

Zdroje rizik spojené s tunely na pozemních komunikacích

Risk Sources Connected with Tunnels on Surface Routes

Doc. RNDr. Dana Procházková, CSc., DrSc.^{1,2}, RNDr. Jan Procházka, Ph.D.^{1,2}

¹ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 16607, Praha 6, ČR

² Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Purkyňova 464/118, 612 00, Brno, ČR

Abstrakt:

Kritickými prvky dopravní infrastruktury v oblasti pozemních komunikací jsou také tunely. Jejich selhání znamená ztráty, škody a újmy nejen na samotné infrastruktuře, ale i na veřejných aktivech. Proto legislativa všech vyspělých zemí ukládá požadavky na bezpečnost při výstavbě nových tunelů, při úpravě stávajících tunelů a při provozu v tunelech. Aby mohla být zajištěna bezpečnost tunelů, je třeba znát zdroje rizik, které je třeba řídit. Pro stanovení vhodných opatření byla sestavena databáze zdrojů selhání dopravních tunelů, jejíž vyhodnocení je uvedeno v článku.

Klíčová slova:

Dopravní tunel; pozemní komunikace; riziko; bezpečnost; zdroje rizik.

Abstract:

Tunnels are critical elements of surface route infrastructure. Their failure means loss, damage and harms not only to the infrastructure itself, but also to public assets. Therefore, the legislation of all developed countries imposes safety requirements for the construction of new tunnels, in the modification of existing tunnels and during their operation. In order to ensure the tunnels' safety, it is necessary to know the sources of risk that need to be managed. A database of the sources of failure of transport tunnels has been set up to determine the appropriate measures, the evaluation of which is set out in the article.

Key words:

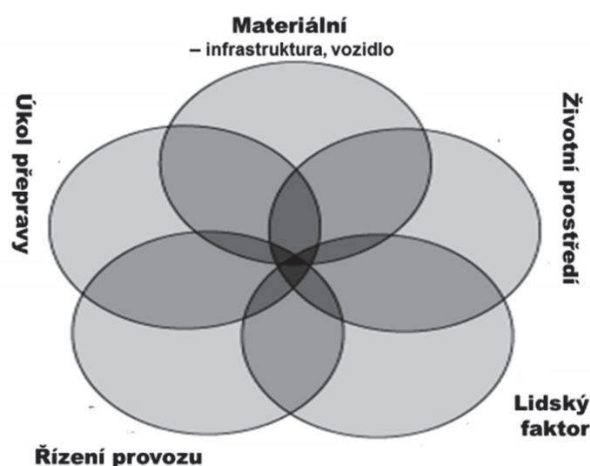
Transport tunnel; infrastructure; risk; safety; sources of risk.

1 Úvod:

Dopravní infrastruktura patří mezi kritické infrastruktury každého státu a mezi její důležité a zranitelné (tj. kritické) prvky patří tunely (Procházková 2012). Jejich selhání znamená ztráty, škody a újmy nejen na samotné infrastruktuře, ale i na veřejných aktivech (Procházková 2013). Proto legislativa všech vyspělých zemí ukládá požadavky na bezpečnost při výstavbě nových tunelů, při úpravě stávajících tunelů a při provozu tunelů. Aby mohla být udělena povolení k výstavbě i k provozu tunelu, musí být splněny přísné požadavky. Protože svět se dynamicky mění, tak správným nástrojem je řízení bezpečnosti (Procházková 2015,2017,2018).

Každý tunel je otevřený systém systémů (Procházková 2012,2013), obrázek 1. Proto pro zajištění jeho bezpečností musíme brát v úvahu i rizika, která jsou spojená s propojením jednotlivých systémů (Procházková 2015,2017,2018).

Riziko a bezpečnost spolu jistým způsobem souvisí, nejsou však komplementární veličiny, protože bezpečnost můžeme zvýšit pomocí organizačních opatření (varovací systémy, připravenost, výcvik atd.), aniž bychom snížili riziko (Procházková 2018). **Riziko** pro potřeby strategického řízení je definováno jako pravděpodobná velikost ztrát, škod a újm na chráněných aktivech způsobených škodlivým jevem, která je rozpočtená na jednotku území a jednotku času (Procházková 2018).



