

# **MOŽNÉ VYUŽITÍ INDIKÁTORŮ PŘI PREDIKTIVNÍ ANALÝZE SELHÁNÍ FUNKCE PRVKŮ ELEKTROENERGETICKÉ KRITICKÉ INFRASTRUKTURY**

**Alena Šplíchalová**

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta bezpečnostního inženýrství, Lumírova 13, Ostrava – Výškovice, 700 30  
alena.splichalova@vsb.cz

**Abstrakt:**

*Indikátory jsou odedávna nedílnou součástí humanitních i technických věd, přesto však existují markantní rozdíly v chápání tohoto pojmu. v oblasti bezpečnostního inženýrství a elektroenergetiky jsou indikátory chápány jako informace poskytující odraz reálné skutečnosti daného systému, sloužící ke srovnání různých rizik, nežádoucích událostí, hrozeb a vztahů mezi nimi. Takéž mohou být indikátory chápány jako data, která poskytují subjektům elektroenergetické kritické infrastruktury informace o zranitelnosti systému, bezpečnosti dodávek elektrické energie apod. Cílem tohoto článku je proto systematické posouzení definice pojmu indikátor, jeho využívání v oblasti elektroenergetiky a následný návrh možného využití indikátorů v rámci selhání funkce prvků elektroenergetické kritické infrastruktury.*

**Klíčová slova:** elektroenergetická kritická infrastruktura, resilience, funkce prvků elektroenergetické kritické infrastruktury, indikátor

## **Úvod**

Systém kritické infrastruktury je možné na základě svých funkčních specifík dělit na dvě oblasti, a to na infrastrukturu technickou a socioekonomickou [1]. Mezi těmito oblastmi existuje značná závislost. Veškeré socioekonomické sektory vyžadují neomezenou možnost disponovat komoditami sektorů technické infrastruktury, a naopak technická infrastruktura je v případě krize na socioekonomických sektorech plně závislá [2]. Avšak u obou oblastí je zřejmá vysoká závislost na sektoru elektroenergetiky, který je na základě toho právem označován jako unikátní [3]. Nelze tedy popřít, že elektřina je jednou z nejdůležitějších energií, která využíváme denně. Provázanost a schopnost tohoto druhu energie ovlivnit sekundární sektory je velmi vysoká. Celý systém elektroenergetické kritické infrastruktury je totiž klíčový pro fungování dependentních prvků kritické infrastruktury. Narušení či selhání tohoto sektoru by mělo dalekosáhlé následky na bezpečnost a ekonomiku státu a základní lidské potřeby. Na základě toho je nutné kritickou infrastrukturu elektroenergetiky chránit nejen, a to nejen před dopady již iniciovaných nežádoucích událostí, ale především ve fázi prevence, kdy je nutné zajistit včasnou indikaci selhání funkcí těchto prvků.

## **1 Funkce prvků elektroenergetické kritické infrastruktury**

Jednotlivé prvky elektroenergetické kritické infrastruktury zastávají v rámci systému dopravy elektřiny specifické funkce, které zajišťují kontinuální dodávku elektrické energie v požadovaném množství, čase a kvalitě. Tyto funkce jsou na základě zachování provozuschopnosti prvku rozčleněny na řídicí, podpůrné a klíčové [4]. Prvek elektrizační soustavy tedy tvoří tři základní funkce. Jako nástroj managementu jsou uplatňovány funkce řídicí, které jsou schopny komplexně a napříč strukturou prvku řídit jeho rozvoj, služby či kvalitu produktu. Taktéž zařizují veškeré ostatní procesy probíhající vně i uvnitř prvku a tím, zajišťují jejich stabilitu. Oproti tomu funkce podpůrné neboli pomocné, které jsou charakteristické svojí univerzálností, slouží k podpoře a realizaci funkcí klíčových. Zajišťují podmínky pro fungování ostatních procesů prostřednictvím dodávání potřebných produktů, služeb či zdrojů. Každý prvek se pak vyznačuje svojí klíčovou funkcí, která se liší dle technické povahy prvku a jeho umístění v rámci elektrizační soustavy. Jedná se o specifický proces, komponent či postup, který zajišťuje celkovou provozuschopnost prvku. Klíčové funkce jsou hlavním účelem existence každého prvku elektroenergetické kritické infrastruktury a přímo tak souvisí s naplněním jeho cíle.

