



## VYUŽITIE NOVÝCH TECHNOLOGIÍ PRI MONITOROVANÍ KRITICKEJ INFRAŠTRUKTÚRY

### USING ADVANCED TECHNOLOGIES IN CRITICAL STRUCTURE MONITORING

MICHAL MIŠKE, LUCIA FIGULI, ZDENĚK DVOŘÁK

**ABSTRACT:** *In an era marked by rapid technological advancements, the assessment of critical infrastructure resilience has also entered a new age. The incorporation of cutting-edge technologies into the evaluation process has revolutionized how we gauge the capacity of critical structures to withstand and recover from various threats, including natural disasters, cyberattacks, and other unforeseen disruptions. This transformation is of paramount importance, given the essential role that critical infrastructure plays in supporting modern societies. These technologies enable a multifaceted approach to resilience assessment, providing a more comprehensive and accurate understanding of vulnerabilities and potential points of failure. One of the primary advantages of these technologies is their ability to process vast amounts of data in real-time. Furthermore, simulations and modelling, powered by these technologies, offer a virtual testing ground for assessing resilience. Engineers and planners can simulate various crisis scenarios, evaluating the infrastructure's ability to withstand and recover from extreme conditions. This virtual experimentation enables the development of more effective contingency plans and investment strategies to enhance resilience. These tools empower decision-makers to make informed choices, reduce vulnerabilities, and improve the resilience of critical infrastructure.*

**KEYWORDS:** *Critical infrastructure. Resilience. Advanced technologies. Assessment.*

#### ÚVOD

Problematika ochrany významných infraštruktúrnych objektov sprevádza všetky vojenské konflikty. Preto v minulosti boli pre potreby obrany Slovenskej republiky definovaný Zákon 319/2002 Z.z. o obrane Slovenskej republiky. Uvedený zákon definuje objekty osobitnej dôležitosti a ďalšie dôležité objekty. (Zákon 319/2002 Z.z). V prvej dekáde 21. storočia v Európe, Spojených štátoch amerických a v Austrálii sa začala kreovať agenda obrany a ochrany kritickej infraštruktúry. Celý proces vyvrcholil vydaním Smernice 2008/114/ES o identifikácii a označení európskych kritických infraštruktúr a zhodnotení potreby zlepšiť ich ochranu (Smernica 2008/114). Uvedená smernica bola východiskovým dokumentom pre vznik Zákona 45/2011 Z.z. o kritickej infraštruktúre (Zákon 45/2011). Druhá dekáda 21. storočia potvrdila význam ochrany kritických infraštruktúr. Okolo roku 2016 sa však vo vedecko odborných kruhoch objavil pojem resiliencie (odolnosť) kritických infraštruktúr. V rámci projektu bezpečnostného výskumu Českej republiky bola vytvorená certifikovaná metodika zameraná na resilienciu (robustnosť, obnoviteľnosť a adaptabilitu). Táto metodika bola viacnásobne testovaná a verifikovaná v praxi (CIERA, 2018). V dobe vyznačujúcej sa rýchlym technologickým pokrokom sa aj hodnotenie odolnosti kritickej infraštruktúry dostalo do novej éry. Po roku 2020 bola naštartovaná odborná diskusia, ktorá smerovala ku zmene prístupu a dnes je cieľom posilňovať resilienciu kritických subjektov, pozri Smernicu 2557/2022 o odolnosti kritických subjektov (Smernica 2557/2022).