Obrázek 1: Základní položky, které předurčují bezpečnost tunelu.

Současné poznání ukazuje, že zdrojů rizik je mnoho (Procházková 2012,2015,2017,2018) a vzhledem k rostoucí složitosti technických děl a světa přibývají stále další. Zaváděním nových

dosud neověřených technologií, zvyšováním provázanosti systémů, především z hlediska kybernetického, materiálního, energetického, ekonomického, sociálního apod., se všechny entity stávají složitějšími (Procházková 2015). Je skutečností, že složitost ovlivňuje bezpečnost systémů, kvůli zvyšujícímu se množství možných stavů systému a možných neodhadnutelných emergentních jevů, tj. jevů vznikajících za jistých podmínek náhle a nepředvídatelně (Procházková 2015).

Chyba, které se dopustíme při analýze rizika, se přenáší do nouzových a krizových plánů, do plánů kontinuity a snižuje jejich hodnotu ve vztahu k plánovaným opatřením směřujícím především k ochraně lidských životů a zdraví, ale i v oblasti akceschopnosti záchranných složek podílejících se na realizaci záchranných operací. Obecně platí, že ignorování či podceňování řízení rizik je důvodem většiny problémů lidské společnosti (Procházková 2015,2017).

Proto pro zajištění dostatečné úrovně bezpečnosti musíme řídit rizika, přičemž jsou zásadně důležité vlastnosti systému jako zranitelnost, pružná odolnost a adaptabilita ke změnám vyvolaným vnitřními i vnějšími pohromami (tj. jevy všeho druhu, které mají škodlivý potenciál na veřejná aktiva a aktiva sledovaného technického díla) a lidský faktor. Uvedené vlastnosti jsou integrálními vlastnostmi systému a mírou jejich kombinace je kritičnost.

Každý tunel zapojený dnes v dopravní síti je systém systémů, který má povahu socio-kyber-technickou (fyzickou) (Procházková 2017). Pro zajištění vysoké bezpečnosti se aplikují přístupy procesního a projektového řízení typu TQM (Total Quality Management) (Zairi 1991), ze kterých vychází používané metody, technické normy i mezinárodní a evropské standardy pro systémy řízení.

