

TIHOMIR SUBOTIĆ*, BRANISLAV BOŠKOVIĆ**

ISTRAŽIVANJE KONCEPTA OTPORNOSTI I NJEGOVE PRIMENE NA ŽELEZNIČKOM TRANSPORTNOM TRŽIŠTU

RESEARCH ON THE RESILIENCE CONCEPT AND ITS APPLICATIONS IN THE RAILWAY TRANSPORT MARKET

UDK: 656.2/658+658.8

REZIME:

U savremenim poslovnim sistemima velika pažnja se posvećuje održavanju stanja optimalnog funkcionisanja u uslovima poremećaja. Potreba za održavanjem sistema tokom poremećaja na pozitivno funkcionalnom nivou izrodila je relativno novi koncept pod nazivom otpornost (resilience). Koncept otpornosti uz rame sa tradicionalnim konceptom upravljanja rizikom predstavljaće neizostavni deo funkcionalnog okvira svakog inženjerskog, organizacionog i ekonomskog sistema. Rad je posvećen istraživanju koncepta otpornosti i njegove primene na železnici, sa posebnim osvrtom na mogućnost njegove primene kod železničkog prevoznika u uslovima otvorenog transportnog tržišta. Rezultati istraživanja se ogledaju u prikazu teorijske osnove koncepta otpornosti iz različitih oblasti, predstavljanju glavnih razlika koncepta otpornosti u odnosu na koncept rizika, predstavljanju kvantitativnih modela za iskazivanje otpornosti u različitim oblastima, istraživanju primene koncepta na železnici i mogućnosti njegove primene u uslovima otvorenog železničkog transportnog tržišta.

Ključne reči: otpornost, železnica, tržište, restrukturiranje, kvantifikacija, rizik, liberalizacija

SUMMARY:

In modern business systems, great attention is focused on optimal functioning during disruptive events. The need for positive system function during disruptive events allowed a new concept named resilience to emerge. Resilience alongside the traditional risk management concept will be an indispensable part of any major engineering, organizational, and economic system framework. The main goal of the paper is to present the resilience concept application in the railway sector, and possibilities for its application on the railway public operator in the open railway market conditions. Results of the research are the following: resilience concept theory is presented from various fields, main differences between the risk concept and resilience concept are described, quantitative models for resilience expression are sublimed from various fields, resilience concept usage in the railway sector is described, and possibilities of its application in the open railway market conditions.

Key words: resilience, railway, market, restructuring, quantification, risk, liberalization

* Tihomir Subotić, Univerzitet u Istočnom Sarajevu - Saobraćajni fakultet, Doboj, Vojvode Mišića 52, subotic.tihomir@gmail.com

** Prof. dr Branislav Bošković, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, b.boskovic@sf.bg.ac.rs

1. UVOD

U globalizovanom svetu i internacionalizovanom poslovnom okruženju, otvorenom na uticaje i poremećaje, veliki akcenat se stavlja na bezbednost i održivost raznih infrastrukturnih, organizacionih, poslovnih, ekonomskih, društvenih, socijalnih i drugih sistema. Inženjerski sistemi, posebno kritična infrastruktura, i njihova funkcionalnost mogu imati veliki uticaj na živote ljudi, bezbednost, ekonomiju i sveukupno okruženje. Održavanje ovih sistema u stanju normalne funkcionalnosti i njihova zaštita od neželjenih događaja, do sada, sprovodila se kroz dobro poznati koncept upravljanja rizikom. Koncept rizika u svojoj osnovi se bavi prevencijom i mitigacijom. Međutim, pitanje kako se ponašati kada se nepoželjni događaj ostvari i kako se oporaviti od njega dovelo je do razmišljanja u novom pravcu i stvaranja koncepta otpornosti.

Rad ima dva cilja. Prvi, da se kroz pregled literature definiše koncept otpornosti, razlike između rizika i otpornosti, prikažu okviri za njegove primene i kvantifikacije u inženjerskom, organizacionom i ekonomskom kontekstu. Drugi cilj rada je da se kroz pregled literature prikažu dosadašnji dometi koncepta otpornosti na železnici i mogućnosti njegove primene u uslovima otvorenog železničkog transportnog tržišta.

Sprovedeno istraživanje ima sledeće doprinose:

- daje prikaz definicija otpornosti sa različitim stanovišta,
- prikazuje više modela za kvantitativno iskazivanje otpornosti u različitim oblastima,
- ustanovljene su tri osnovne razlike između koncepta rizika i koncepta otpornosti,
- izvršen je pregled literature u vezi sa primenom otpornosti na železnici,
- prikazan je okvir mogućnosti primene otpornosti u uslovima otvorenog železničkog transportnog tržišta.

