



# ZÁKLADY METODOLÓGIE HODNOTENIA ODOLNOSTI DOPRAVNEJ INFRAŠTRUKTÚRY

## BASICS OF THE METHODOLOGY OFR ASSESSING THE RESILIENCE OF THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Katarína Hoterová<sup>1\*</sup>, Nikola Chovančíková<sup>1</sup>, Zdeněk Dvořák<sup>1</sup>

---

**Abstrakt** *Hodnotenie odolnosti dopravnej infraštruktúry je dôležitou súčasťou posudzovania rizík a neustáleho zvyšovania bezpečnosti hodnoteného prvku. Odolnosť je schopnosť prvku odolávať nepriaznivým javom, absorbovať ich a prispôbiť sa im. Existuje mnoho prístupov k hodnoteniu odolnosti. Tak ako v každej oblasti, tak aj pri hodnotení odolnosti je vhodné vypracovať jednotnú metodiku hodnotenia odolnosti. Takáto metodika môže zjednotiť vstupné a výstupné informácie a uľahčiť hodnotenie samotnej úrovne odolnosti. Doprava a dopravná infraštruktúra sú komplikované technické systémy, ktoré si vyžadujú osobitný prístup. Cieľom článku je analyzovať v súčasnosti dostupné metodiky používané pri hodnotení odolnosti a predstaviť návrh jednotnej metodiky špecifickej pre hodnotenie odolnosti dopravnej infraštruktúry.*

**Kľúčová slova** *metodika, odolnosť, dopravná infraštruktúra*

**Summary** *Assessment of the resilience of transport infrastructure is an important part of risk assessment and continuous improvement of the safety of the evaluated element. Resilience is the ability of an element to resist, absorb and adapt to the effects of adverse events. There are many approaches to resilience evaluation. As in any field, it is appropriate to develop a uniform resilience evaluation methodology. Such a methodology can unify input and output information and facilitate the assessment of the resilience level itself. Transport and transport infrastructure are complicated technical systems that require a specific approach. The aim of the article is to analyze the currently available methodologies used in the assessment of resilience and to present a proposal for a uniform methodology specific for the evaluation of the resilience of transport infrastructure.*

**Keywords** *methodology, resilience, transport infrastructure*

## 1 ÚVOD

Autori článku považujú dopravnú infraštruktúru za jeden z kritických sektorov infraštruktúry. V podmienkach Slovenskej republiky sa kritická infraštruktúra považuje za súčasť národnej infraštruktúry, ktorá je nevyhnutná pre zachovanie neobmedzeného chodu krajiny (Dvořák, 2013;

---

<sup>1</sup> Žilinská univerzita v Žilina, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Fakulta technických vied a informatiky, Ul. 1. mája 32, 010 26 Žilina, Slovensko

\* korespondenčný autor: [katarina.hoterova@fbi.uniza.sk](mailto:katarina.hoterova@fbi.uniza.sk), tel. +041 513 68 66

Hoterová, 2019a). Na základe výsledkov predchádzajúcich výskumov za prvky kritickej infraštruktúry sa považujú prvky ako mosty, terminály, stanice, tunely a mnoho ďalších inžinierskych objektov. Súčasná technická spoločnosť je veľmi komplikovaná, a preto je dôležité hodnotiť úroveň bezpečnosti (Fuchs, 2015; Plos, 2016; Soušek, 2009). Článok je zameraný na oblasť odolnosti, ktorá úzko súvisí s bezpečnosťou. Odolnosť je schopnosť hodnoteného prvku odolávať, absorbovať a prispôbiť sa účinkom nežiadúcich udalostí. Tieto nežiadúce udalosti môžu byť vyvolané rôznymi faktormi. Ich základná klasifikácia je napríklad antropogénna alebo naturogénna, interná alebo externá, a mnoho ďalších. Pri hodnotení úrovne odolnosti možno použiť rôzne metodiky hodnotenia (Dvořák, 2010; Dvořák, 2017; Hoterová, 2019b). Autori článku sa zaoberajú hodnotením odolnosti a na základe analyzovania aktuálneho stavu v tej oblasti vytváraní univerzálnej metodiky hodnotenia odolnosti dopravnej infraštruktúry uplatniteľnej v praxi.

