



# KOMPARATÍVNA ANALÝZA VPLYVU VÝŠKY ZÁBRADLIA NA PRIEBEH FORENZNE RELEVANTNÉHO DEJA PÁDU Z VÝŠKY

## COMPARATIVE ANALYSIS OF GUARDRAIL HEIGHT ON FORENSICALLY RELEVANT EVENTS OF FALL FROM HEIGHT

EDUARD KOLLA, VERONIKA ADAMOVÁ, LUKÁŠ SZABO

**ABSTRACT:** *The article presents a quantitative biomechanical reconstruction and analysis of a forensically relevant event—a fall of a human subject from height—and a comparative analysis of guardrail height in such incidents. The reconstruction was conducted using the multibody module of PC-Crash simulation software within a 3D model of the technically relevant parts of the building, created from a 3D point cloud of the site. The results of the analysis suggest that the height of the guardrail may have influenced the course of the event, even though the guardrail height met legislative specifications for the given balcony parameters.*

**KEYWORDS:** *Fall from height. Biomechanics. Simulation. PC-Crash. Multibody. Guardrail.*

### ÚVOD

Forezná rekonštrukcia pádu ľudského subjektu z výšky predstavuje náročnú interdisciplinárnu problematiku, v rámci ktorej je potrebná syntéza viacerých expertných prístupov: súdne inžinierstvo, kriminalistika, biomechanické modelovanie, numerické výpočty, súdne lekárstvo, 3D meranie, apod. Z používaných postupov riešenia tejto problematiky umožňuje numerické simulovanie pádu v metricky presnom virtuálnom prostredí miesta činu realizáciu presnej a ekonomicky efektívnej rekonštrukcie tohto deja s možnosťou parametrického posúdenia viacerých technicky prijateľných variantov. Za predpokladu, že rekonštrukcia tohto forenzne relevantného deja je zrealizovaná metodicky správne (t.j. s biomechanicky verným modelom ľudského tela, v presnom virtuálnom modeli polohopisu miesta činu a pri dosiahnutí korešpondencie zadokumentovaných stôp s dynamikou pádu) je následne možné tieto výsledky použiť v rámci následných expertných posúdení, napr. pri verifikácii dodržania legislatívnych parametrov realizácie stavby, prípadne pri návrhu nápravných opatrení.

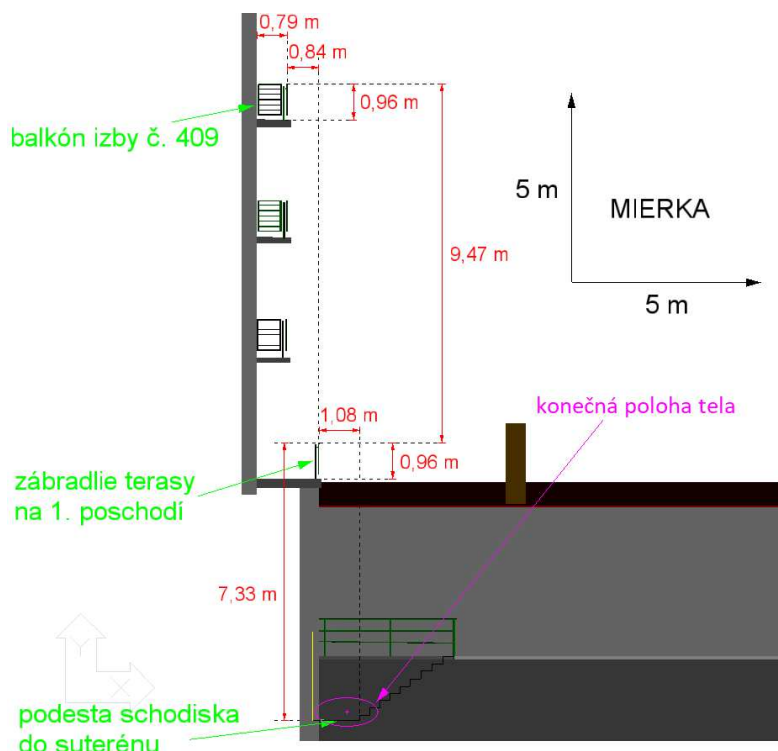
V predložennom článku je pozornosť zameraná na kvantitatívnu biomechanickú rekonštrukciu a analýzu forenzne relevantnej udalosti – pádu ľudského subjektu z balkóna hotelovej izby a na komparatívnu analýzu výšky zábradlia na tejto udalosti. Prvá kapitola popisuje východiskové podklady, v ktorej sa čitateľ dozvedá o základných podmienkach pádu a parametroch obete pádu. Druhá kapitola popisuje legislatívne požiadavky kladené na výšku zábradlia. Tretia kapitola popisuje metodický postup spracovania problému a jeho výsledky. Rekonštrukcia pádu z výšky bola v tomto prípade realizovaná pomocou viactelesového modulu simulačného softvéru PC-Crash v rámci 3D modelu technicky relevantných častí budovy modelovaného z 3D mračna bodov miesta.