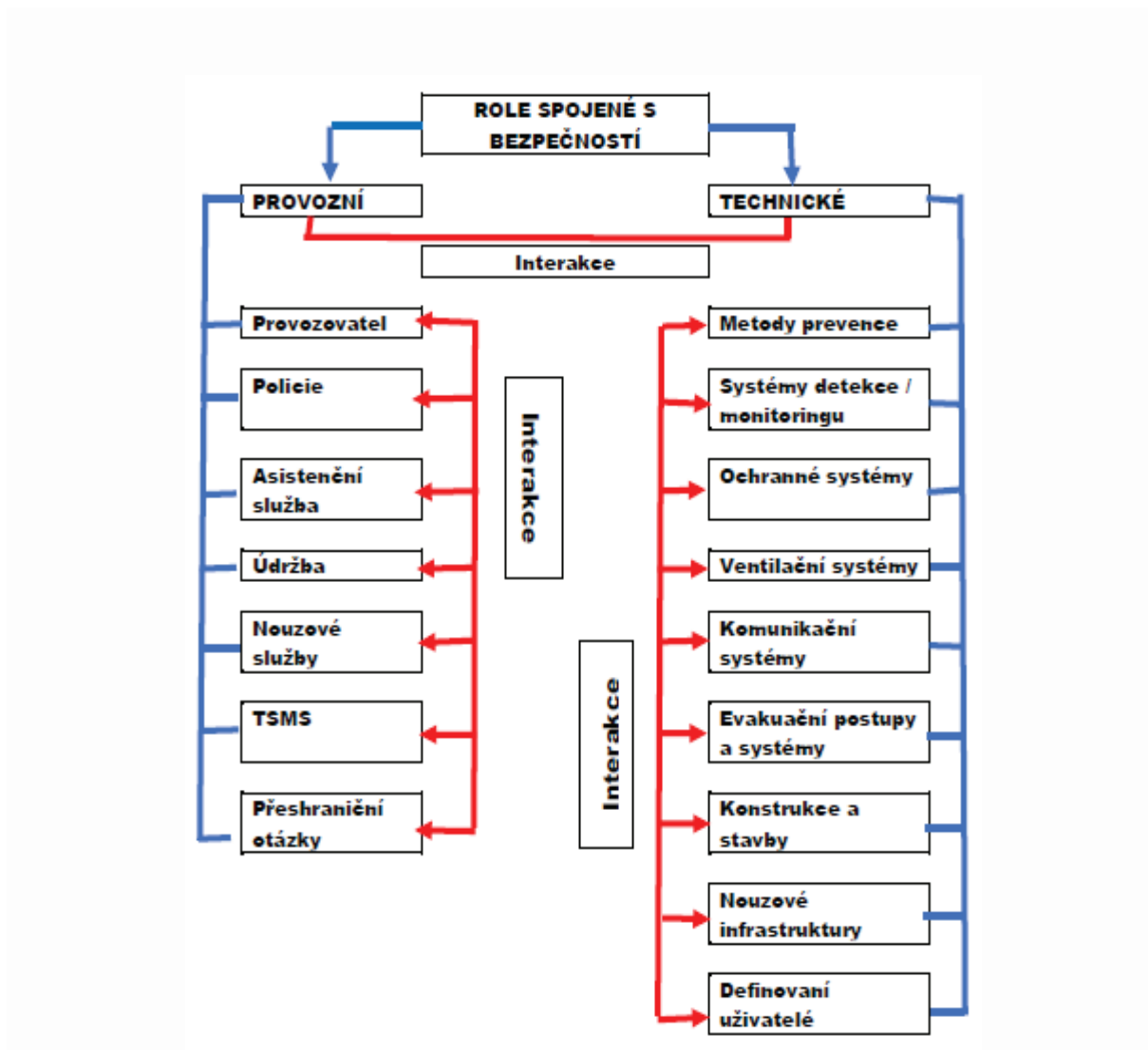
Aspekty důležité pro bezpečnost tunelů jsou zobrazeny na obrázku 2.

2 Použitá data a metody:

Pro potřeby vlastního výzkumu byla vytvořena databáze (Procházková 2020), která obsahuje údaje o 965 selháních tunelů a 53 případových studií od počátku 19. století; přičemž teroristické útoky v podzemní dráze jsou zaznamenány od r. 1883 (Day, Reed 2010). Případové studie bylo možno vytvořit až z některých dat v posledních 20 letech. Databáze byla vytvořena pomocí údajů uvedených v dostupných 57 zdrojích.

Data v databázi byla zpracována, jak běžnými statistickými metodami, tak speciálními postupy inženýrských disciplín pracujících s riziky jako jsou What, If, případová studie, CBA, rozdělení do kategorií podle příčiny nehod a určení logických propojení mezi zdroji nehod, zobrazení

pomocí diagramu rybí kost a zpracování systému pro podporu rozhodování o rizicích ve prospěch bezpečnosti (Procházková 2011).



Obrázek 2: Aspekty důležité pro bezpečnost tunelů na pozemních komunikacích; zpracováno dle (EU 2006).

3 Výsledky:

Tak jako u každého jiného technického díla, tak i u dopravních tunelů jsou příčiny selhání různorodé (Procházková, Procházka, Říha, Beran, Procházka 2018 a, b, Procházková, Procházka, Lukavský, Beran, Šindlerová 2019, Procházková, Procházka, Lukavský, Dostál, Ouhřabka 2019). Některým, jako jsou živelní pohromy, nelze zabránit, jiné vznikají chybami a

neznalostmi při projektování, výstavbě a provozu, další jsou spojené s našimi neznalostmi o všech možných variantách chování tunelu, jako složitého technického díla.

