



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

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.1.21>

NUMERICKÁ SIMULACE REÁLNÉ KOLIZE LOKOMOTIVY Ř. 742 S ELEKTRICKOU JEDNODLAŽNÍ JEDNOTKOU

NUMERICAL SIMULATION OF REAL COLLISION OF LOCOMOTIVE CLASS 742 WITH ELECTRIC SINGLE-DECK UNIT

Roman JEŽDÍK^{*)}

1 ÚVOD

V roce 2008 byla Evropským výborem pro normalizaci schválena norma pod označením EN 15227 [1], která se zabývá pasivní bezpečností kolejových vozidel. Tato norma se stala pro železniční vozidla prostřednictvím TSI [2] závaznou. V oblasti městských kolejových vozidel se na tuto normu odkazuje doporučení Sdružení německých dopravních podniků VDV 152 [3]. Požadavek na plnění této normy je pro výrobce lokomotiv a kolejových vozidel pro přepravu osob v současnosti již zcela běžným. Z tohoto důvodu bylo ve VÚKV a. s. realizováno mnoho numerických simulací za účelem prokázání kolizní odolnosti kolejových vozidel při schvalování. U jednoho z těchto vozidel došlo v nedávné době k reálné nehodě.

1.1 Realizované numerické simulace

Od doby, kdy vstoupila v platnost normy EN 15227, bylo v oblasti numerických simulací kolizních scénářů ve VÚKV a. s. realizováno osm významných tramvajových projektů pro společnosti Škoda Group (*obr. 1*):

- 26T (Miskolc),
- 36T, 37T, 38T (RNV Mannheim),
- 35T (Chemnitz),
- 39T (Ostrava),
- 40T (Plzeň),
- 41T (Bonn),
- 45T (Brno),
- 46T, 48T (Frankfurt n. O., Brandenburg; v realizaci),

dále projekt metra pro Varšavu.

Je vhodné poznamenat, že kritické torzní frekvence jsou mezi 50 Hz a 100 Hz. Frekvence kolem 50 Hz jsou typické pro lokomotivy a frekvence okolo 100 Hz jsou typické pro hnací dvojkolí jednotek.

^{*)} **Ing. Roman JEŽDÍK**, VÚKV a. s., Bucharova 1314/8, 158 00 Praha / Česká republika, Tel: +420 225 343 419, e-mail: jezdik@vukv.cz, zabývá se pevností kolejových vozidel z hlediska statických a únavových zatížení, provádí numerické simulace kolizní odolnosti kolejových vozidel.



Obr. 1 Vybraná městská vozidla Škoda, pro která byly ve VÚKV a. s. realizovány simulace kolizních scénářů: 1-26T, 2-38T, 3-39T, 4- 40T, 5-41T, 6-46T, 7-Metro Varšava (zdroj: www.skodagroup.com)

Fig. 1 Selected Skoda urban vehicles for which numerical simulations of collision scenarios were provided by VUKV a. s.: 1-26T, 2-38T, 3-39T, 4- 40T, 5-41T, 6-46T, 7-Underground Warsaw (source: www.skodagroup.com)

Hlavními realizovanými projekty v oblasti drážních vozidel pak byly elektrické jednotky skupiny Škoda Group (**Obr. 2**):

- EMU 7Ev (Regiopanter 3 a 4 voz.),
- EMU 10Ev (Interpanter),
- EMU 16Ev (Lotyšsko),
- EMU 18Ev, 19Ev, 20Ev (JMK),
- EMU 21Ev (Estonsko),

dále jednotka DMU ř. 861 ŽOS Vrútky, vozy Škoda NIM Express pro Německé dráhy, vozy Škoda 13Ev Push-Pull pro ČD, lokomotiva ř. 744-TSI z produkce CZ Loko a mnoho dalších studií a předprojektů.