Začlenenie špičkových technológií do hodnotiaceho procesu zásadným spôsobom mení spôsob, akým posudzujeme schopnosť kritických prvkov a subjektov odolať a zotaviť sa z rôznych hrozieb, vrátane prírodných katastrof, kybernetických útokov a ďalších neočakávaných javov. Táto transformácia je nesmierne dôležitá vzhľadom na kľúčovú úlohu, ktorú kritická infraštruktúra zohráva pri podpore moderných spoločností. Adaptácia pokročilých technológií, ako sú napríklad analýza veľkých dát, adaptácia umelej inteligencie (AI) a Internetu vecí (IoT), umožnila odborníkom a posudzovateľom hlbšie preniknúť do zložitostí systémov kritickej infraštruktúry. Tieto technológie umožňujú komplexný prístup k hodnoteniu odolnosti, poskytujúci komplexnejšie a presnejšie pochopenie zraniteľností a potenciálnych slabých miest, ktoré sú náchylné na zlyhania. Jedným z hlavných benefitov týchto technológií je ich schopnosť spracovávať obrovské množstvo dát v reálnom čase. Analýza veľkých dát

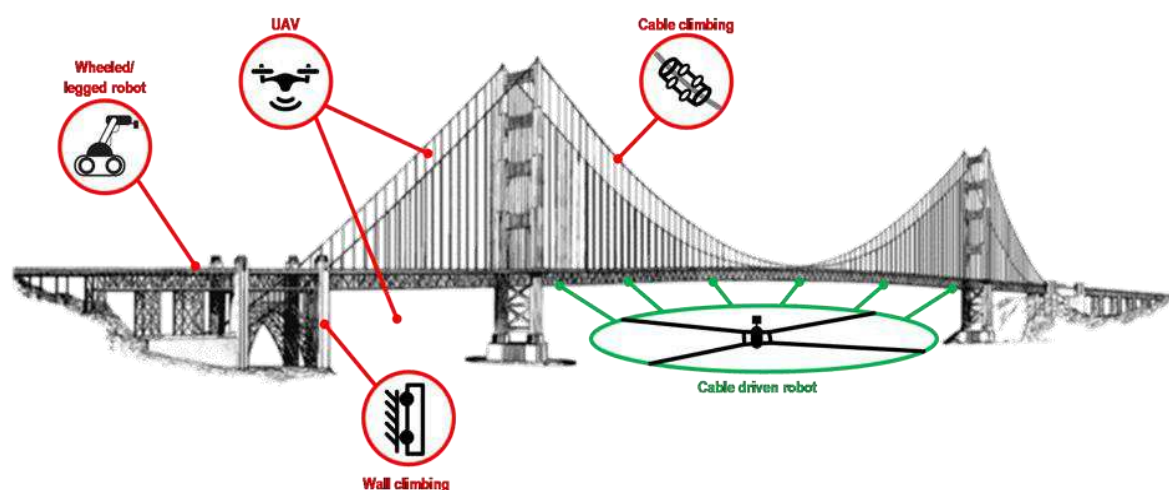
môže zbierať a analyzovať údaje z rôznych zdrojov, vrátane senzorov, vzdialených monitorovacích systémov a historických záznamov. Tento prístup riadený dátami poskytuje pohľad na výkon a zaťaženie kritickej infraštruktúry v reálnom čase a identifikuje odchýlky od stavu normálnej prevádzky a teda následne aj potenciálne odhaľuje zraniteľnosti. V projekte REMAKE-3D budú využité predovšetkým simulácie a modelovanie, ktoré ponúkajú virtuálny testovací priestor na hodnotenie resiliencie zvolených prvkov kritickej infraštruktúry. Inžinieri a plánovači tak môžu simulovať rôzne krízové scenáre a vyhodnocovať schopnosť infraštruktúry odolať a zotaviť sa z extrémnych podmienok. Toto virtuálne experimentovanie umožňuje vypracovanie efektívnejších plánov na zvládanie kríz alebo taktiež pripraviť stratégiu investovania s cieľom zvýšiť resilienciu. Vo svete charakterizovanom neustálym vývojom hrozieb je využívanie výhod týchto technológií zásadné pre ochranu stability a funkčnosti infraštruktúry, ktorá podporuje našu demokratickú spoločnosť. (Dvorak, 2021) (Figuli, 2023) (Daponte, 2023)