Kritická analýza údajů v databázi (Procházková 2020) ukazuje, že příčinou každého selhání dopravního tunelu je zpravidla kombinace několika faktorů. Na základě detailní analýzy jsou hlavní příčiny selhání následující:

1. Živelní pohromy:

- zaplavení tunelu dešťovou vodou,
- povodeň,
- zemětřesení,
- sesuv svahu,
- nepříznivé meteorologické podmínky: snížená viditelnost; vysoká koncentrace kouře; mlha; náledí.

2. Havárie vně tunelu:

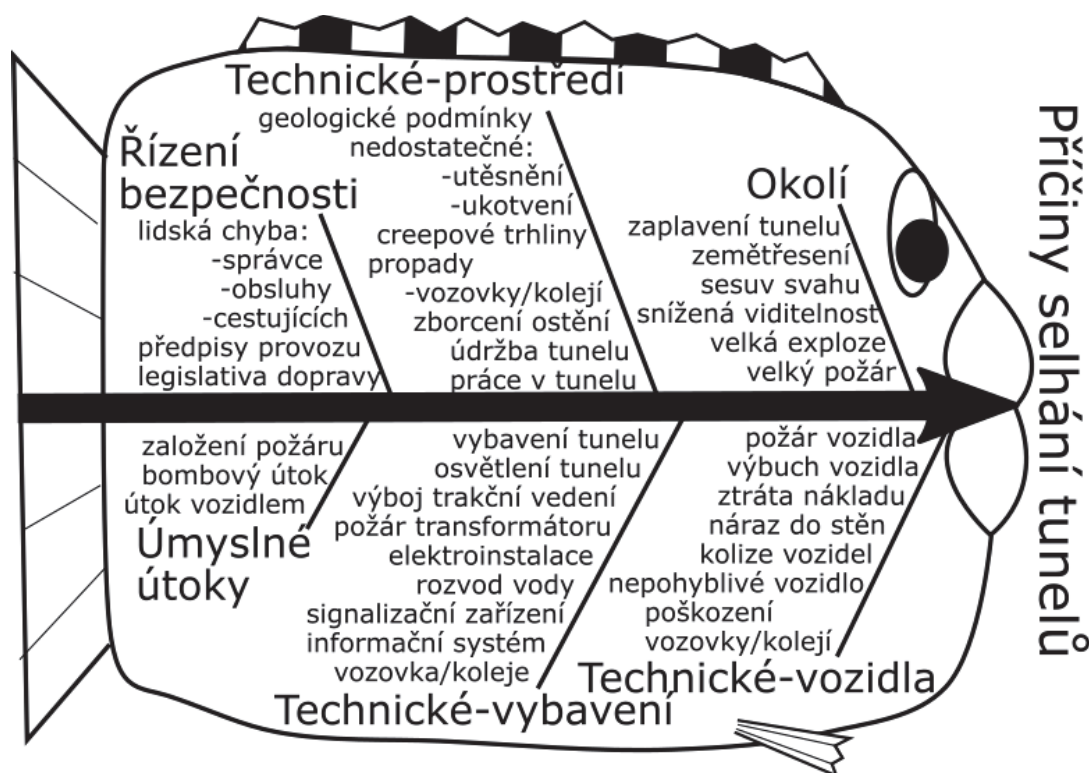
- velká exploze v okolí,
- velký požár v okolí.

3. Technické příčiny spojené s objektem tunelu:

- nedostatečné informace o geologických podmínkách a geotechnických poměrech, které byly použity při výstavbě tunelu,
- creepové trhliny ve stropě a stěnách tunelové trouby,
- nedostatečné utěsnění stropu, podlahy či stěn tunelu – průsaky vody (způsobují kluzkou vozovky, což je příčinou dopravních nehod),
- nedostatečné ukotvení tunelu,
- propady vozovky či kolejí,
- zborcení ostění stěn,
- nedostatečné vybavení tunelu,
- nedostatečné osvětlení tunelu,
- nedostatečná údržba tunelu,
- nekvalitně provedené opravy v tunelu,
- elektrický výboj na trakčním vedení při průjezdu vlaku,
- požár transformátoru,
- závada na elektroinstalaci tunelu a popř. následný požár,
- závada na rozvodu vody v tunelu,