Obr. 2 Vybraná dr aţn i vozidla, pro která byly ve VÚKV a. s. realizovány simulace kolizních sc en ar u: 1-Škoda EMU 7Ev, 2-Škoda NIM Express (Německé dráhy), 3-Škoda EMU 16Ev (Lotyšsko), 4-DMU ř. 861  OS Vrútky, 5-lokomotiva ř. 744-TSI CZ Loko, 6- Škoda 13Ev Push-Pull pro  D (zdroje: www.skodagroup.com, www.pv.lv, www.czloko.cz, www.zos-vrutky.sk)

Fig. 2 Selected railway vehicles for which numerical simulations of collision scenarios were provided by VUKV a. s.: 1-Skoda EMU 7Ev, 2-Skoda NIM Express (German Railways), 3-Skoda EMU 16Ev (Latvia), 4-DMU ř. 861 ZOS Vrutky, 5-lokomotive class 744-TSI CZ Loko, 6-Skoda 13Ev Push-Pull for Czech Railways (sources: www.skodagroup.com, www.pv.lv, www.czloko.cz, www.zos-vrutky.sk)

Během provozu výše uvedených vozidel se odehrála významná kolizní událost, pro kterou se podařilo ziskat dostatek informací na to, aby bylo moţn e provést n iţe popsanou numerickou simulací a porovnání jejich výsledků se skutečnými následky kolize.

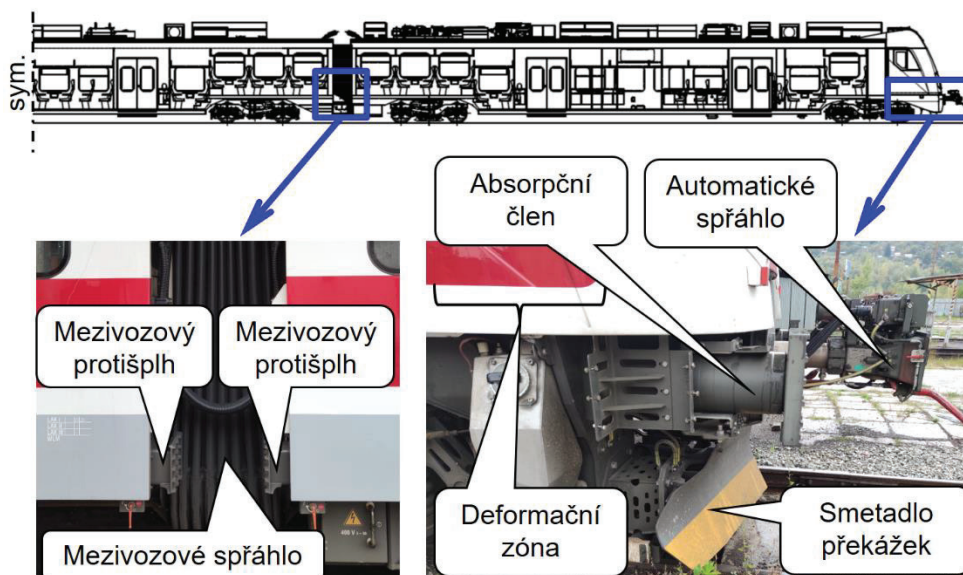
2 SIMULOVANÁ KOLIZE

2.1 Popis

Dne 3.  ervna 2022 dořlo na trati Kral ovany – Žilina v mezistaničním uřeku Vrútky – Varín k nárazu jedoucí lokomotivy ř. 742 do stojc i třivozov e elektrické jednotky

Škoda 14Ev společnosti ZSSK. Dle dostupných informací se nehoda odehrála v oblouku při rychlosti 62 km/h.

Uvedená jednotka splňuje požadavky normy EN 15227. Jednotka je za tímto účelem vybavena absorpčním systémem. Jeho součástí je na čele umístěné automatické spřáhlo a stranové absorpční členy, které jsou schopny pohlcovat energii. Navíc je konstrukce kabiny opatřena deformační zónou, která je konstruována pro případ srážky se silniční cisternou o hmotnosti 15 t při rychlosti 110 km/h. Sousední vozy jednotky jsou vzájemně spojeny mezivozovými spřáhly, která jsou rovněž schopna pohlcovat energii. Kromě toho jsou mezivozová rozhraní vybavena zařízením k zabránění vzájemnému šplhání vozů, tzv. protišplhy. Na čele nainstalované smetadlo překážek slouží k odstranění malých překážek z koleje. Zmíněné součásti absorpčního systému jsou vyznačeny **obr. 3**. Kolizní hmotnost jednotky je 169 t.