### 1. VÝCHODZIE PODKLADY

Základné parametre riešeného forenzne relevantného deja boli uvedené v (Kolla, Adamová, 2023):

- Došlo k pádu ľudského subjektu ženského pohlavia (vek 28 rokov, telesná výška 1,7 m, hmotnosť 60 kg) z balkóna izby hotela na 4. poschodí.
- Telo poškodenej bolo zadokumentované v jeho konečnej polohe pod balkónom hotela na schodisku do pivničných priestorov.
- Poškodená utrpela zranenia nezlučiteľné so životom najmä v oblasti drieku a hlavovej oblasti, pričom jej pri alkoholickom vyšetrení bola zistená prítomnosť etanolu v krvi v koncentrácii 2,73 g/kg a vo vzorke moču v koncentrácii 4,33 g/kg.

Okrem konečnej polohy tela poškodenej a jej zranení bolo zadokumentované aj poškodenie zábradlia na terase hotela na 1. poschodí. 3D dokumentácia miesta činu a vytvorenie virtuálneho modelu miesta činu ako aj konštrukcia biomechanicky verného modelu tela poškodenej bolo uvedené v (Kolla, Adamová, 2023). Pri dokumentácii miesta činu bola zistená výška zábradlia balkóna 0,96 m (obr. 1).



Obrázok 1 Bočný pohľad na výškové parametre polohopisu miesta činu (Kolla, Adamová, 2023)

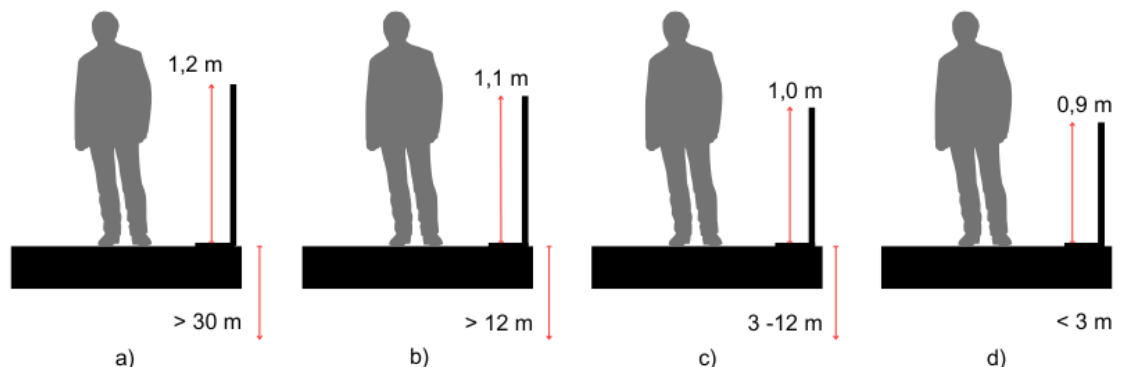
## 2. LEGISLATÍVNE POŽIADAVKY NA VÝŠKU ZÁBRADLIA

Podľa Vyhlášky 532/2002 Z. z. (Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o všeobecných technických požiadavkách na výstavbu a o všeobecných technických požiadavkách na stavby užívané osobami s obmedzenou schopnosťou pohybu a orientácie) sa každá pochôdzna plocha stavby, kde je nebezpečenstvo pádu osôb a ku ktorej je možný prístup osôb, musí zabezpečiť ochranným zábradlím, prípadne inou zábranou, ktorá musí bezpečne odolávať zaťaženiu pôsobiacemu vo vodorovnom aj zvislom smere. Zriadenie zábradlí sa má realizovať v súlade so slovenskými technickými normami v závislosti od zatriedenia pochôdznej plochy. Ide o nasledujúce normy:

- STN 74 3305: 2014, Ochranné zábradlia - Táto norma sa vzťahuje na navrhovanie a výrobu ochranných zábradlí, ktoré sú trvalou súčasťou pozemných stavieb, a to vrátane premiestniteľných zábradlí (ďalej len „zábradlia“). Norma sa vzťahuje aj na parapety a steny, ktoré plnia funkciu zábrany proti neúmyselnému pádu, a sú zhotovené zo skla. Vzťahuje sa na nové stavby a na zmeny stavieb v zmysle zvláštnych prepisov . V prípade nehnuteľných kultúrnych pamiatok platí táto norma, len ak jej dodržanie nespôsobí zníženie pamiatkovej hodnoty pri súčasnom dodržaní bezpečnosti a ochrany zdravia. Na zhotovovanie a umiestňovanie zábradlí na mostných objektoch a oporných múroch platí STN 73 6201, na pozemných komunikáciách STN 73 6101 a STN 73 6110, na autobusových, trolejbusových a električkových zastávkach, prestupných uzloch a stanoviskách STN 73 6425. Norma sa nevzťahuje na zábradlia komínových lávok (platí STN 73 4201), držadlá pohyblivých schodov alebo chodníkov a na zábradlia na plavidlách (STN EN 711) a na strojných zariadeniach (STN EN ISO 14122-3).
- STN EN 13374+A1 Dočasné bočné ochranné a záchytné systémy. Špecifikácia výrobku a skúšobné metódy.