## 2 VÝBER VHODNÝCH METODÍK HODNOTENIA ODOLNOSTI

Na základe analýzy uskutočnenej v rámci riešeného problému sa ako najvhodnejšie metodiky preukázali metodika CIERA z Českej republiky (Řehák, 2018) a Leobsonovej prístup k hodnoteniu odolnosti dopravnej infraštruktúry (Leobson, 2018). Pri vytváraní novej metodiky hodnotenia odolnosti boli oslovení aj kompetentní zamestnanci Železníc Slovenskej republiky, Ministerstva dopravy a výstavby, Dopravného úradu Slovenskej republiky, ktorí boli oboznámení s oboma zvolenými metodikami. Na základe spolupráce s odborníkmi z praxe, ktorí sa zaoberajú bezpečnosťou, sa dospelo k záveru, že z praktických dôvodov je potrebné zjednodušiť metodiku CIERA, t.j. upraviť jednotlivé popisy ukazovateľov a zmeniť stupnicu hodnotenia z 1-5 na 1-3, zároveň vypracovať metodiku na hodnotenie odolnosti dopravnej infraštruktúry tak, aby obsahovala ukazovatele z Leobsonovej prístupu k hodnoteniu dopravných indikátorov odolnosti. Nasledujúca časť článku je venovaná charakteristike jednotlivých metodík a následnému návrhu použitia v rámci novej metodiky hodnotenia odolnosti.

### 2.1 Metodika CIERA

Metodika definuje odolnosť ako vnútornú pripravenosť prvkov kritickej infraštruktúry na negatívne hrozby, ako aj schopnosť zabezpečiť a udržiavať svoje základné funkcie pri súčasnom pôsobení nežiadúcich účinkov internej a externej povahy. V rámci metodiky bola popísaná klasifikácia hrozieb, ktorá je uvedená v Tab. 1. V rámci každej hrozby sa hodnotia rôzne ukazovatele (Řehák, 2018).

Tab. 1 Klasifikácia hrozieb pri hodnotení odolnosti metodikou CIERA; zdroj: CIERA, 2018

	Naturogéne	Technické	Antropogénne
<b>Vnútorne hrozby</b>	X	Procesno-technologické hrozby	Personálne hrozby
<b>Vonkajšie hrozby</b>	Klimatologické hrozby	Kaskádové hrozby	Fyzické hrozby
	Geologické hrozby		Kybernetické hrozby
	Biologické hrozby		

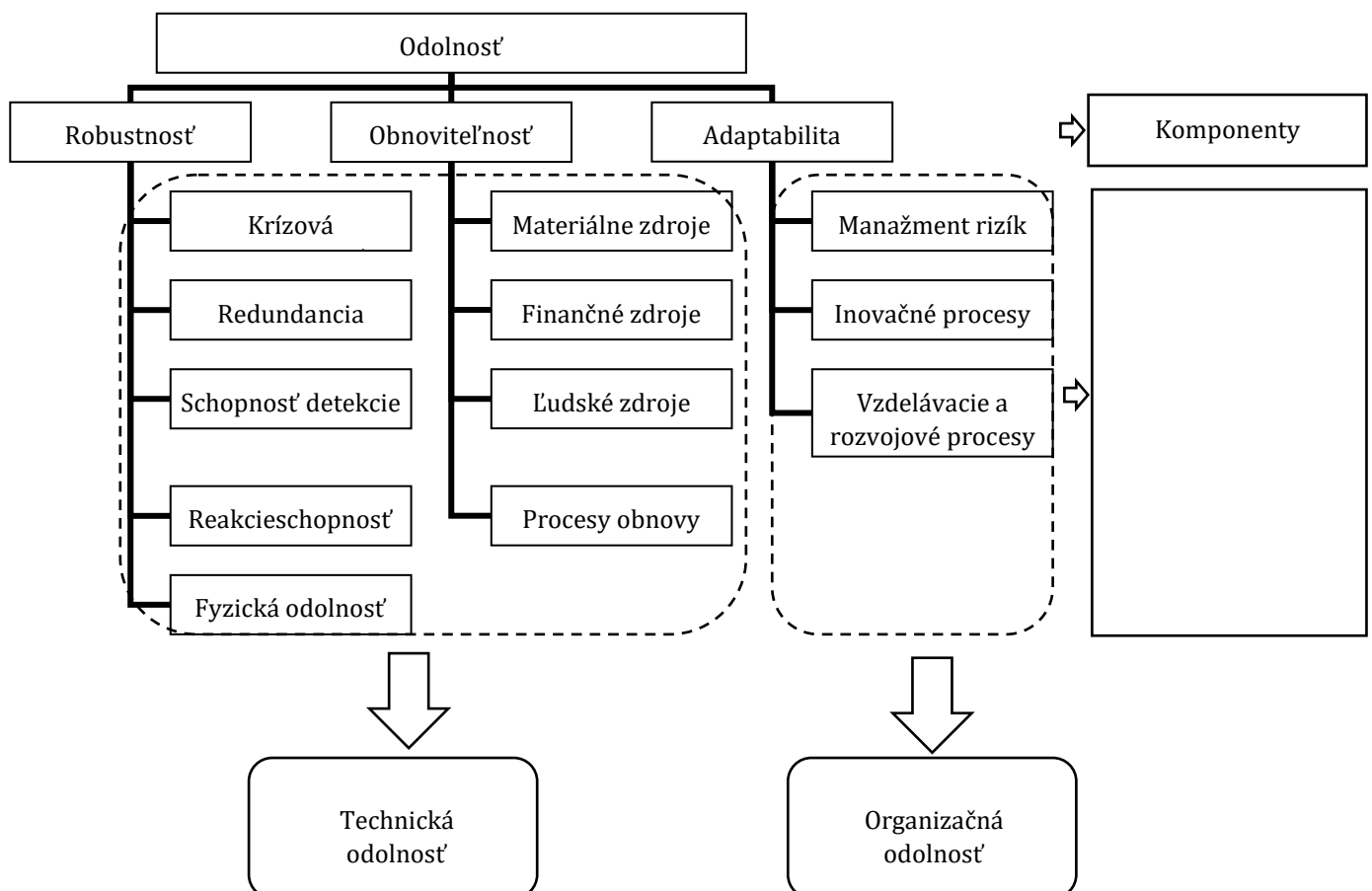
Podstatou metodiky CIERA je vymedzenie postupu pri hodnotení odolnosti a vymedzenie kritérií odolnosti prvkov. Cieľom je tiež určiť algoritmus a základné oblasti hodnotenia odolnosti. Je nevyhnutné porozumieť a jasne definovať základné oblasti hodnotenia odolnosti. Odolnosť je cyklický proces, ktorý spočíva v neustálej prevencii, absorpcii, obnove a prispôbení sa systému účinkom nežiadúcich udalostí.