Obr. 3 Absorpční systém jednotky Škoda14Ev

Fig. 3 Absorption system of the unit Skoda14Ev

Lokomotiva ř. 742 byla vyrobena před vznikem normy EN 15227, a proto nesplňuje její požadavky. Z hlediska kolizní odolnosti je vybavena pouze standardními nárazníky, které nejsou schopny pohltit tak velké množství energie, jaké plyne z požadavků normy EN 15227. Kolizní hmotnost lokomotivy je 64 t.

3 NUMERICKÁ SIMULACE

3.1 Simulační model

Byl vytvořen simulační model, jehož součástí byla stojící jednotka a najíždějící lokomotiva s cílem řešit příslušné pohybové rovnice. Pro prostorovou diskretizaci byla využita metoda konečných prvků. Časová diskretizace byla provedena za pomoci metody konečných diferencí s využitím explicitního integračního schématu. Jako preprocesor byl využit program ANSA. Vlastní simulace pak byly provedeny pomocí programu LS-Dyna. Jako postprocesor sloužil program META.

V simulačním modelu jednotky jsou podrobně modelovány všechny hlavní nosné části hrubých staveb vozů včetně součástí absorpčního systému. V simulačním modelu

lokomotivy je podrobn e modelován hlavní rám. Podvozky a ostatní  asti vozidel byly modelovány zjednodu en e. Byla přijata následující zjednodušení:

- Zanedbán vliv oblouku. Simulace byla provedena pro p imou kolej.
- Zanedb ano zabrzdění jednotky, veškeré pasivní odpory a setrvačnost rotačních hmot podvozků.
- Zanedbán vliv tuhosti a absorpce vnitřního i vnějšího opl  st en i, oken, přechodového měchu a ostatního vybavení (kromě HS a absorpčního systému) jednotky.
- Zanedbán vliv odlomeného automatického spřáhla jednotky.
- Model lokomotivy obsahuje pouze hlavní rám, nárazníky a podvozky. Zanedbán vliv tuhosti a absorpce ostatního vybavení.

3.2 Výsledky

Pomocí výše popsaného modelu bylo provedeno několik numerických simulací pro r zn e po ate n i rychlosti lokomotivy. Nejprve byla provedena simulace pro skutečnou rychlost nárazu, která dle dostupných informací činila 62 km/h. Ukázalo se, že velikost energie, kterou je schopen absorbovat zjednodušený model je ni   i než je tomu u skute n e konstrukce. Důvodem je to, že ve skutečnosti docházelo k absorpci energie i v  astech konstrukce jednotky a lokomotivy, které nejsou (a prakticky ani nemohou) být součastí modelu. K této situaci dochází proto, že kinetická energie naj zde j c i lokomotivy (9,5 MJ) je p ibli n e 2,4kr t v    i než energie sc n  e  . 2 dle EN 15227 (4,0 MJ), pro který je jednotka konstruována. Poznamenejme, že scénář  . 2 představuje sr zku jednotky s 80 t n kladn m vozem při rychlosti 36 km/h. Tento scénář se simulovan  nehodě podobá. Odlišnost je ve hmotnosti (80 t n kladn  v z vs. 64 t lokomotiva) a kolizní rychlosti (36 km/h n kladn  v z vs. 62 km/h lokomotiva), která se ve vztahu pro kinetickou energii objevuje ve druhé mocnině.