Vyhláška 532/2002 Z. z. ďalej ustanovuje, že najmenšia dovolená výška zábradlia vrátane držadla môže byť:

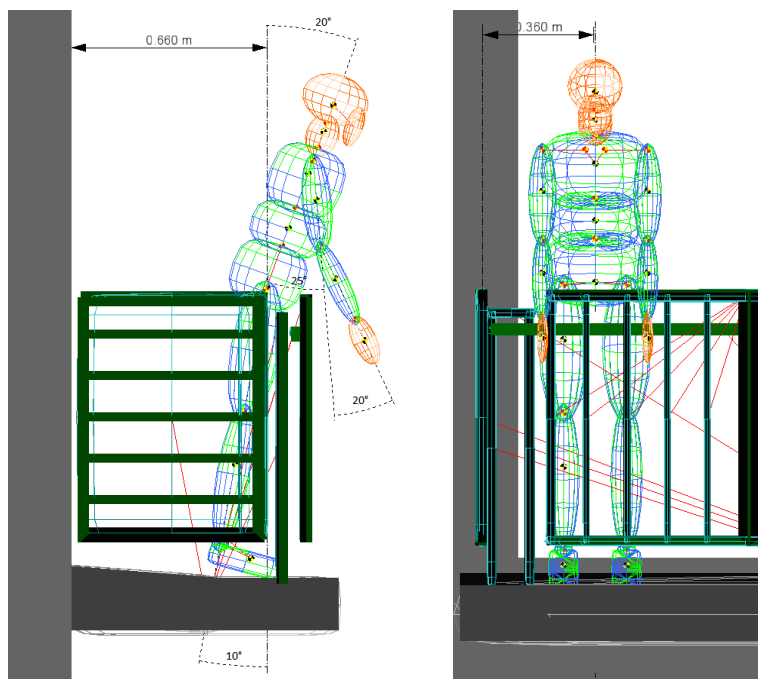
- **základná - 1 000 mm** vo všetkých prípadoch, keď nie je predpísaná väčšia výška alebo dovolená znížená výška (obr. 2 d)),
- **znížená - 900 mm**, ak je hĺbka voľného priestoru najviac 3 m (obr. 2 c)),
- **zvýšená - 1 100 mm**, ak (obr. 2 b)): a) hĺbka voľného priestoru je väčšia ako 12 m, b) pochôdzna plocha sa vo vzdialenosti menšej ako 1 m zvažuje k voľnému okraju sklonom väčším ako 10 % alebo stupňovito, bez ohľadu na hĺbku voľného priestoru, ak nie je potrebné použiť zábradlie zvláštnej výšky, c) vo voľnom priestore je ohrozenie látkami škodlivými zdraviu,
- **zvláštna - 1 200 mm**, ak je hĺbka voľného priestoru väčšia ako 30 m (obr. 2 a)).



Obrázok 2 Výška zábradlia – a) zvláštna (1,2 m), b) zvýšená (1,1 m), c) základná (1 m) a d) znížená (0,9 m)