## 1. AKTUÁLNY STAV SKÚMANEJ PROBLEMATIKY

Po mnohých prírodných katastrofách, ktoré sa nedávno odohrali napríklad v Taliansku, Grécku, či v Líbyi alebo antropogénnej činnosti, v dôsledku ktorej bola zničená napríklad Kachovská priehrada a iné, sa pojem kritickej infraštruktúry skloňuje vo svete čoraz viac. Svet túto tému rieši už dlhšie a v tejto oblasti existujú napríklad viaceré vedecké projekty smerované na posilňovanie odolnosti infraštruktúr:

- DESDEMONA (EU Research Fund for Coal and Steel), (DESEMONA, 2018)
- IRIS G5924 (NATO SPS), (IRIS, 2021)
- APRIORI G6140 (NATO SPS), (APRIORI, 2023)
- REMAKE 3D (APVV-22-0562), (REMAKE-3D, 2023)

Tieto projekty využívajú rôzne druhy pokrokových technológií akými sú napríklad: roboty, drony na skenovanie objektu kritickej infraštruktúry, ktoré vytvárajú tzv. digitálne dvojča, na ktorom následne je možné skúmať pôsobenie vonkajších vplyvov na daný objekt. Tento výstup z technológií môže byť využitý na rôzne numerické simulácie, vizualizáciu alebo len jednoducho na narábanie s novými dátami. V rámci nástrojov sa využívajú predovšetkým drony, káblové roboty, roboty schopné fungovať pod vodou na skenovanie objektu ak sa jeho časť nachádza vo vode (napr. piliere mostov), zobrazenie využitia je na obrázku 1, a samozrejme 3D skenery (IRIS, 2023). Cieľom všetkých spomenutých projektov je samozrejme zvyšovanie úrovne bezpečnosti a resiliencie kritickej infraštruktúry, ktorú Řehák a spol. v Metodike hodnotenia resiliencie prvkov kritickej infraštruktúry (CIERA, 2023) definujú ako vnútornú pripravenosť systému na nežiadúce udalosti, resp. ide o schopnosť týchto subsystémov zaistiť udržateľnosť svojich funkcií pri pôsobení negatívnych vonkajších alebo vnútorných faktorov.



Obrázok 1 Ukážka použitia rôznych robotických zariadení (IRIS, 2021)

V týchto projektoch bola a je Fakulta bezpečnostného inžinierstva UNIZA aktívnym partnerom, spolupracujúcim s viacerými ďalšími subjektmi nielen na Slovensku, ale aj v zahraničí. Projekt IRIS,

ktorý je financovaný SPS NATO, je zameraný taktiež na vytváranie digitálnych dvojčiek a jeho hlavnými cieľmi sú (IRIS, 2023):

- Vývoj nových technológií na plné automatizovanie využitia robotizovaných systémov a senzorových sietí pri získavaní údajov pre prieskum, kontrolu a monitorovanie,
- interakcia medzi získavaním údajov a ich ukladaním je riadená vytvorením pokročilých modelov, ktoré predstavujú digitálne dvojčky infraštruktúry aktualizované v reálnom čase,
- pre nepretržité nedeštruktívne hodnotenie infraštruktúry sa využíva integrácia rôznych informácií, tzv. proces fúzie údajov, s cieľom vytvoriť výkonné digitálne modely poskytujúce komplexný a realistický opis preskúmaného zariadenia počas jeho životného cyklu, aj po výskytu katastrofy,
- údaje a modely tvoria základ pre identifikáciu a popis defektov a degradácie, najmä s ohľadom na stanovenie možného zníženia výkonnosti existujúcich štruktúr,
- súhrne získané poznatky, riadne spravované, tvoria vstup pre automatizované alebo čiastočne automatizované procesy rozhodovania, ktoré sú užitočné pri riadení zariadení a infraštruktúry.