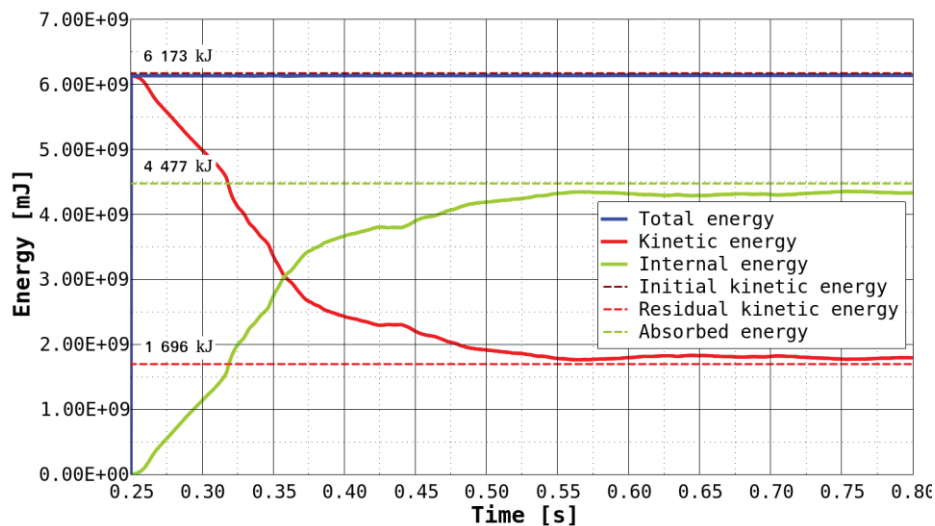
Z důvodů uvedených v předchozím odstavci byla velikost po ate n i rychlosti lokomotivy postupn e sn  ena až na hodnotu 50 km/h, pro kterou jsou výsledky simulace v souladu s pozorovanými deformacemi  ast i vozidel. V **TAB. 1** jsou uvedeny parametry pro p ipad re ln  sr zky a numerick  simulace, které byly stanoveny za předpokladu ide ln  plastického rázu dvou těles. Připomeňme, že se po ide ln  plastick m nárazu pohybujícího se tělesa do stojícího tělesa obě tato tělesa pohybují stejnou rychlostí ve stejn m směru.

TAB. 1 Parametry re ln  kolize a simulace (ide ln  plastický ráz)

TABLE 1 Parameters of real collision and simulation (perfect plastic collision)

	Rychlost loko. před nárazem v_0 [km/h]	Rychlost obou vozidel po nárazu v_1 [km/h]	Kinetická en. loko. před nárazem E_{k0} [kJ]	Kinetická obou vozidel po nárazu E_{k1} [kJ]	Energie absorbovaná oběma vozidly E_a [kJ]
re�ln� kolize	62,0	17,0	9 491	2 607	6 884
simulace	50,0	13,7	6 173	1 696	4 477

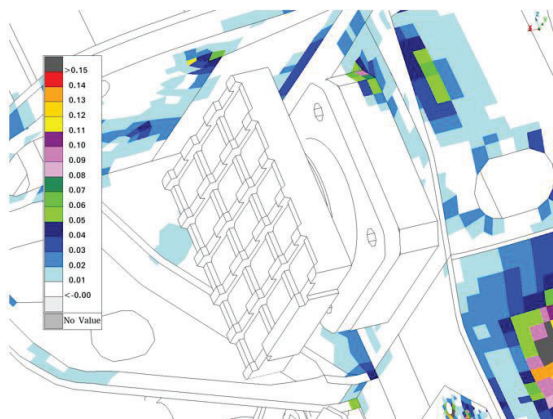
Z uvedených údajů je patrn e, že při simulaci bylo pohlceno cca o 35 % méně energie než při re ln  kolizi. Jak j   bylo výše naznačeno, tato energie připadá p edev  im na deformace a porušení  ast i konstrukce, které nejsou součastí modelu. Co se t  e jednotky, jedná se zejména o okenní skla, vnitřní a vnější obložení, zádržné tyče, mezivozov y přechod a ostatní vybavení včetně jeho upevnění. U lokomotivy se jedná p edev  im o je j agreg t y, kapoty a kabinu včetně je ch upevnění.