Prvou fázou je prevencia, ktorá sa vykonáva neustálou preventívnou činnosťou, ktorá sa pripravuje na možné nežiadúce udalosti, ktoré môžu nastať v budúcnosti. Druhou fázou je absorpcia. Absorpcia je vyvolaná nežiadúcou udalosťou a je definovaná ako robustnosť hodnoteného systému/prvku. Robustnosť označuje schopnosť hodnoteného systému/prvku absorbovať účinky nežiadúcej udalosti tak, aby nekolísala v činnosti pri zachovaní svojich základných funkcií. Treťou fázou je fáza obnovy. Obnova je definovaná ako schopnosť obnoviteľnosti hodnoteného systému/prvku a jeho činnosti na požadovanú úroveň. Obnova je určovaná z hľadiska dostupných zdrojov a času. Štvrtá fáza je adaptabilita, čiže schopnosť sa prispôbiť prípadnému opätovnému účinku nežiadúcej udalosti.

Podľa metodiky CIERA sa systém kritickej infraštruktúry skladá z nasledujúcich dvoch oblastí:

1. technologická a fyzická ochrana,
2. riadenie organizácie.

Prvá oblasť sa označuje ako technická odolnosť (safety) a je určená robustnosťou a obnoviteľnosťou prvkov. Posilnenie technickej odolnosti sa vždy realizuje výlučne na hodnotené prvky. Druhá oblasť sa označuje ako organizačná odolnosť (security) a je určená úrovňou vnútorných organizačných procesov, ktoré sa vytvárajú na prispôsobenie prvku nežiadúcej udalosti. Jednotlivé komponenty a ich premenné sú zobrazené na Obr. 1 (Řehák, 2018).



Obr. 1 Komponenty a premenné metodiky CIERA; zdroj: CIERA, 2018

## 2.2 Leobsonovej návrh ukazovateľov odolnosti

Tento prístup bol špecificky vyvinutý v rámci výskumu Vojenského inžinierskeho výskumu v Rio de Janeiro v Brazílii (2018) pre dopravný sektor, a preto je vhodný pri vytváraní novej metodiky hodnotenia odolnosti v rámci dopravnej infraštruktúry. V procese hodnotenia odolnosti sú definované dva smery