Funkčnost klíčových funkcí prvků je závislá na mnoha faktorech, které je ovlivňují. Těmito faktory jsou zejména vnější a vnitřní hrozby (tj. negativně ovlivňující faktory) a resilience prvků (tj. pozitivně ovlivňující faktor). Přičemž platí, že čím vyšší je úroveň nebezpečnosti hrozeb a nižší úroveň resilience prvků, tím vyšší je pravděpodobnost a závažnost dopadu (tj. riziko) vzniku nežádoucí události, která bude mít negativní dopad na klíčové funkce prvků elektroenergetické kritické infrastruktury. V okamžiku, kdy začíná na prvek působit nežádoucí událost je systém, díky resilienci a jeho komponentům schopen do jisté míry absorbovat dopady nežádoucí události. Teprve, pokud je absorpční kapacita prvku vyčerpána, tj. je dosažena limita schopnosti prvku absorbovat dopady nežádoucí události, začínají se negativní následky působení události projevovat narušením klíčových funkcí. a právě zde vzniká prostor pro možnou prediktivní indikaci narušení funkce klíčových funkcí.

## 2 Deskripce indikátorů a jejich využití

Pojem indikátor neboli ukazatel představuje proměnné, nástroj či prostředek, který umožňuje měření změny sledovaného stavu. Do jisté míry má schopnost předvídat nebo ukazovat jevy a situace, které jsou špatně viditelné [5]. Poskytuje obraz skutečné situace konkrétní sledované hodnoty a umožňuje uživateli predikovat budoucí vývoj. Gallopin [6] popisuje rozdílné chápání indikátorů, jejich nejednotnost a matoucí výklad. V obecné rovině definuje indikátory jako určitý druh znamení. v konkrétnější rovině vymezuje indikátory jako proměnné (nikoli hodnoty), které jsou funkční prezentací atributu definovaného z hlediska konkrétního postupu měření nebo pozorování. Indikátory mohou být taktéž chápány jako nástroje pro správu, které kvantitativním a transparentním způsobem popisují komplexní charakteristiky zkoumaného systému [7]. V odborných textech jsou indikátory taktéž prezentovány jako pozorovatelný projev existence jiného faktu, jenž přímo pozorovatelný není [8]. Indikátor tedy umožňuje zprostředkovaně poznávat fakta, která nám nejsou přímo dostupná, za předpokladu, že mají mezi sebou vztah. Výše zmiňovaní autoři se snažili definovat indikátor na úrovni obecné. Existuje celá řada odvětví, kde jsou indikátory vymezeny a definovány pro konkrétní účel. Pro společenské vědy indikátory představují prostředky sledující, srovnávající, zaznamenávající a vyhodnocující soubor přesně stanovených údajů či limitů. v oblasti přírodních věd jsou indikátory chápány zcela odlišně. Ve fyzice indikátor označuje zařízení umožňující sledovat okamžitý stav systému. Naopak v chemii je indikátorem látka, schopná rozeznat nepozorovatelné veličiny změnou barvy. v oblasti biologie jsou za indikátory považovány rostlinné druhy a živočichové reagující na změnu stavu [9]. Výše uvedené indikátory byly společenského nebo přírodního charakteru. Tyto definice poskytují základ indikátorům, které jsou používány v technických oborech, energetické bezpečnosti, zajišťování spolehlivosti dodávek energie, zranitelnosti či narušení systémů.