Obr. 4 Numerická simulace – časové průběhy energie

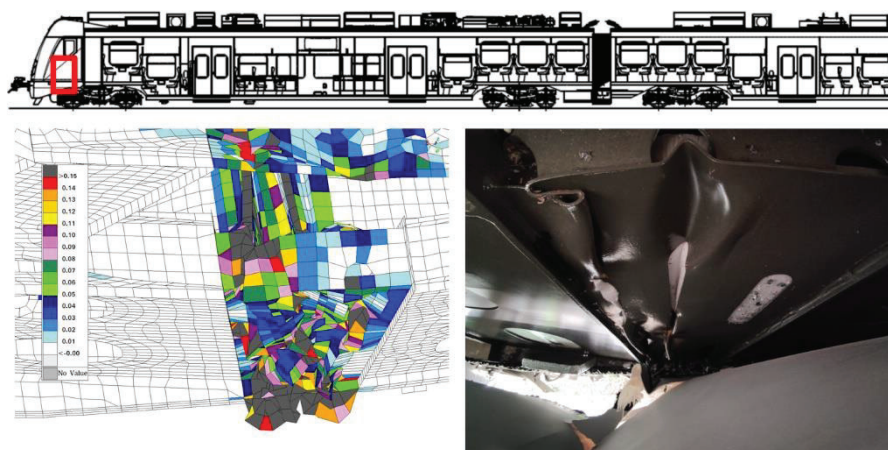
Fig. 4 Numerical simulation – time histories of energy

Na **obr. 4** jsou zobrazeny časové průběhy energií jako výsledek numerické simulace. Pro porovnání jsou uvedeny hodnoty energií pro ideálně plastický ráz. Je patrné, že se jak vnitřní, tak kinetická energie po nárazu blíží hodnotám pro zmíněný ideálně plastický ráz.



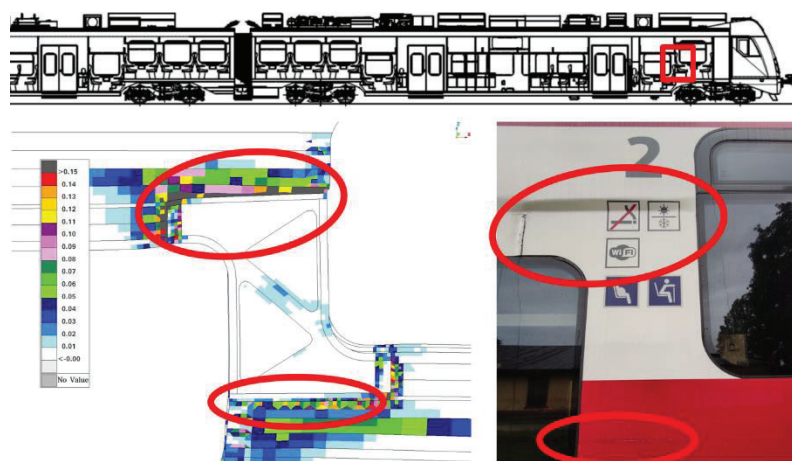
Obr. 5 Porovnání výsledků – plastické deformace – vyčerpání kapacity absorpčních členů

Fig. 5 Numerical simulation – plastic deformations – using up of absorbers capacity