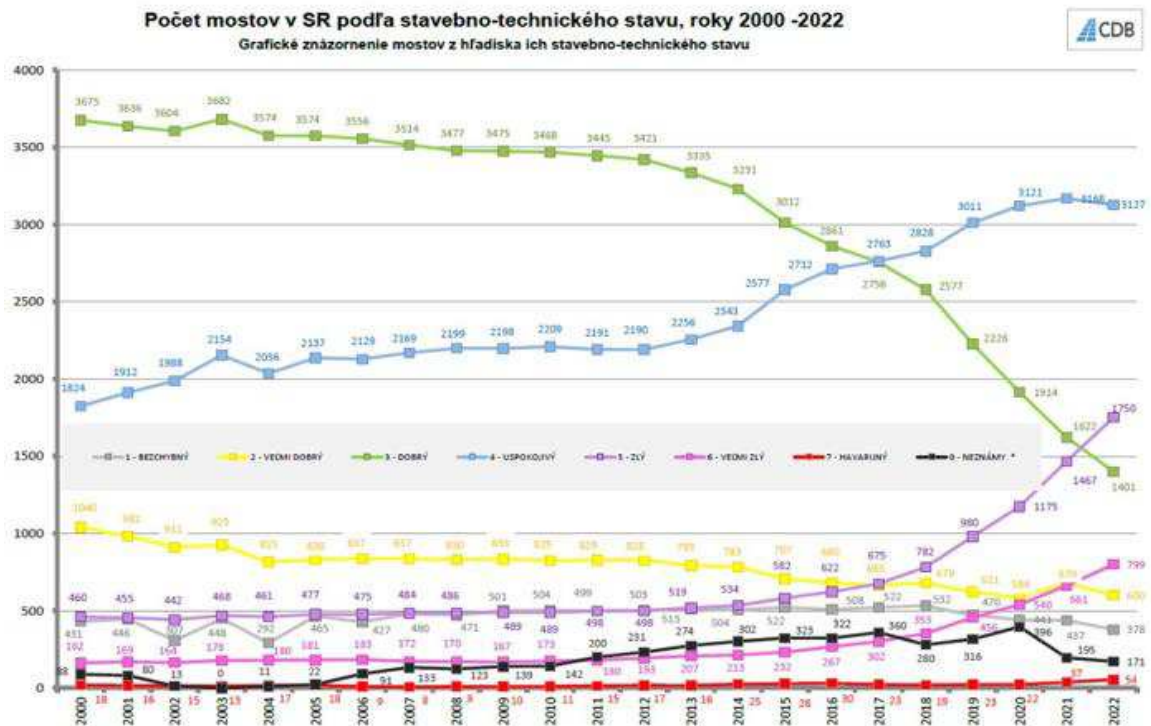
## 2. PROJEKT REMAKE-3D

Participácia na výskumných medzinárodných projektoch nás motivovala v roku 2022 pripraviť návrh národného výskumného projektu aplikovaného výskumu v Agentúre na podporu výskumu a vývoja (ďalej APVV). Projekt bol schválený a finančne podporený. Hlavným cieľom projektu REMAKE-3D je skúmať a analyzovať kritickú infraštruktúru v blízkosti mesta Púchov. V rámci tohto projektu sa využijú rôzne špičkové technické zariadenia. Získané snímky (digitálne údaje) budú následne použité pri vytváraní digitálnych dvojčiek týchto infraštruktúrnych objektov. Na obrázku 2 sú zobrazené konkrétne časti kritickej infraštruktúry, ktoré budú riešené a skenované v rámci tohto projektu, zahŕňajúc železničný most (časť a) a Nosickú priehradu (časť b). (REMAKE-3D)



Obrázok 2 Mapa a fotografická dokumentácia vybraných objektov (REMAKE-3D, 2023)