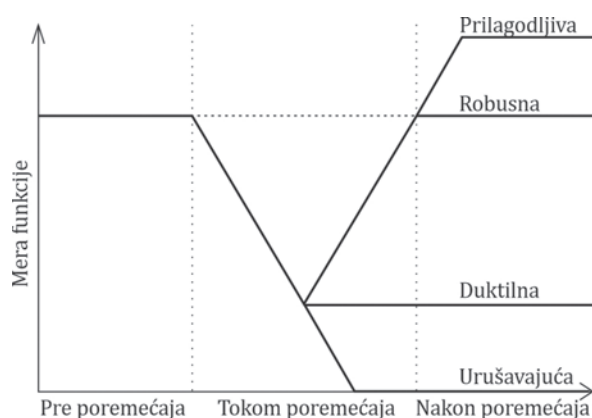
Strukturu rada čine uvod, četiri glavna poglavlja, zaključak i popis literature. U poglavlju dva istraživanja prikazane su definicije koncepta otpornosti sa različitih stanovišta i detaljno je opisana primena koncepta u inženjerskom, organizacionom i ekonomskom smislu. Treće poglavlje rada opisuje tri glavne razlike između koncepta rizika i otpornosti. U četvrtom poglavlju prikazani su različiti modeli za kvantitativno iskazivanje otpornosti. Peti deo rada daje pregled literature otpornosti na železnici i mogućnosti njegove primene. Na kraju rada dat je zaključak uz popis literature.

2. KONCEPT OTPORNOSTI

Otpornost kao koncept proizašao je iz oblasti psihologije i psihijatrije u prvoj polovini 18. veka [1]. Neki autori pak tvrde da je poreklo koncepta iz oblasti fizike materijala [2]. Prema izvorima [1] [3] [4] [5], prvu značajniju konceptualizaciju otpornosti postavio je Holling (u ekologiji) u radu pod nazivom „Otpornost i stabilnost ekoloških sistema“, gde se otpornost predstavlja kao mera sposobnosti sistema da upije promene i opstane [6]. Iz konceptualizacije namenjene za ekologiju, danas, otpornost se primenjuje u oblastima kao što su inženjerstvo, ekonomija, sociologija, organizacija, menadžment i dr. [7] [8]. Sama reč resilience (otpornost), od latinske reči resiliere, označava sposobnost povratka u početno stanje [9] [4] [10].

2.1. Definicije otpornosti

Definicija i karakteristike koncepta otpornosti zavise od specifične oblasti u kojoj se primenjuje. Moderno shvatanje koncepta otpornosti podrazumeva proces, kvantifikovan u pogledu mere funkcionalnosti sistema i vremena reagovanja, kroz koji posmatrani sistem prolazi kao odgovor na poremećaje [11]. U načelu, osnova koncepta je povratak sistema u prvobitno funkcionalno stanje. Međutim, u nekim oblastima, kao što je poslovanje, gde su okruženja veoma dinamična i zavise od velikog broja elemenata, povratak sistema u prvobitno stanje funkcionalnosti predstavlja veliki izazov. Sistem koji prolazi kroz određeni poremećaj karakterišu tri vremenska perioda: period pre poremećaja, period tokom poremećaja i period nakon poremećaja. Tokom ovih vremenskih perioda otpornost sistema se može grafički prikazati sa jednom od četiri karakteristične funkcije otpornosti sistema (slika 1). Ukoliko se sistem nakon poremećaja vrati na početni nivo funkcionisanja, za njega se kaže da ima robusnu funkciju otpornosti sistema [11]. U idealnom slučaju, funkcionalnost sistema se kroz radnje i aktivnosti za obnovu može vratiti na veći nivo od početne funkcionalnosti. Tada se kaže da sistem ima prilagodljivu funkciju ponašanja otpornosti [11]. U idealnom slučaju, funkcionalnost sistema se kroz radnje i aktivnosti za obnovu može vratiti na veći nivo od početne funkcionalnosti. Tada se kaže da sistem ima prilagodljivu funkciju otpornosti [11]. Ukoliko se nakon poremećaja zadrži određeni nivo funkcionalnosti, ali ne kao na nivou pre poremećaja, za sistem se kaže da ima duktilnu funkciju otpornosti [11]. Za sistem koji nakon poremećaja u potpunosti gubi svoju funkcionalnost kaže se da ima urušavajuću funkciju otpornosti sistema [11].



Slika 1. Funkcije otpornosti sistema

Iz razloga različitog definisanja koncepta u različitim oblastima primene, u tabeli 1. su prikazane definicije koncepta iz različitih oblasti u kojima je našao primenu.