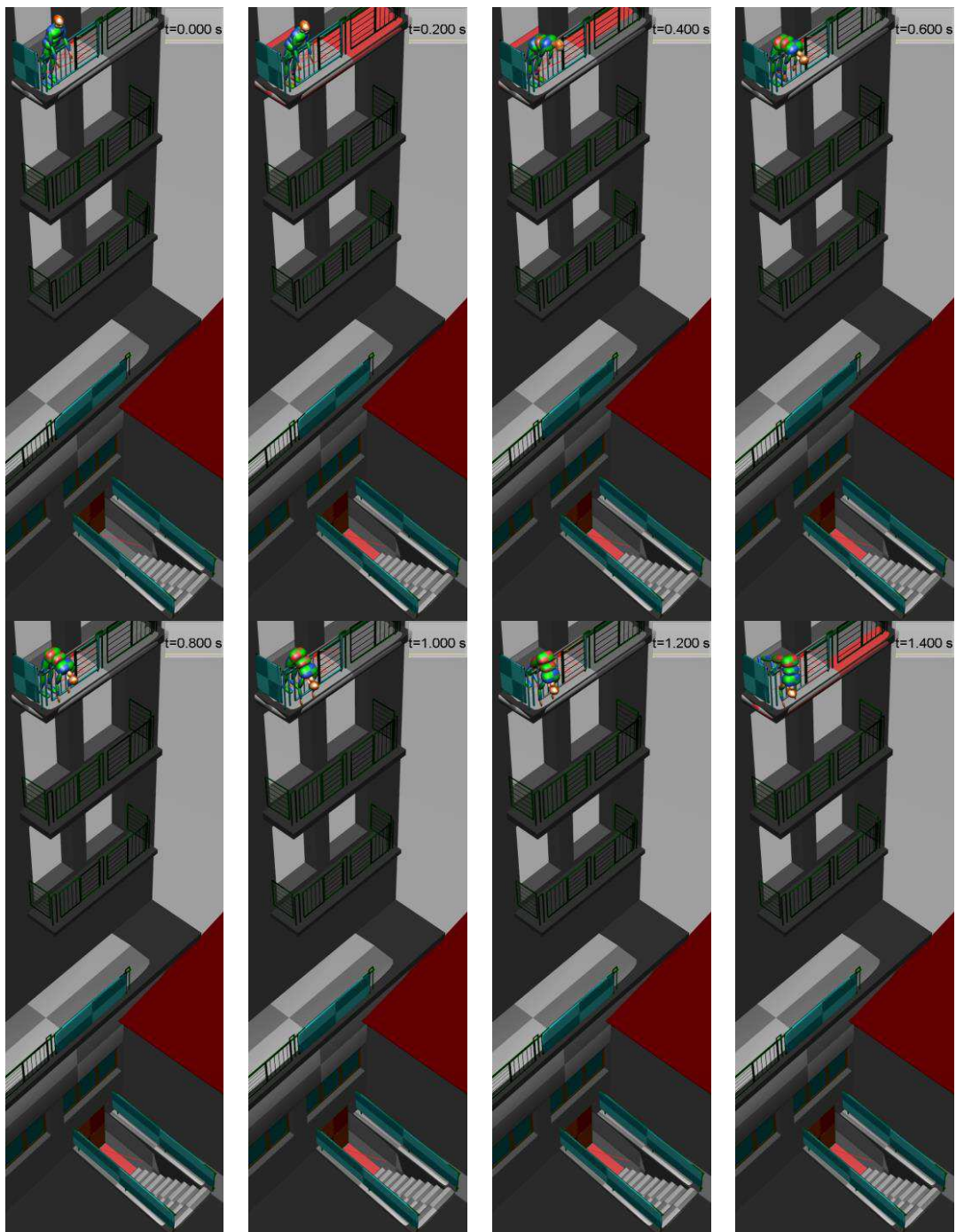
### 3. METODIKA A VÝSLEDKY REKONŠTRUKCIE PÁDU

