

Verifikace a validace simulačních modelů bezpečnostně relevantních systémů vysokorychlostních kolejových vozidel

Verification and Validation of Simulation Models for Safety-Relevant Systems of High-Speed Rail Vehicles

Studijní program: Bezpečnostní technologie, systémy a management

Ústav fakulty: Ústav elektroniky a měření

Školitel: doc. Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D.

Konzultant: ---

Anotace (min 10 řádků):

Cílem dizertační práce je výzkum a návrh metod pro hodnocení důvěryhodnosti simulačních modelů a digitálních reprezentací bezpečnostně relevantních systémů vysokorychlostních kolejových vozidel se zaměřením na možnosti jejich využití při verifikaci bezpečnostních požadavků. Pozornost bude věnována zejména vztahu mezi chováním reálného systému, výsledky měření a odezvou jeho digitální reprezentace v normálních, mezních, degradovaných a vybraných poruchových stavech.

Výzkum bude zaměřen na metody verifikace a validace simulačních modelů, kvantifikaci nejistot měření a parametrů modelu, analýzu citlivosti a stanovení oblasti platnosti a aplikovatelnosti modelu. Na základě těchto poznatků budou navrženy metriky, kritéria a postupy umožňující posuzovat důvěryhodnost výsledků simulace vždy ve vztahu ke konkrétnímu účelu použití modelu a k vybranému bezpečnostně relevantnímu požadavku.

Zvláštní pozornost bude věnována tomu, jak nejistoty vstupních veličin, parametrů modelu a měřicího řetězce ovlivňují výsledky simulace a míru jistoty, s níž lze na jejich základě formulovat závěry o splnění bezpečnostních požadavků. Součástí výzkumu bude rovněž analýza možností využití parametrických změn a metod vkládání poruch pro hodnocení schopnosti modelu reprodukovat degradované a poruchové chování reálného systému, včetně posouzení míry extrapolace mimo experimentálně ověřenou oblast.

Výzkum bude kombinovat analytické přístupy, numerické modelování a simulace, metody statistického zpracování dat, analýzu nejistot a experimentální ověření. Navržený metodický přístup bude ověřen na vybraném bezpečnostně relevantním systému nebo funkci kolejového vozidla. Pro tento účel mohou být využity experimentální, veřejně dostupné nebo synteticky generované datové soubory a generické modely umožňující reprezentovat normální, mezní, degradované a vybrané poruchové stavy bez nezbytné závislosti na proprietárních datech konkrétního výrobce nebo projektu.

Konkrétní demonstrační aplikace bude v průběhu řešení práce zpřesněna s ohledem na dostupnost experimentální infrastruktury a dat, odborné zaměření doktoranda a možnosti projektového nebo aplikačního využití výsledků. Jako vhodné oblasti lze uvažovat například brzdové, trakční, řídicí, diagnostické nebo jiné bezpečnostně relevantní subsystémy vysokorychlostních kolejových vozidel. Vlastní metodika hodnocení důvěryhodnosti však bude formulována tak, aby její principy byly v přiměřené míře přenositelné i na jiné technické systémy s obdobnými požadavky na verifikaci a validaci.

Výsledkem práce bude systematický přístup k hodnocení důvěryhodnosti simulačních modelů a digitálních reprezentací v kontextu funkční bezpečnosti. Navržené metody umožní stanovit podmínky a oblast platnosti, v nichž lze výsledky modelování a simulace považovat za dostatečně podložené pro podporu verifikace konkrétních bezpečnostních požadavků. Práce tak přispěje k rozvoji metod

využívajících modelování a simulaci jako podpůrný důkaz při posuzování bezpečnostně relevantních funkcí kolejových vozidel.

Literatura (minimálně 5 aktuálních zdrojů, citace dle ISO 690):

- [1] OBERKAMPF, William L. a ROY, Christopher J. Verification and Validation in Scientific Computing. Online. 2013. ISBN 9780521113601. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511760396>. [cit. 2026-10-04].
- [2] COLEMAN, Hugh W. *Experimentation, validation, and uncertainty analysis for engineers*. 4th. Hoboken, N.J.: J. Wiley, 2018. ISBN 978-1-119-41751-4.
- [3] DONG, Wei; SUN, Kexin; DING, Bochuan a YIN, Jilei. Exploration and practice of high speed EMU digital train based on digital twin. Online. *High-speed Railway*. 2025, vol. 3, no. 1, s. 54-63. ISSN 2949-8678. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.hspr.2025.01.004>. [cit. 2026-10-04].
- [4] JCGM. *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. JCGM 100:2008. Sèvres: Joint Committee for Guides in Metrology, 2008. DOI 10.59161/JCGM100-2008E.
- [5] EN 50126-1:2017+A1:2024. *Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 1: Generic RAMS process*. Brussels: CENELEC, 2024.
- [6] TANG, Zhao; LING, Liang; ZHANG, Tao; HU, Yuwei; WANG, Kaiyun et al. Towards digital twin trains: implementing a cloud-based framework for railway vehicle dynamics simulation. Online. *International Journal of Rail Transportation*. 2024, vol. 13, no. 3, s. 444-467. ISSN 2324-8378. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/23248378.2024.2355578>. [cit. 2026-10-04].