V oblastech užití indikátorů mají ukazatele vždy svůj specifický význam, který je úzce orientovaný na konkrétní oblast řešení, tím je způsobena nejednotnost a značně odlišné chápání indikátorů. V každém případě musí jednotlivé indikátory splňovat kritéria, vlastnosti či charakteristiky, mezi něž dle Růžičky et al. [10] patří především kritéria objektivita, spolehlivost, nezávislost a věrohodnost údajů. Mimo jiné musí být reprezentativní, jedinečné a srovnatelné. Rovněž musí splňovat relevantnost, pochopitelnost, měřitelnost a potřebnost [9]. Mají-li být indikátory skutečně použitelné, musí mít určitou vypovídající schopnost, a hlavně jasně definované indikační parametry.

Indikační parametry představují hodnoty, kritéria či měřitelné jednotky stanovené k příslušným indikátorům. Jedná se o charakteristické veličiny každého indikátoru, které utváří jeho charakter s vypovídající schopností o samotném indikátoru. Tyto hodnoty jsou definovány určitým rozpětím či hodnotící škálou. Indikační parametry mohou být také chápány jako charakteristiky prostředí, mající zásadní vliv na daný objekt ochrany, jehož sledováním je možno zachytit vývoj okolí, potažmo vývoj sledovaného předmětu ochrany. Indikační parametry musí být vybírány nebo stanoveny s ohledem na významnost pro sledovaný objekt, ale také podle dostupných možností daný parametr sledovat.

### 2.1 Užití indikátorů v oblasti bezpečnostního inženýrství

V oblasti bezpečnostního inženýrství, analýzy a hodnocení rizik či hrozeb lze nalézt různé přístupy využívající indikátory pro hodnocení zranitelnosti územních celků [10, 11, 12]. Cílem všech těchto přístupů je kvantitativní hodnocení rizika a zranitelnosti pomocí indikátorů za účelem srovnání různých rizik, hrozeb, vztahů mezi nimi, krajů, regionů nebo komunit. v souvislosti s tímto hodnocením představují indikátory funkční reprezentaci charakteristiky nebo kvality systému schopného poskytnout informace týkající se náchylnosti, schopnosti zvládat a absorbovat negativní účinky hrozeb, samotné odolnosti zkoumaného systému nebo území vůči dopadu katastrofy [14]. Zranitelnost systému je obecně určována různými faktory, a proto ji nelze zachytit jen jediným indikátorem. Místo toho jsou pro posouzení zranitelnosti takového systému zapotřebí vícerozměrné koncepty, jako jsou složené indikátory (jednotlivé ukazatele sestavovány do jediného indexu založeného na základním teoretickém rámci zranitelnosti) [15].

V rámci bezpečnostního inženýrství mohou být indikátory děleny do skupin. Bezpečnostní ukazatele zranitelnosti lze rozdělit do čtyř kategorií [16]. První kategorií jsou indikátory zaostávající, které poskytují informace o aktuální zranitelnosti (frekvence či statistika poruch) a jejího řešení či výkon infrastruktury v minulosti. Naopak indikátory hlavní obecně poskytují informace o předpokládaném vývoji, a pokud jsou správně navrženy, mohou být užitečné jako prediktory. Třetí kategorií jsou ukazatele aktivity, které lze chápat jako prostředky pro měření akcí nebo podmínek, které by měly udržovat nebo vést ke zlepšení zranitelnosti. Poslední kategorií jsou ukazatele výsledku, poskytující informace, zda cílená aktivita směřovala ke snížení zranitelnosti systému. Kombinace všech výše uvedených kategorií poskytuje úplný obraz o zranitelnosti infrastruktury, prvku či systému. Pokud jsou indikátory užívány před působením nežádoucích událostí, jedná se o tzv. a-priori indikátor, které hodnotí odolnost systému před nežádoucí událostí a nejsou závislé na druhu narušení. Naopak post-hoc indikátory jsou posuzovány po narušení systému a poskytují absolutní míru ukazatele, který je přímo srovnáván s předem stanovenou linií [17]. Odolnost systémů či infrastruktur může být posuzována i z pohledu prostředí možného působení hrozby. Indikátory mohou být na tomto základě členěny na indikátory vnějšího a vnitřního prostředí [18].