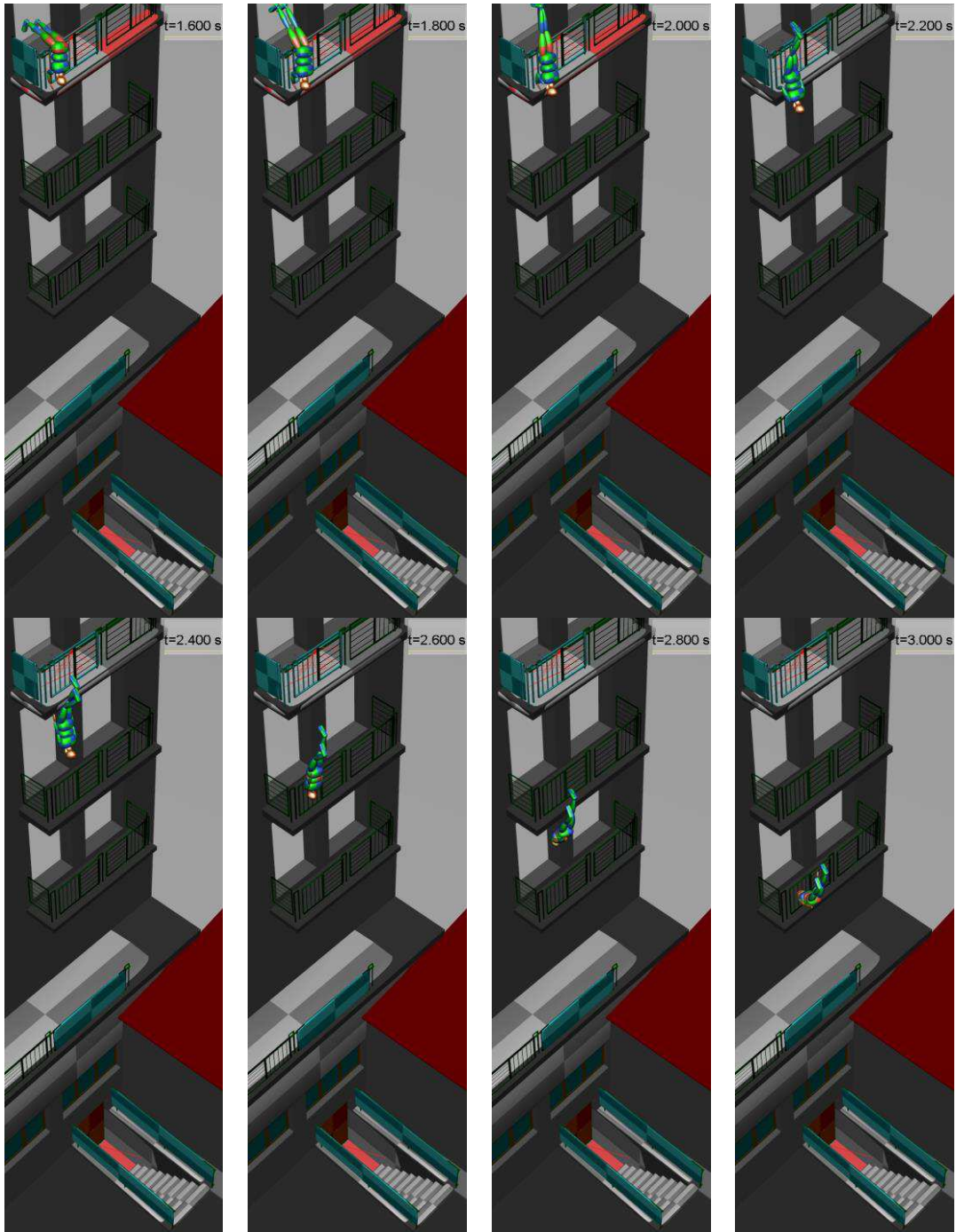
Pre výpočet pohybu modelu tela poškodenej bol použitý viactelesový modul simulačného programu PC-Crash 15.0. Bližší popis modulu je uvedený v (PC-Crash 15.0). Simulačná rekonštrukcia pádu bola zrealizovaná iteratívnym a parametrickým spôsobom do dosiahnutia zhody korešpondencie stôp. Dĺžka integračného kroku výpočtu bola 0,1 ms. Geometrické okrajové parametre finálneho výsledku sú zobrazené na obr 3.