- závada na signalizačním zařízení v tunelu,
 - závada na informačním systému tunelu.
4. Technické příčiny spojené s vozidly:
- technická závada na vozidle a následný požár nebo exploze; speciální problém nastává, když vozidlo veze nebezpečné látky, které se aktivují – dochází k požáru, explozi a kontaminaci ovzduší, které někdy nabývají katastrofických rozměrů, tj. vznikají vysoce nebezpečné jevy, jako jsou BLEVE a VCE,
 - ztráta nákladu a vytvoření překážky, která následně způsobí dopravní nehodu,
 - náraz vozidla či vlaku do stěny tunelové trouby (technická závada),
 - dopravní nehody vozidel uvnitř tunelu způsobené kolizí vozidel nebo nárazem vozidla do stěn či stropu tunelu; speciální problém nastává, když vozidlo veze nebezpečné látky, které se aktivují – dochází k požáru, explozi a kontaminaci ovzduší, které někdy nabývají katastrofických rozměrů, tj. vznikají vysoce nebezpečné jevy, jako jsou BLEVE a VCE. Jejich příčiny:
 - technická závada na vozidle či vlaku – zadření motoru, přehřátí či selhání brzd, elektrický zkrat, aj.,
 - závady na elektroinstalaci nebo na topení či klimatizaci vedoucí k požáru,
 - požár nebo výbuch zboží,
 - technická závada na vozovce či na kolejích,
 - lidská chyba řidiče, strojvedoucího při řízení vozidla (kolize, nerespektování značek, únava),
 - nedbalost – nedopalek cigarety,
 - úmysl – žhář, bombový útok ve vlaku,
 - práce na údržbě tunelu,
 - poškození vozovky nebo kolejí.
5. Nedostatky v řízení bezpečnosti tunelu:
- lidská chyba správce tunelu, obsluhy řízení provozu v tunelu,
 - nekvalitní předpisy pro řízení provozu v tunelu.
6. Úmyslné útoky – založení požáru, umístění a aktivace bomb.
7. Nedostatečná legislativa – např. chyběly striktně stanovené požadavky na provoz vozidel s nebezpečnými látkami stanovené v ADR (UN 2019) a COTIF (OTIF 2018).

Diagram rybí kosti (Fishbone diagram) zobrazující základní kategorie příčin selhání tunelů je uveden na obrázku 3.



Obrázek 3: Zdroje rizik selhání tunelů na pozemních komunikacích.

4 Závěr:

53 případových studií bylo vyhodnoceno metodami What, If a FTA (Procházková 2011). Výsledky jsou rozsáhlé (cca 295 stran v databázi (Procházková 2020)); jejich stručné vyhodnocení s příkladem je ve stádiu zpracování.

Kritická analýza selhání tunelů i případových studií (Procházková 2020) v databázi potvrdila výzkumy a zkušenosti, shrnuté v práci (Procházková, Procházka, Lukavský, Dostál, Ouhřabka 2019). Jde o to, že velkou roli hraje lidský faktor, a to jako původce havárií, jeho projevy ukázala již práce (Reason 1990). Provedená analýza selhání tunelů potvrdila výsledky obsažené v odborné literatuře a shrnuté v pracích (Procházková 2015,2017, Procházková, Procházka, Říha, Beran, Procházka 2018 a, b, Procházková, Procházka, Lukavský, Beran, Šindlerová 2019, Procházková, Procházka, Lukavský, Dostál, Ouhřabka 2019), a účast lidského faktoru na více než 80 % selhání tunelů. Projevily se tři hlavní příčiny. První příčinou jsou lidské chyby, které mají původ ve špatné komunikaci a spolupráci. Druhou příčinou je nereagování nebo

nedostatečná reakce obsluhy a řídicích pracovníků na situace, které mají potenciál způsobit selhání tunelu. Třetí příčinou je, že řídicí pracovníci i obsluha přijímají vysoké riziko, aniž by měli dostatečné povědomí o jeho dopadech.