V rámci energetických systémů jsou pro sledování zajištění bezpečnosti používány ukazatele pasivního charakteru, jako například lze uvést záznamy počtu nehod a událostí souvisejících s bezpečností. Tento druh indikátorů poskytuje pouze stav nehodovosti v systému. Jako doplněk k těmto pasivním indikátorům jsou používány indikátory pozitivní, které měří změnu stavu mezi pasivním ukazatelem a realitou [19]. Další druhy indikátorů energetické bezpečnosti uvádí Löschel et al. [20], který navrhuje nový rozměr klasifikace indikátorů, a to sice indikátory typu ex post, které jsou odpovědí na otázku, zdali způsobil energetický systém v minulosti nějakou významnou hospodářskou újmu. Oproti tomu typ ex ante představuje otázku, zda lze v budoucnu očekávat v rámci energetického systému vznik velkých poruch.

Různé druhy indikátorů jsou samozřejmě užívány i v oblasti ochrany a hodnocení funkcí kritické infrastruktury. Řehák et al. [21] v rámci studie prezentují systémové indikátory degradace funkcí subsystémů kritické infrastruktury, vycházející z typových plánů řešení krizových situací Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky a Správy státních hmotných rezerv České republiky. Ochrana kritické infrastruktury je úzce spojena s její resiliencí. v této oblasti jsou používány indikátory zakomponované do metod, kterými je resilience hodnocena, měřena a stanovována její úroveň. Typickým příkladem může být Resilience Measurement Index [22], rozděluje resilienci do čtyř komponentů, zde jsou jednotlivé druhy indikátorů, které následně indikují úroveň resilience. Bertocchi et al. [23] v rámci Guidelines for Critical Infrastructure Resilience Evaluation (CIRE) používá indikátory v oblasti fyzické a logické, personální, organizační a kooperační. Metodika vyvinutá Agronne National Laboratory používá indikátory s cílem poskytnout informace o zranitelnosti sektorů a subsektorů, k identifikaci potenciálních způsobů, jak snížit zranitelnost, a při přípravě odhadů sektorových rizik [24,25].

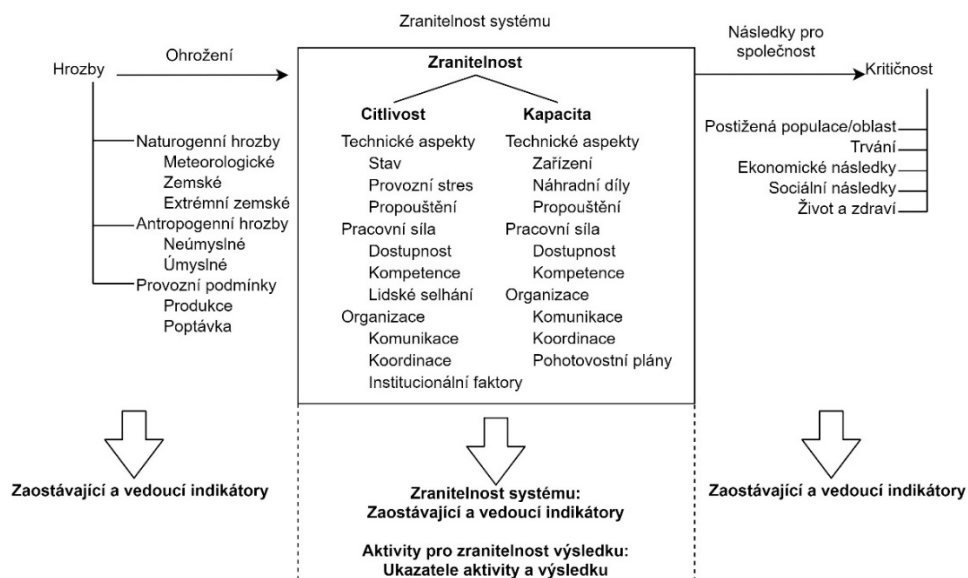
## 2.2 Užití indikátorů v oblasti elektroenergetiky