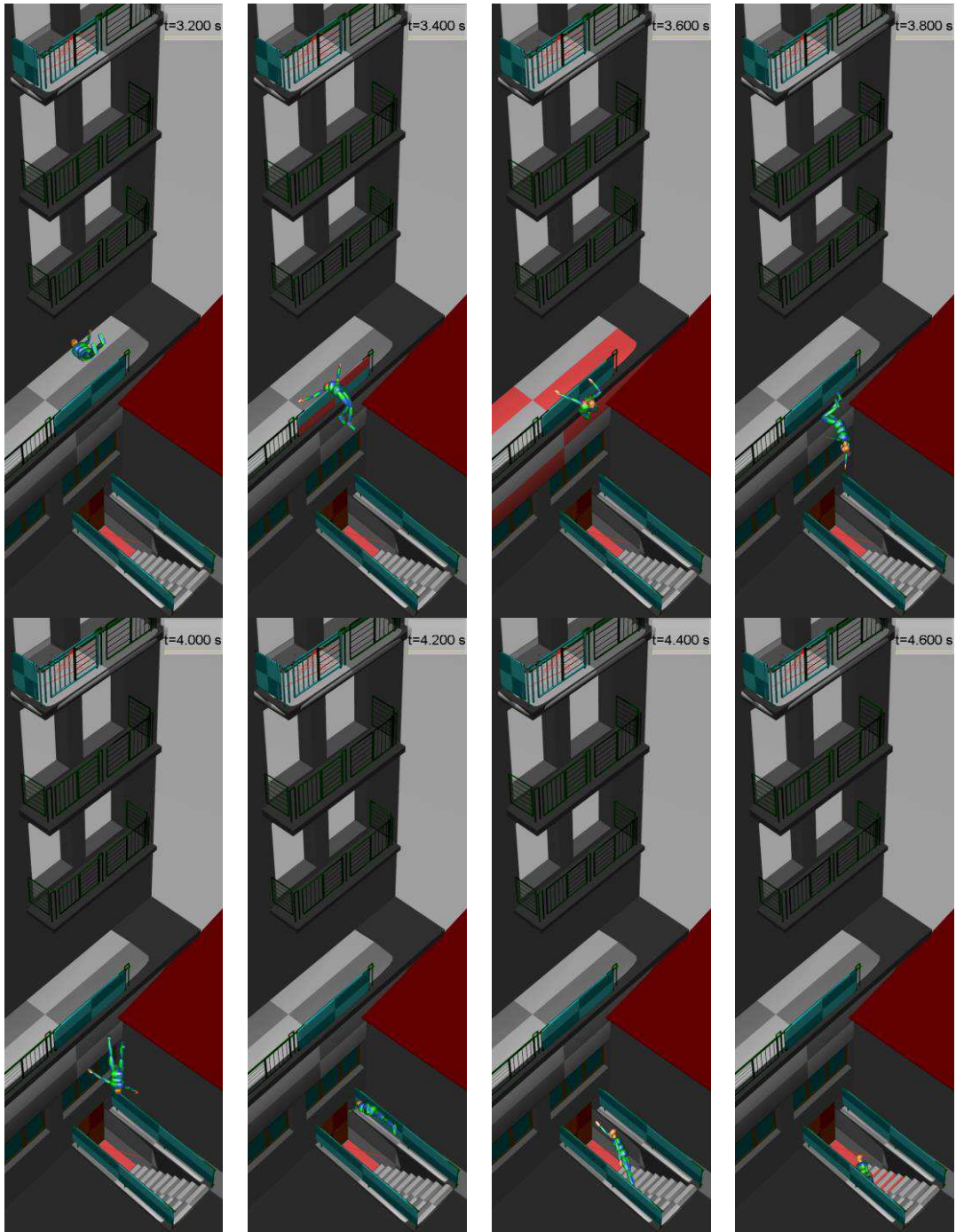


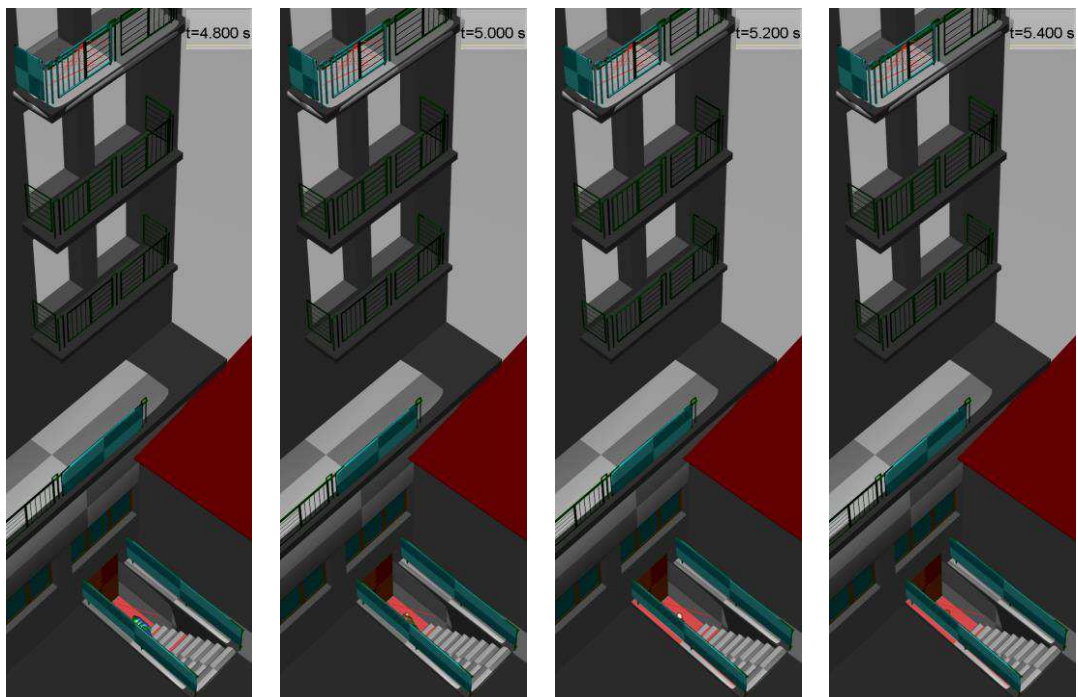
Obrázok 3 Pohľad na polohu modelu tela poškodenej na začiatku simulácie sprava (vľavo) a spredu (vpravo)

Na nasledujúcich obrázkoch je znázornený priestorový pohľad na simulačný výpočet pádu modelu tela poškodenej v časovom kroku 0,2 s (postupnosť je zľava doprava a zhora nadol).