Vedeckým cieľom projektu je vývoj a overenie komplexného systému na hodnotenie odolnosti objektov kritickej infraštruktúry, s dôrazom na vyhodnocovanie ich schopnosti odolať rôznym hrozbám a bezpečnostným rizikám. Očakávaným výsledkom tohto projektu bude pilotná verzia informačného systému pre hodnotenie odolnosti s názvom AResIM (Area Resilience Information Modeling) a metodika na určenie úrovne odolnosti vybraných typov objektov v špecifickom území, ktorým je extravilán mesta Púchov. Užšie zameranie bude mať projekt prioritne na mostné stavby, ktoré sa nachádzajú na železničnej, ale aj na cestnej komunikácii. Vyplýva to predovšetkým z analýzy stavu mostov na Slovensku, pričom môžeme konštatovať, že viacero starších mostov na území Slovenskej republiky sa nachádza v havarijnom stave. Aktuálny stav mostných objektov v cestnej a železničnej doprave na Slovensku je alarmujúci. Dokazujú to nielen zrútené mosty v Slovenskej republike most v Trstenej ponad rieku Oravica (a), (most Spišská Nová Ves (b), most ponad rieku Turiec (c), most cez Hornád - obr. 3), ale aj alarmujúci stav mnohých ďalších mostných konštrukcií. V železničnej doprave je evidovaných 2301 mostných objektov s celkovou dĺžkou 51216 metrov. Priemerný vek železničných mostov je viac ako 60 rokov. Existujúce objekty je potrebné pravidelne kontrolovať, aby sa odhalili prípadné poškodenia a naplánovala sa potrebná údržba.

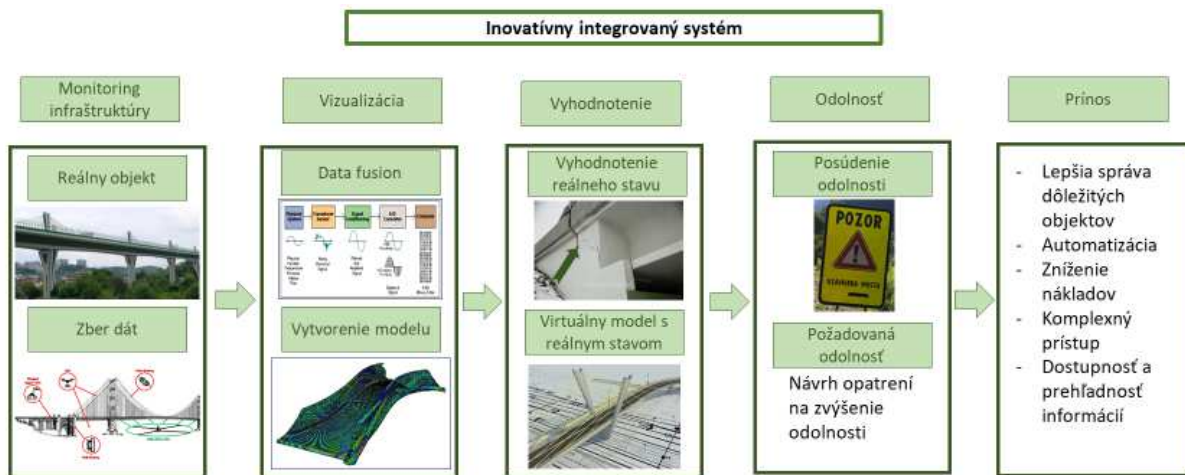


Obrázok 3 Zhoršujúci sa stav cestných mostov a príklady zrútenia mostov v SR: (REMAKE-3D, 2023)

Hlavný cieľ projektu bude dosiahnutý realizáciou čiastkových cieľov:

1. monitorovanie územia a zber údajov (3D skenovanie, diagnostika),
2. vytvorenie digitálneho priestorového modelu územia,
3. analýza a vyhodnotenie zozbieraných údajov,
4. vytvorenie databázy objektov (integrovateľný systém pre rôzne druhy kľúčových objektov),
5. posudzovanie odolnosti vybraných objektov v záujmovom území,
6. vytvorenia pilotného "Informačného modelu odolnosti územia",
7. návrh opatrení a odporúčaní pre využitie manažmentu životného cyklu.