Indikátory jsou často využívány v oblasti plánování energetických sítí, monitorování jejich zranitelnosti či kontinuity. Slouží jako měřitelná interpretovatelná hodnota, která indikuje možné poruchy a nežádoucí události ohrožující bezpečnost dodávky. Vzhledem ke složitosti energetických systémů a zranitelnosti související s těmito systémy je velice vhodné použít právě indikátory, které umožňují nahlédnout do koncepce nebo systému, který je obtížné přímo měřit. Indikátory jsou užitečné pro sledování zranitelnosti. Pomocí nichž je možné vytvořit zjednodušený popis zranitelnosti energetického systému a posoudit očekávaný výkon a jeho vývoj kombinací různých indikátorů. Tyto indikátory jsou potřebné k popisu celého obrazu zranitelnosti v souvislosti s nežádoucími událostmi na velké ploše [16].

Indikátory jsou již široce používány ve správě aktiv energetických systémů, pro různé účely a s různým stupněm podrobnosti, kvality a povědomí. Jako příklad lze uvést indikátory založené na statistikách poruch a přerušení, které rozlišují frekvenci poruch, nedodanou energii a náklady na nedodanou energii nebo pokrytí nedostatku energie a kapacita [16]. Indikátory jsou taktéž propojeny s dlouhodobou bezpečností dodávek elektrické energie, kterou se zabýval Krut et al. [26], který dělí ukazatele do dvou skupin (jednoduché a složené) a čtyř dimenzí týkající se použitelnosti, přístupnosti, cenové dostupnosti a přijatelnosti energie. Indikátory nepřímé zranitelnosti průmyslových odvětví vůči různým typům mimořádných událostí se zabývali Hiete a Merz [7]. Stanovili rámec koncepčních indikátorů umožňujících kvalitativně posoudit tuto zranitelnost a také vymezili metodické aspekty jako standardizace, přidělování vah a agregace těchto ukazatelů. Další, kteří se zabývali měřením zranitelnosti elektroenergetických infrastruktur, byli Hofmann et al. [27]. Autoři prezentují, jak lze informace z analýz zranitelnosti a stávajících systémů správy údržby kombinovat s informacemi o hrozbách a kritičnosti pro stanovení indikátorů zranitelnosti pro elektrické vedení. Taktéž se zabývají vývojem indikátorů pro sledování zranitelnosti, pokud jde o hrozby související především s počasím.

Indikátory energetické bezpečnosti jsou navrženy spíše jako míry spolehlivosti dodávek elektrické energie. Jinými slovy jsou tyto indikátory vhodnější pro analýzu běžných (častých) událostí než mimořádných událostí. Proto je důležité zavést i indikátory zranitelnosti systému, které jsou ve většině případů agregované indikátory, zahrnující jednotlivé dimenze. Aby bylo možné monitorovat a spravovat zranitelnost elektrizační soustavy, je rozhodující ex-ante informace o vystavení hrozbám a jejich následcích. Indikátory zranitelnosti by proto měly mít vypovídající schopnost o přítomnosti a rozsahu hrozeb, jejich následcích i vývoji, jakož i o přítomnosti, přiměřenosti a rozvoji bariér, kterými systém vůči těmto hrozbám disponuje. Jako příklad lze uvést kritéria dimenzování, komponenty; kvalita stavebních prací; součásti s nedostatečnou konstrukcí, stupeň a kvalita sledování stavu; havarijní připravenost, včetně dostupnosti personálu a materiálu; dostupnost komunikačního systému v mimořádných situacích nebo kvalita analýz rizik a zranitelností, plány, postupy a vyjasnění odpovědnosti [28]. Tyto informace musí být kombinovány se znalostmi o hrozbách (například předpovědi počasí), následcích a kritičnosti součástí, systémů a funkcí, a to za účelem vytvoření celkového obrázku zranitelnosti vůči určité hrozbě nebo nebezpečí.