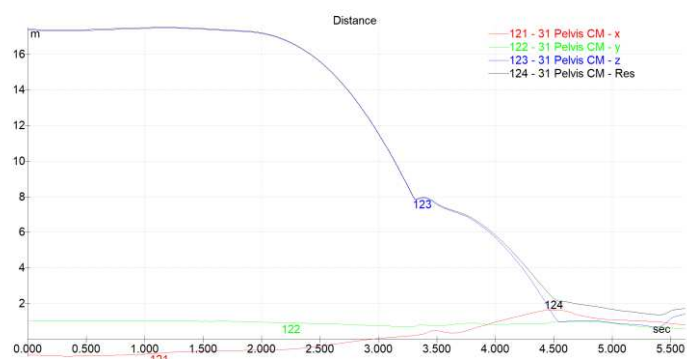




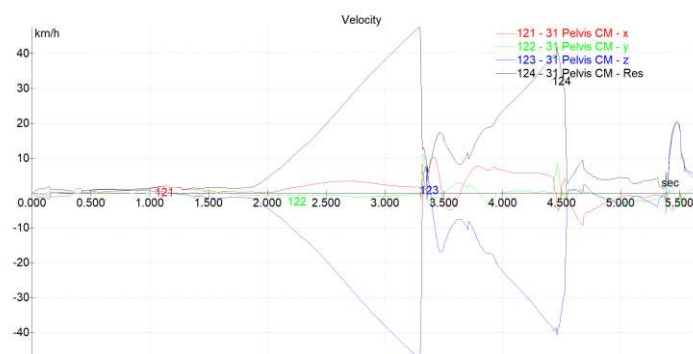




Obrázok 4 Priestorový pohľad na simulačný výpočet pádu modelu poškodenej v časovom kroku 0,2 s  
 Na nasledujúcich obrázkoch je znázornený graf dráha – čas a rýchlosť čas pre ťažisko panvy modelu tela poškodenej.



Obrázok 5 Graf dráha – čas pre ťažisko modelu tela poškodenej



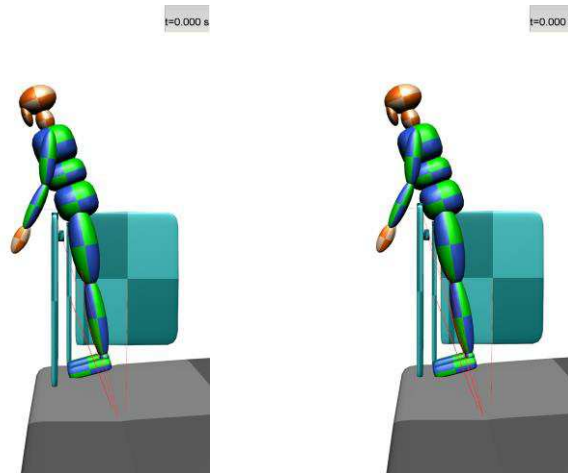
Obrázok 6 Graf rýchlosť – čas pre ťažisko modelu tela poškodenej

Na základe vykonanej rekonštrukcie je možné konštatovať nasledovné:

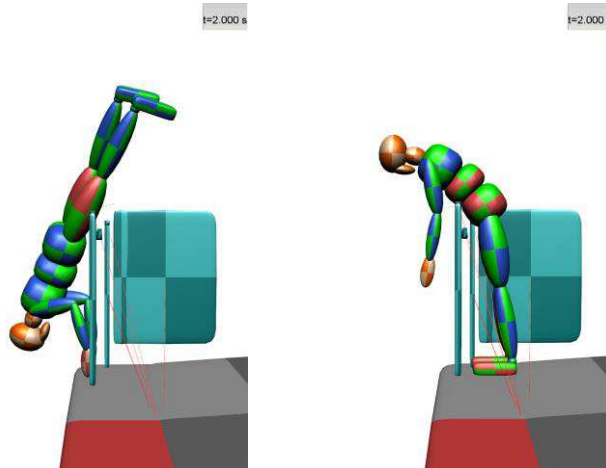
- K pádu tela došlo samovoľným spôsobom preklopením tela cez zábradlie dopredným spôsobom.
- Ťažisko tela (panvy) poškodenej prekonalo vo zvislom smere dráhu cca 16,7 m.
- Nárazová rýchlosť driekovej oblasti tela do zábradlia terasy bola cca 13,2 m/s (47,6 km/h).
- Pri náraze tela na zábradlie terasy došlo zmene (poklesu) rýchlosti pohybu tela, čo spôsobilo, že telo následne pri dopade na schodisko malo rýchlosť cca 11,1 m/s (40 km/h).

#### 4. VPLYV VÝŠKY ZÁBRADLIA NA PRIEBEH DEJA

Na základe vykonanej rekonštrukcie je možné konštatovať, že k prepadnutiu tela poškodenej došlo pri výške zábradlia 0,96 m, a teda by došlo aj k prepadnutiu tela pri výške zábradlia 0,9 m. Na nasledujúcich obrázkoch je znázornené simulačné porovnanie pohybu tela pri výške zábradlia 1 m s pohybom tela pri skutočnej výške zábradlia 0,96 m. Všetky ostatné parametre výpočtu ostali zachované.