analýzy. Jeden smer súvisí so sieťou infraštruktúry a druhý smer súvisí s prevádzkou poskytovaných služieb z hľadiska prepravnej kapacity a dopytu. Pre obidva smery je potrebné vytvoriť súbor ukazovateľov, ich popis a rámec pre ich klasifikáciu. Jednotlivé ukazovatele sú zobrazené v Tab. 2. Na základe charakteristík potrebných pre odolnosť uvažovaných systémov sa robustnosť a redundancia považujú za priamo spojené s dopravným systémom a jeho schopnosťou udržiavať prijateľnú úroveň služby/systému, zatiaľ čo pripravenosť a rýchlosť v zásade súvisia so závažnosťou udalosti a dostupnosťou a kvalitou ľudských a materiálnych zdrojov, ktoré sú k dispozícii. Týmto spôsobom je možné dosiahnuť vnútornú odolnosť dopravného systému, ktorá sa chápe ako schopnosť udržať mobilitu na prijateľnej úrovni, keďže robustnosť a redundancia sú výlučne aspekty dopravného systému, zatiaľ čo pripravenosť a rýchlosť sú prvky spojené so schopnosťou riadiť a prevádzkovať systém, berúc do úvahy, že intenzita udalosti nie je kontrolovateľná (Leobson, 2018).

Tab. 2 Leobsonovej návrh indikátorov odolnosti; zdroj: Leobson, 2018

Vlastnosti	Infraštruktúra	Prevádzka	Indikátory
<b>Robustnosť</b>	Kritické body	Dopyt / kapacita	Pripojenie a prístupnosť siete Kapacita tratí Hromadná preprava Dopyt Cestovný čas/vzdialenosť
<b>Redundancia</b>	Alternatívne trasy	Režimy dopravy	Alternatívne trasy pre kritické body Úroveň prístupnosti Alternatívne režimy
<b>Pripravenosť</b>	Ľudia a materiály	Náhradné aktíva a ľudia	Čas potrebný na obnovu Dostupnosť ľudí a prostriedkov
<b>Rýchlosť</b>	Dimenzia udalosti	Kvalita služieb a informácií	Čas potrebný na obnovu normálnej činnosti alebo v blízkosti

### 3 DISKUSIA

Oba metodické prístupy boli pôvodnými autormi testované a overené. V prípade metodiky CIERA bola vydaná certifikovaná metodika pre potreby Českej republiky. Certifikačným orgánom je Ministerstvo vnútra ČR – Generálne riaditeľstvo Hasičského záchranného zboru v ČR, ktoré danú metodiku schválilo

v roku 2018. Pre brazílskych vedcov bol vyššie uvedený Leobsonovej prístup k indikátorom odolnosti testovaný v podmienkach reálneho sveta. Stanovenie parametrov navrhutej metodiky autorov tohto článku bolo pripravené v spolupráci s odborníkmi zo ŽSR, z Ministerstva dopravy a výstavby SR a z Dopravného úradu SR. Všetky ukazovatele a údaje použité v metodike musia byť ľahko zrozumiteľné v operačných informačných systémoch v reálnom čase. Z tohto dôvodu boli vykonané autormi úpravy českej metodiky CIERA v súvislosti s brazílskym prístupom. V rámci vývoja navrhutej metodiky sa pravidelne prehodnocovalo aj bodové hodnotenie, či už podľa českého modelu na 1-5, alebo podľa prístupu 1-3. Hodnotiaci sa zhodli na menšom bodovom hodnotení z dôvodu uplatniteľnosti a zjednodušenia hodnotenia referenčných objektov. Na základe zmeneného bodovania sa následne zmenila škála výstupných parametrov potrebných pre celkové vyhodnotenie odolnosti. V aktuálnej metodike CIERA, z ktorej autori vychádzali, je aktuálne celkové hodnotenie ohodnotené piatimi stupňami (vysoká, akceptovateľná, nízka, nedostatočná a kritická úroveň odolnosti), po úprave autorov vznikli tri stupne, a to vysoká, stredná a nízka úroveň odolnosti. Ďalšou úpravou dvoch počiatočných metodík je úprava a zjednodušenie popisu jednotlivých ukazovateľov pre potreby praxe. Nakoniec, ako bolo uvedené vyššie, do metodiky CIERA boli pridané ukazovatele špecifické pre dopravnú infraštruktúru. Tieto indikátory boli následne upravené a skompletizované v rámci slovného a aj bodového hodnotenia, aby bola metodika jednotná (Fuchs, 2015; Plos, 2016; Soušek, 2009). Na overenie efektívnosti novovytvorenej metodiky bola odolnosť referenčného objektu hodnotená pôvodnou metodikou CIERA a novou metodikou. Výsledná úroveň odolnosti bola u oboch vyhodnotená rovnako. Na základe výsledkov sa dospelo k záveru, že metodika je vhodná na hodnotenie odolnosti, a že úpravy sa vykonali správne.