Provozovatelé energetických soustav mají omezený vliv na hrozby a kritičnost důsledků pro společnost, protože se jedná o vnější dimenze. v důsledku toho mohou ovlivnit pouze citlivost a schopnost zvládnutí nežádoucích událostí. Činnosti a indikátory se proto obvykle týkají zranitelnosti systému a nikoli vnějšího prostředí. Ukazatele aktivity a výsledku mají tedy smysl pouze pro sledování náchylnosti a schopnosti zvládat nastalou situaci [16] Obrázek 1 znázorňuje obecný rámec pro ukazatele zranitelnosti a související ukazatele pro hrozby a kritičnost.



Obrázek 1: Rámec pro indikátory zranitelnosti energetického systému [16]

Tento rámec zahrnuje všechny různé dimenze a typy ukazatelů, pomáhá udržovat přehled, zdali jsou všechny důležité aspekty zranitelnosti pokryty odpovídajícími ukazateli, a pomáhá strukturovat proces hledání a vývoje ukazatelů. Hofmann et al. [16] také ve svém článku prezentují možné konkrétní příklady hrozeb a k nim odpovídajících indikátorů pro sledování zranitelnosti.

### 2.3 Užití indikátorů v oblasti selhání funkce prvku

Doposud popsané druhy či typy indikátorů jsou různého charakteru, ale ve výsledku všechny mají určitou vypovídající schopnost o podmínkách, ve kterých se zkoumaný systém nebo infrastruktura aktuálně nalézá. Výše uvedené indikátory mimo jiné sledují a posuzují úroveň resilience infrastruktur nebo poskytují údaje o spolehlivosti či zabezpečení dodávky elektřiny. Indikátory, které by zohledňovali obě uvedené oblasti, v současné době neexistují. Přičemž kombinace, propojení a porovnání indikátorů těchto dvou oblastí poskytuje nový základ pohledu pro prediktivní indikování selhání funkce prvků elektroenergetické kritické infrastruktury.

Z analýzy prostředí prvků vyplývá, že na prvek působí faktory pozitivní a negativní. Za významný pozitivní faktor je považována resilience prvku, která je schopna do určité míry absorbovat negativní účinky hrozeb a tím ochránit klíčové funkce prvku. Naopak negativním faktorem je působení hrozeb na prvek, jejíž následky se stávají nežádoucími událostmi, které narušují funkce prvku, a tudíž může docházet k jeho selhání. Proto je důležité stanovit tzv. limitní hranic. Limitní hranicí se rozumí stanovení maximální úrovně hrozb,

kerou je resilience prvku schopna ještě absorbovat. Při překročení této limitní hranice se předpokládá narušení či selhání klíčových funkcí prvku. Stanovení této limitní hranice je možno určit komparací vypočtené úrovně resilience a hrozeb, respektive jejich indikačních parametrů, tj. hodnota, charakter, stupeň či úroveň nebezpečnosti hrozby.

## Závěr

Elektroenergetika zaujímá významné postavení v rámci ostatních technologických i socioekonomických systémů. Je nedílnou součástí každodenního života. Její závislost a důležitost pro obyvatele nelze popřít. Jako jeden z nejdůležitějších druhů energie zajišťuje funkčnost systémů, zabezpečujících základní lidské potřeby. Proto je nutné tyto tzv. kritické infrastruktury pro výrobu a přenos energie chránit před vnějšími i vnitřními hrozbami, jejichž působením dochází k degradaci resilience prvků kritické infrastruktury, což způsobuje narušení nebo selhání jejich funkce.

