržby je potřeba stanovit požadavky na funkční bezpečnost takového zařízení. V konkrétním případě jde o automatickou linku pro kontrolu geometrie dvojkolí kolejových vozidel. Výsledkem je stanovení průměrná frekvence nebezpečných poruch pro celkový systém.

Summary

Automatic maintenance leads to more efficient and less maintenance costs of rolling stock in the light levels of maintenance. To ensure reliability of the maintenance results, the safety requirements of such equipment need to be established. In our case, it is automatic line for check the geometry of rolling stock wheelsets. The result is the determination of the average frequency of dangerous failures for the overall system.

705 913-2