## 4 ZÁVĚR

Jednotná metodika špecifická pre hodnotenie odolnosti dopravnej infraštruktúry navrhnutá autormi tohto článku, vytvára prelom medzi metodikou odolnosti systémov infraštruktúry CIERA a Leobsonovej návrhom indikátorov odolnosti v rámci dopravnej infraštruktúry. Navrhovaná metodika bola konzultovaná s odborníkmi z akademickej obce a s odborníkmi z praxe. Rozsiahlosť novej metodiky neumožňuje jej uvedenie v rámci článku. Článok je iba metodickým postupom pri tvorbe novej metodiky. Autori považujú danú problematiku za aktuálnu. V rámci Slovenskej republiky sa zatiaľ v praxi nepoužíva žiadna metodika. Novo navrhovaná metodika je špecifická pre odvetvie dopravy, avšak pri vykonaní nenáročných obmien by bola možná jej aplikácia aj v iných oblastiach.

## Pod'akovanie

Publikáciu tohto príspevku podporil projekt IGP 2019/02 Návrh metodiky na hodnotenie odolnosti objektov infraštruktúry v dopravnom sektore.

## Literatúra

- Dvořák, Z.; Leitner, B.; Novák, L. **2013**. The theoretical background for research of road transport elements vulnerability in Slovakia. In: *TRANSBALTICA 2013 proceedings of the 8th international scientific conference* Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. 26-31 p.
- Dvořák, Z.; Raždík, J.; Soušek, R.; Sventeková, E. **2010**. Multi-agent system for decreasing of risk in road transport *Transport Means - Proceedings of the International Conference* 100-103 p.
- Dvořák, Z.; Sventeková, E.; Řehák, D.; Čekerevac, Z. **2017**. Assessment of Critical Infrastructure Elements in Transport, *Procedia Engineering* 187, 548-555 p.
- Hoterová, K. **2019a**. Safety plan of the railway infrastructure element. *Transport Means 2019* part 3. Kaunas: Kauno Technologijos Universitetas, 2019, p. 1491-1495.a
- Hoterová, K. **2019b**. Assesment of resilience of a critical infrastrucuture elements in a transport sector. In: *Svet dopravy: vedecký recenzovaný časopis*. ISSN 1338-9629 (online). No. 1 (2019), p. 34.42. b
- Leobons, C.M., Campos, V.B.G., De Mello Bandeira, R. A., **2018**. Assesing Urban Transportation Systems

Resilience: A Proposal Of Indicators. [on line]. *Transport Research Procedia* 37 s. 922-329. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Camila\\_Leobons/publication/330669749\\_Assessing\\_Urban\\_Transportation\\_Systems\\_Resilience\\_A\\_Proposal\\_of\\_Indicators/links/5d3daebf92851cd0468dfb79/Assessing-Urban-Transportation-Systems-Resilience-A-Proposal-of-Indicators.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Camila_Leobons/publication/330669749_Assessing_Urban_Transportation_Systems_Resilience_A_Proposal_of_Indicators/links/5d3daebf92851cd0468dfb79/Assessing-Urban-Transportation-Systems-Resilience-A-Proposal-of-Indicators.pdf)

Fuchs, P.; Němec, V.; Soušek, R.; Szabo, S.; Šustr, M.; Viskup, P. **2015**. The assessment of critical infrastructure in the Czech Republic. In: *Transport Means - Proceedings of the International Conference*. Volume 2015 International Scientific Conference on Transport Means, TRANSPORT MEANS 2015; Kaunas University of Technology; Lithuania; 418-424 p.

Plos, V.; Soušek, R.; Szabo, S. **2016**. Risk-based indicators implementation and usage, In: *WMSCI 2016 - 20th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Proceedings Volume 2, 2016, 720th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, WMSCI 2016; Orlando; United States; 235-237 p.

Řehák, D. a kolektiv. **2018**. Metodika hodnocení resilience prvků kritické infrastruktury. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2018. 109 s.

Soušek, R.; Dvořák, Z. **2009**. Risk identification in critical transport infrastructure in case of central Europe with focus on transport of dangerous shipments. In: *WMSCI 2009 Proceeding Volume 4*. The 13th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics. Orlando, FL, United States. 374 – 377 p.