Grafické vyjadrenie toho čo bude ponúkať nový informačný systém AResIM je na obrázku 4. Vytvorený systém bude pomáhať odborníkom vo verejnej správe na Slovensku. Tí by vďaka údajom z informačného systému mali byť schopní odborne reagovať na vzniknuté krízové javy. Včasnou reakciou, resp. prevenciou pred vznikom krízového javu, bude môcť byť spoločnosti poskytnutá vyššia komplexnosť a úroveň bezpečia v podmienkach Slovenskej republiky. Taktiež sa môže vďaka tomuto informačnému systému predísť väčším stratám na majetku alebo potrebe drahého rekonštruovania, či novej výstavby. Jedným z výstupov AresIM by mala byť aj funkcia, ktorá poukáže na potrebu zvýšenia odolnosti daného prvku.



Obrázok 4 Grafické znázornenie inovatívneho integrovaného systému zdroj: (REMAKE-3D, 2023)

### 3. ĎALŠIE SMEROVANIE PROJEKTU

Projekt REMAKE-3D bol schválený v roku 2023 a potreba takéhoto projektu je veľmi aktuálna ak sa zamyslíme nad tým, že v tretej dekáde 21. storočia sa v praxi stále využívajú zastarané technológie projektovania a asset manažmentu dôležitých objektov infraštruktúry. Aktuálny globálny trend sťahovania obyvateľstva do miest prináša celý rad výziev. Navyše to všetko komplikuje starnúca infraštruktúra. Z toho vyplýva, že moderná spoločnosť potrebuje rovnako moderné technológie, ktoré už boli vynájdené len ich treba zo zahraničia doniesť na Slovensko. Digitálne 3D modely napríklad využíva spoločnosť Bentley v rámci vodného hospodárstva v zahraničí. Práve začatý výskumný projekt prináša mnoho prínosov ako napríklad:

- väčšia precíznosť a detailnejšie digitálne údaje – tzn. zníženie počtu chýb,
- uľahčenie spolupráce – v reálnom čase môžu na danom prvku v online priestore pracovať viaceré osoby,
- lepšia predvídateľnosť nákladov – generuje nižšie náklady na zvýšenie odolnosti či obnovu,
- jednoduchšie odhalenie chýb vďaka 3D modelu – posudzovatelia okamžite vidia reálny stav a nedostatky,
- automatizácia procesov – šetrenie času,
- lepšie pochopenie a vizualizácia – využitie zobrazenia cez virtuálnu realitu alebo rozšírenú realitu, čo v konečnom dôsledku taktiež šetrí čas,
- bezpečnejšia preprava – zo strany technického zabezpečenia a využiteľnosti výsledný efekt zvýši úroveň bezpečia na cestách.

Význam tejto iniciatívy v rámci, ktorej Fakulta bezpečnostného inžinierstva spolupracuje s Fakultami riadenia a informatiky, Stavebnou fakultou UNIZA a taktiež kolektívom odborníkov z praxe v cestnej doprave. AResIM bude v konečnej fáze produkt pre jednotlivé štátne orgány verejnej správy, ktoré majú pôsobnosť na úseku kritickej infraštruktúry. Taktiež tento produkt môžu využívať orgány, ktoré spravujú cestné komunikácie, ako napríklad VÚC, Národná diaľničná spoločnosť, Slovenská správa ciest.