Obrázok 7 Poloha tela na začiatku výpočtu: vľavo – výška zábradlia 0,96 m, vpravo – výška zábradlia 1 m



Obrázok 8 Poloha tela 2 s od začiatku výpočtu: vľavo – výška zábradlia 0,96 m, vpravo – výška zábradlia 1 m

Z vyššie uvedeného vyplýva, že ak by bola výška zábradlia 1 m a viac (t.j. 1,1 m a 1,2 m) tak by nedošlo pri zachovaní ostatných okrajových podmienok simulačného výpočtu k prepadnutiu modelu tela cez hranu zábradlia. V tejto súvislosti je však nutné uviesť, že rozdiel medzi skutočnou výškou zábradlia (0,96 m) a legislatívne stanovenou výškou zábradlia (1 m) je malý a vzhľadom na podmienenosť simulačného výpočtu a tolerance vstupných parametrov tohto výpočtu nie je možné vylúčiť, že by k pádu došlo aj pri dodržaní legislatívne stanovenej výšky zábradlia.

## ZÁVER

Zo zrealizovanej analýzy je zrejmé nasledovné:

- Je technicky prijateľné a pravdepodobné, že k pádu tela poškodenej došlo samovoľným spôsobom prepadnutím tela dopredným spôsobom cez hornú hranu zábradlia balkóna.
- Výška zábradlia balkónu 0,96 m nebola pre danú budovu v súlade s legislatívou, výška zábradlia by v danom prípade mala byť najmenej 1 m.
- Vzhľadom na malý rozdiel medzi skutočnou výškou zábradlia (0,96 m) a legislatívne predpísanou výškou zábradlia (1 m) nie je možné z technického hľadiska jednoznačne konštatovať, že by nedošlo k pádu poškodenej pri legislatívne predpísanej výške zábradlia.
- Daná výška zábradlia je však z hľadiska technického pre značnú časť populácie na úrovni výšky ťažiska tela - čo je z hľadiska možného prepadnutia tela cez os rotácie (horná hrana zábradlia) podstatné. Rozmery poškodenej (výška 1,7 m; hmotnosť 60 kg) sú napr. menšie ako telesné parametre 50%ilu mužskej populácie Slovenskej republiky, t.j. je možné konštatovať, že pre viac ako polovicu mužskej populácie by výška zábradlia legislatívne definovaná pre danú stavbu nebola z technického hľadiska bezpečná.

## POĎAKOVANIE

*Tento príspevok bol podporený Agentúrou pre podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0626. Tento príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-20-0626: Biomechanicky verná náhrada ľudského tela pre zvýšenie objektivity forenzy cestných dopravných nehôd.*

*This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under contract no. APVV-20-0626. This work was created within the project APVV-20-0626: Biofidelic human body surrogate to increase the objectivity within the forensic analysis of road traffic accidents.*

## LITERATÚRA

- Kolla E., Adamová, V. (2023). 3D modelovanie pre potreby simulačnej rekonštrukcie pádu ľudského subjektu z výšky. In Krízový manažment, 22(2), s. 55-63.
- PC-Crash 15.0, operačný a technický manuál, DSD, Linz, Rakúsko, 2024.
- STN EN ISO 14122-3 Bezpečnosť strojov. Stabilné prostriedky na prístup k strojom Časť 3 Schody, rebríky a ochranné zábradlia (ISO 14122-3: 2016).
- STN EN 13374+A1 Dočasné bočné ochranné a záchytné systémy.
- STN EN 711 Lode vnútrozemskej plavby. Palubné zábradlia a zábradlia na nástupné lávky. Požiadavky, typy a modely.
- STN 73 4201 Rekonštrukcie a opravy komínov a dymovodov. Spoločné ustanovenia.
- STN 73 6110 Projektovanie miestnych ciest.
- STN 73 6101 Projektovanie diaľnic.
- STN 73 6201 Projektovanie mostných objektov.
- STN 74 3305: 2014 Ochranné zábradlia.
- Vyhláška MŽP SR 532/2002 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o všeobecných technických požiadavkách na výstavbu a o všeobecných technických požiadavkách na stavby užívané osobami s obmedzenou schopnosťou pohybu a orientácie.

---

### **Eduard Kolla, doc. Ing. PhD.**

Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26

e-mail: kolla@uniza.sk

### **Veronika Adamová, Ing. PhD.**

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26

e-mail: veronika.adamova@uniza.sk

### **Lukáš Szabo, Ing.**

Školská 26/39, 955 01 Nemčice

e-mail: lukas.szabo9702@gmail.com

---