V současné době je spatřována výzkumná mezera v korelaci a komparaci resilience, funkce prvku kritické infrastruktury a působení predikovaných hrozeb. Ano, existují studie zaměřené na pokles výkonu prvků elektroenergetické kritické infrastruktury a také hodnocení resilience. Avšak dostupné zdroje neposkytují propojení již zmíněných oblastí. Tudíž je logické, že neexistují žádné indikátory s indikačními parametry natož jakýkoli systém indikace narušení funkce prvků elektroenergetické kritické infrastruktury. v tomto kontextu lze konstatovat, že prediktivní indikování selhání funkce prvků v elektroenergetické kritické infrastruktuře představuje vysoce účinné opatření preventivního charakteru, které prostřednictvím včasné indikace hrozeb umožňuje zamezit vzniku nežádoucích událostí. Na základě výsledků predikativní indikace lze včas přijmout adekvátní a účinná bezpečnostní opatření při přípravě na potenciální hrozby. Je tedy zapotřebí dalších analýz a výzkumů zmírňujících energetickou nejistotu, jakož i diskuse o myšlenkách samotné koncepce energetické bezpečnosti, spolehlivosti dodávek a zajištění ochrany stěžejních prvků systému vůči předvídatelným hrozbám, které nejsou běžné.

## Poděkování

Tento výzkum byl podpořen VŠB – Technická univerzita Ostrava v rámci projektu SP2020/40 „Výzkum přístupů a metod posilování resilience prvků kritické infrastruktury v pododvětví elektroenergetiky“.

## Literatura

- [1] Řehák D., Markuci J., Hromada M., Barčová K. 2016. Quantitative Evaluation of the Synergistic Effects of Failures in a Critical Infrastructure System, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 14, 3-17, DOI: 10.1016/j.ijcip.2016.06.002
- [2] Řehák D., Hromada M., Loveček T. 2020. Personnel Threats in an Electric Power Critical Infrastructure Sector and Their Impacts on Dependent Sectors, *Safety Science*, 127, Article 104698, DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104698
- [3] PPD-21. 2013. Presidential Policy Directive Critical Infrastructure Security and Resilience, The White House, Washington, DC.
- [4] Šmída, F. 2007. *Zavádění a rozvoj procesního řízení ve firmě*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1679-4.
- [5] Shavelson, R.J., McDonnell, L.M., Jeannie, O. 1991. What Are Educational Indicators and Indicator Systems? *Practical Assessment Research & Evaluation*, 2(11). ISSN 1531-7714.
- [6] Gallopin, G., C. 1997. Indicators and Their Use: Information for Decision-making. In Moldan, B. and Billharz, S. (Eds.). *Sustainability Indicators: a report on the project on sustainability indicators of sustainable development*, pp. 13-28. New York: Wiley.
- [7] Hiete, M., Merz, M. 2009. An Indicator Framework to Assess the Vulnerability of Industrial Sectors against Indirect Disaster Losses. In *Proceedings of the 6th International ISCRAM Conference*. Gothenburg, Sweden.
- [8] Janoušková, S., Maršák, J. 2008. Indikátory – významný prostředek našeho poznávání. *Pedagogika*, 58, 29-35 s.
- [9] Národní pedagogický institut ČR. 2019. *Ukazatel* [online]. Metodický portál inspirace zkušenosti učitelů. [cit-2020-02-14]. Dostupné z: [https://wiki.rvp.cz/Knihovna/1.Pedagogick%C3%BD\\_lexikon/K/Krit%C3%A9rium/Ukazatel](https://wiki.rvp.cz/Knihovna/1.Pedagogick%C3%BD_lexikon/K/Krit%C3%A9rium/Ukazatel)
- [10] Růžička, Z. et al. 2016. KA 3 Návrh využití referenčního modelu TAFTIE v podmínkách České republiky, Příloha 1: Indikátory – indikátorová soustava – logický rámec indikátorové soustavy. Praha: Technologická agentura ČR, 48 s. ISBN 978-80-88169-11-6.
- [11] Cardona, O.D. 2004. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In: Bankoff, G., Frerks, G.,