Obr. 6 Numerick  simulace – plastick  deformace – deformační zóna kabiny

Fig. 6 Numerical simulation – plastic deformations – cab crumple zone



Obr. 7 Numerick  simulace – plastick  deformace – oblast výztuhy v bořnici

Fig. 7 Numerical simulation – plastic deformations – sidewall stiffener area

Na **obr. 5** ař **obr. 7** je uvedeno porovnání deformací hrub  stavby hlavového vozu jednotky, ke kter m dořlo během re ln  kolize s deformacemi, kter  jsou výsledkem numerick  simulace. Během kolize u jednotky dořlo k vyřerp n  absorpční kapacity řeln ch absorpčních řlen  (**obr. 5**) a prvého mezivozového spřáhla, dále dořlo k plastick m deformacím v oblasti deformační zóny kabiny (**obr. 6**), v oblasti výztuh bořnice (**obr. 7**), v oblasti některých okenních rohů v oblasti změn v řky podélníku a k mnoha dalřm plastick m deformacím. V neposlední řadě pak dořlo i ke kontaktu konzol kabiny s prv n mi konci pod ln k  prvého podvozku, ke kontaktu smetadla přek řek s kolejí a ke vzájemnému kontaktu řelnic hlavového a vlořen ho vozu. Vřechny uveden  jevy bylo mořn  pozorovat jak na re ln  konstrukci, tak ve výsledcích simulací.

Na straně lokomotivy pak dořlo k ohnut  hlavního řamu a ke kontaktu pluhu s kolejí (realita i simulace). Lze předpokládat, ře dořlo i k dalřm plastick m deformacím a poruchám, např. v m stech upevn n  t řk ch celků a kabiny.

4 ZÁVĚR

Dle dostupných informací nastala reálná kolize při rychlosti 62 km/h. V rámci numerické simulace byl v případě jednotky zanedbán vliv obložení kabiny, oken, prvků interiéru, mezivozových přechodů a setrvačnost rotačních hmot. U lokomotivy pak byl zanedbán především vliv plastických deformací a porušení v oblasti uchycení agregátů, kapot, pochozích plechů apod. Z tohoto důvodu a z důvodu dalších výše uvedených zjednodušení byla kolizní rychlost snížena na 50 km/h.

Srovnání výsledků numerické simulace a reálně pozorovaných následků nehody ukazuje, že:

- v obou případech došlo k vyčerpání zdvihu stranových absorpčních členů a mezivozového spřáhla,
- místa s významnou plastickou deformací, popř. místa vzniku trhlin si odpovídají,
- místa kde došlo ke kontaktu (jednotka: kabina-podvozek, mezivozové rozhraní, smetadlo-kolej; lokomotiva: pluh-kolej) si rovněž odpovídají,
- v místě mezivozového přechodu jsou pozorovány rozdíly, které jsou způsobeny tím, že k reálné kolizi došlo v oblouku a v simulacích není zohledněn vliv konstrukce mezivozového přechodu.

Na základě provedeného porovnání je patrné, že použitý simulační model je schopen dobře popsat následky skutečné srážky, přičemž nezohledněné vybavení vozidel ve skutečnosti způsobuje zvýšení jejich absorpční kapacity.

Nehoda si vyžádala 74 zraněných ale žádné úmrtí. Bez přítomnosti absorpčního systému na jednotce by byly následky nehody mnohem horší.

Literatura

[1] ČSN EN 15227: Železniční aplikace - Požadavky na odolnost skříní železničních vozidel proti nárazu, 2021. [2] TSI LOC & PAS.: NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1302/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob železničního systému v Evropské unii. [3] VDV-Schrift 152: Empfehlungen für die Festigkeitsauslegung von Personenzugfahrzeugen nach BOSTrab, 04/2015



Resumé

Byla provedena numerická simulace reálné kolize lokomotivy ř. 742 s EMU 14Ev Škoda, ke které došlo dne 3. 6. 2022 na Slovensku v mezistaničním úseku Vrútky - Varín. Na základě provedeného porovnání výsledků numerické simulace s reálnými následky nehody je možné konstatovat, že použitý simulační model je schopen dobře popsat následky skutečné srážky, přičemž zanedbání vlivu vybavení vozidel znamená, že ve skutečnosti mají vyšší absorpční kapacitu.

Summary

A numerical simulation of a real collision of locomotive class 742 with EMU 14Ev Škoda, which occurred on 3 June 2022 in Slovakia on the railway section Vrútky - Varín, was carried out. Based on the comparison of the results of the numerical simulation with the real consequences of the accident, it can be concluded that the simulation model used is able to predict well the consequences of the real collision, while the omitting of equipment influence of the vehicles means, that they have bigger absorption capacity in reality.