### ZÁVER

Výskumný projekt APVV REMAKE-3D je vo svojich začiatkoch a pripravuje originálny prístup k hodnoteniu resiliencie kritickej infraštruktúry v sektore doprava. Jeho hlavným cieľom je vytvorenie informačného systému, ktorý v sebe bude obsahovať výstupy z 3D modelovania, skenovania a snímania objektov kritickej infraštruktúry v extraviláne mesta Púchov. Na jednotlivých prvkoch bude testované aplikovanie nových technológií skrze modelovací softvér Building information modeling (BIM). Z výstupov bude následne vytvorený informačný systém AResIM a metodika hodnotenia resiliencie prvkov kritickej infraštruktúry. Tento nový prístup na území Slovenskej republiky bude prínosný predovšetkým pre verejnú správu a kritické subjekty, ktoré vo svojej pôsobnosti vykonávajú správu ciest na Slovensku. Ide o nový prístup a technológiu, ktorej úlohou je zjednodušenie v procese rozhodovania

sa na základe výstupov z 3D modelov, digitálnych dvojčiat prvkov kritickej infraštruktúry, ktoré poskytnú posudzovateľovi alebo prevádzkovateľovi, či zodpovednej osobe reálny stav o konkrétnom prvku kritickej infraštruktúry v sektore doprava. Účelom tohto projektu je zvýšenie resiliencie prvkov kritickej infraštruktúry a teda pozitívne ovplyvnenie bezpečnosti na území Slovenskej republiky.

## POĎAKOVANIE

*Tento článok bol pripravený v rámci podpory projektu APPV-22-0562 Posilnenie odolnosti kľúčových prvkov infraštruktúry využitím pokrokov v 3D modelovaní.*

## LITERATÚRA

- Daponte, P. et al. (2023). Monitoring and protection of critical infrastructure by unmanned systems. IOS Press, ISBN 978-1-64368-377-5, 238 p.
- De Vito, L. et al. (2023). Advanced technologies for Physical Resilience Of cRitical Infrastructures (APRIORI).
- Dvořák, Z. et al. (2023). Posilnenie odolnosti kľúčových prvkov infraštruktúry využitím pokrokov v 3D modelovaní (REMAKE-3D) <https://www.remake3d.fri.uniza.sk>.
- Dvořák, Z., Chovančíková, N., & Leitner, B., (2021). Practical Use of Drones for Energy Infrastructure Monitoring in Slovakia. In IOS Press, NATO Science for Peace and Security Series 2021: Modern Technologies Enabling Safe and Secure UAV Operation in Urban Airspace (pp. 32-46).
- Figuli, L. & Dvořák, Z. (2023). Threats on the Critical Infrastructure Elements. In Monitoring and protection of critical infrastructure by unmanned systems. ISBN 978-1-64368-377-5, 2023. p. 238.
- Gattuli, V. et al, (2018). DEtection of Steel Defects by Enhanced MONitoring and Automated procedure for self-inspection and maintenance (DESDEMONA), <https://www.desdemonaproject.eu/>.
- Gattuli, V. et al, (2021). Inspection, maintenance and security pursued by innovative Robots, enhanced data communication and Infrastructure digital twinS (IRIS). <https://www.irisnatoproject.eu>.
- Řehák, D. et al. (2018). Metodika hodnocení resiliencie prvku kritické infrastruktury. (CIERA).
- Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2557/2022 o odolnosti kritických subjektov.
- Smernica 2008/114/ES o identifikácii a označení európskych kritických infraštruktúr a zhodnotení potreby zlepšiť ich ochranu.
- Zákon 319/2002 Z. z. o obrane Slovenskej republiky.
- Zákon 45/2011 Z. z. o kritickej infraštruktúre.

---

### Michal Miške, Ing.

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina  
e-mail: [michal.miske@uniza.sk](mailto:michal.miske@uniza.sk)

### Lucia Figuli, doc. Ing., PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina  
e-mail: [lucia.figuli@uniza.sk](mailto:lucia.figuli@uniza.sk)

### Zdeněk Dvořák, prof. doc. Ing., PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina  
e-mail: [zdenek.dvorak@uniza.sk](mailto:zdenek.dvorak@uniza.sk)

---