- Hilhorst, D. (Eds.), Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People, London, Earthscan Publishers.
- [12] Cutter, S. L., Boruff, B. J. and Shirley, W. L. 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards, *Social Science Quarterly*, 84 (1), 242-261.
- [13] Dilley, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A., Arnold, M. 2005. Natural Disaster Hotspots. a Global Risk Analysis. The World Bank, Hazard Management Unit, Washington, DC.
- [14] Birkmann, J. 2007. Risk and Vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, 7, 20-31.
- [15] Nardo, N., Saiana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann, A., Giovannini, E. 2008. *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Paříž: OECD publishing. ISBN 978-92-64-04345-9
- [16] Hofmanna, M., Kjøllea, G.H., Gjerde, O. 2012. Development of Indicators to Monitor Vulnerabilities in Power Systems. In *11<sup>th</sup> International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference*. pp. 5869-5878.
- [17] Prior, T. 2015. *SKI Focus Report 9: Measuring Critical Infrastructure Resilience*. Zurich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- [18] Řehák, D., Hromada, M., Šenovský, P., Kročová, Š., Apeltauer, T., Pidhaniuk, L. 2017. *Souhrn způsobu hodnocení kvality a odolnosti infrastruktury*. Úřad vlády České republiky. ISBN 978-80-7440-186-2.
- [19] SÚJB. 2010. Kultura bezpečnosti v jaderných zařízeních: Návod pro použití při zvyšování kultury bezpečnosti, IAEA-TECDOC-1329, 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost a Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 108 s., ISBN 978-80-86973-44-9
- [20] Löschel, A., Moslener, U., Rübhelke, D.T.G. 2010. Indicators of energy security in industrialised countries. *Energy Policy*, 4(38): 1665-1671. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.03.061
- [21] Řehák, D., Hromada, M., Šenovský, P. 2019. *Resilience kritické infrastruktury. Teorie, principy, metody*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 978-80-7385-224-5.
- [22] Petit, F.D., Bassett, G.W., Black, R., Buehring, W.A., Collins, M.J., Dickinson, D.C., Fisher, R.E., Haffenden, R.A., Huttenga, A.A., Klett, M.S., Phillips, J.A., Thomas, M., Veselka, S.N., Wallace, K.E., Whitfield, R.G., Peerenboom, J.P. 2013. Resilience Measurement Index: An Indicator of Critical Infrastructure Resilience. United States: Argonne national laboratory. DOI: 10.2172/1087819.
- [23] Bertocchi, G., Bologna, S., Carducci, G., Carrozzini, L., Cavallini, S., Lazari, A., Oliva, G., Traballese, A. 2016. Guidelines for Critical Infrastructure Resilience Evaluation. Roma: Italian Association of Critical Infrastructures' Experts.
- [24] Collins, M., Petit, F., Buehring, W., Fisher, R., Whitfield, R. 2011. Protective Measures and Vulnerability Indices for the Enhanced Critical Infrastructure Protection Programme. *International Journal of Critical Infrastructures*, 7(3): 200-2019. DOI: 10.1504/IJCIS.2011.042976
- [25] Fisher, R. a Norman, M. 2010. Developing Measurement Indices to Enhance Protection and Resilience of Critical Infrastructure and Key Resources. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 4(3):191-206.
- [26] Kruyt, B., van Vuuren, D.P., de Vries, H.J.M., Groenenberg, H. 2009. Indicators for energy security. *Energy Policy*, 6(37): 2166-2181. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.02.006
- [27] Hofmann, M., Gjerde, O., Kjølle, H.G., Gramme, E., Hernes, G.J., Foosnæs, A.J. 2013. Developing Indicators for Monitoring Vulnerability of Power Lines – case studies. In *22<sup>th</sup> International Conference on Electricity distribution (CIRED)*. DOI: 10.1049/cp.2013.0815
- [28] Gjerde, O., Kjølle, G.H., Hernes, J.G., Hestnes, B., Foosnæs, J.A. 2011. Indicators to Monitor and Manage Electricity Distribution System Vulnerability. In: *CIRED 21th International Conference on Electricity Distribution*. Dostupné z: <https://www.sintef.no/globalassets/project/vulnerability-and-security/publications/papers/cired-2011-indicators-to-monitor-and-manage-vulnerability1.pdf>