Analyzovaná selhání tunelů vznikla buď výskytem škodlivého jevu (pohromy), se kterým se v projektu nepočítalo, anebo se podcenila jeho velikost, anebo kumulací mnoha malých škodlivých příčin, které samy o sobě nemají významný škodlivý potenciál, v krátkém časovém intervalu. Jejich kumulace je příčinou latentních podmínek, které mohou mít dlouhou inkubační dobu, která vyplývá z faktu, že velká množství zdrojů selhání mohou být založena v systémech a projeví se, až se objeví spouštěč (trigger) ve formě lidské chyby. Proto pro prevenci selhání tunelů je třeba se vyvarovat:

- velkých chyb v prevenci rizik,
- a také výskytu drobných chyb, jejichž realizace v krátkém časovém intervalu je nebezpečná, což potvrzuje např. i práce (Geysen 2001).

Poděkování:

Autoři děkují za podporu EU a MŠMT, grant na projekt RIRIZIBE, CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002649, a TAČR, grant na projekt PRKODI, CK01000095.

Použitá literatura:

DAY, J. R., REED, J., 2010. *The Story of London's Underground*. ISBN 978-1-85414-341-9. London: Capital Transport, 176p.

EU, 2006. *Project Safe-T. Safety in Tunnels Thematic Network, 2003-2006*. Brussels: EU. www.safetunnel.net

GEYSEN, W., 2001. The Acceptance of Systemic Thinking in Various Fields of Technology and Consequences on Respective Safety Philosophies. In: *Safety of Modern Systems. Congress Documentaion Saarbruecken 2001*. ISBN 3-8249-0659-7. Cologne: TÜV- Verlag GmbH, pp. 19-27.

OTIF, 2018. *The Convention Concerning International carriage by Rail*. www.otif.org

PROCHÁZKOVÁ, D., 2011. *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. ISBN 978-80-01-04842-9. Praha: ČVUT, 369p.

PROCHÁZKOVÁ, D., 2012. *Bezpečnost kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05103-0. Praha: ČVUT, 318p.

- PROCHÁZKOVÁ, D., 2013. *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05245-7. Praha: ČVUT, 223p.
- PROCHÁZKOVÁ, D., 2015. *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN: 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT, 208p.
- PROCHÁZKOVÁ, D., 2017. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. ISBN 78-80-01-06182-4. Praha: ČVUT 2017, 364p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- PROCHÁZKOVÁ D., 2018. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT, 222p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>
- PROCHÁZKOVÁ. D., 2020. *Databáze selhání tunelů na pozemních komunikacích*. Praha: Archiv ČVUT.
- PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., ŘÍHA, J., BERAN, V., PROCHÁZKA, Z. , 2018a. *Řízení rizik procesů spojených se specifikací a umístěním technického díla do území*. ISBN: 978-80-01-06467-2. Praha: ČVUT, 134p., <http://hdl.handle.net/10467/78522>
- PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., ŘÍHA, J., BERAN, V., PROCHÁZKA, Z., 2018b. *Řízení rizik spojených s ukončením provozu technického díla a s předáním území do dalšího užívání*. ISBN 978-80-01-06527-3. Praha: ČVUT, 114p. <http://hdl.handle.net/10467/79182>
- PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., BERAN, V., ŠINDLEROVÁ, V., 2019. *Řízení rizik procesů spojených se zhotovením technického díla a jeho uvedením do provozu*. ISBN 978-80-01-06609. Praha: ČVUT, 207p. <http://hdl.handle.net/10467/8446634>
- PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRABKA, L., 2019. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT, 465 p. <http://hdl.handle.net/10467/85867> doi:10.14311/BK.9788001066751
- REASON, J., 1990. *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- UN, 2019. *European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR 2019)*. <http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2019>.
- ZAIRI, M., 1991. *Total Quality Management for Engineers*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.