Tabela 1. Ciljevi i mere za njihovo postizanje

Oblast	
Definicija	Referenca
<i>Otpornost zajednica</i>	
Otpornost zajednice se definiše kao sposobnost socijalnih jedinica (organizacija, zajednica) da ublaže opasnosti, obuzdaju efekte katastrofa i sprovedu aktivnosti oporavka na načine da minimalizuju društvene poremećaje i ublaže efekte budućih katastrofa.	[7]
<i>Otpornost kritične infrastrukture</i>	
Otpornost se definiše kao sposobnost sistema da nastavi normalno funkcionisati na nivou funkcionalnosti koji je bio uspostavljen pre poremećaja.	[14]
Otpornost se definiše kao sposobnost oporavka od poremećaja, bilo na početni nivo ili na novi prilagođeni nivo, a na osnovu novih zahteva.	[15]
Otpornost se definiše kao sposobnost prepoznavanja, upijanja, prilagođavanja i oporavljanja od poremećaja.	[16]
<i>Organizaciona otpornost</i>	
Organizaciona otpornost podrazumeva sposobnost promene u odgovoru na neočekivane događaje, kao i sposobnosti predviđanja takvih događaja.	[5]
Organizaciona otpornost uključuje sposobnost neke organizacije da izdrži systemske diskontinuitete i kapacitet da se prilagodi novim okruženjima proizašlim iz različitih izvora rizika.	[17]

Otpornost je jedan od najpoželjnijih kapaciteta u kojima organizacija koristi svoje resurse zajedno sa relacijama u okruženju, kako bi održala i odredila prihvatljiv nivo pripremljenosti i sposobnosti da odgovori i oporavi se od nepredviđenih kriza.	[18]
Organizaciona otpornost predstavlja sposobnost organizacije da rekonfiguriše organizacione resurse, optimizuje organizacione procese, preobliči organizacione odnose u krizi, brzo se oporavi od krize i iskoristi krizu da postigne rast.	[19]
<i>Ekonomska otpornost</i>	
Statična ekonomska otpornost predstavlja efikasno korišćenje dostupnih resursa u određenom trenutku.	[3]
Dinamična ekonomska otpornost predstavlja ubrzan oporavak kroz popravku i rekonstrukciju osnovnog kapitala.	[3]
<i>Generalne definicije otpornosti</i>	
Otpornost se definiše kao sposobnost sistema da se oporavi nakon teških poremećaja, nepogoda ili drugih vidova ekstremnih događaja	[1]
Otpornost odražava sposobnost sistema da upije i oporavi se od poremećaja transformišući svoju strukturu i funkcionalna sredstva, suočavajući se sa dugoročnim promenama i neizvesnostima.	[10]

2.2. Otpornost u različitim oblastima

S obzirom da se otpornost primenjuje u različitim oblastima potrebno je ustanoviti na koji način su konceptualizacije otpornosti povezane, a sve sa ciljem razvijanja što generalizovanijeg pristupa u primeni ovog koncepta. Oblasti od interesa za železnicu su: inženjersko, organizaciono i ekonomsko stanovište otpornosti.

Inženjerska otpornost. Inženjerska otpornost se dovodi u vezu sa kritičnom infrastrukturom. Otpornost je važan atribut u kritičnim infrastrukturnim sistemima [12]. Kritična infrastruktura se definiše u SAD kao sistemi i sredstva, bilo fizička ili virtuelna, koja su od vitalnog značaja za državu. U slučaju njenog onesposobljavanja ili uništavanja došlo bi do narušavanja bezbednosnih, nacionalnih, ekonomskih i zdravstvenih pitanja [13]. Rehak [14] definiše kritičnu infrastrukturu kao sistem koji sadrži civilnu infrastrukturu u kojem bi poremećaj izazvao ozbiljan udar na živote i zdravlje populacije,

a koja obuhvata električnu energiju, naftu, gas, snabdevanje vodom, komunikacije i zdravstvene usluge [14]. Slično, u Zakonu o kritičnoj infrastrukturi u Srbiji, ona se definiše kao sistemi, mreže, objekti ili njihovi delovi čiji prekid funkcionisanja ili prekid isporuke robe, odnosno usluga, može imati ozbiljne posledice na nacionalnu bezbednost, zdravlje i živote ljudi, imovinu, životnu sredinu, bezbednost građana, ekonomsku stabilnost, odnosno ugroziti funkcionisanje Republike Srbije [15].

Sistemi kritične infrastrukture obuhvataju i transportne sisteme [12], u koje spada i železnica. Otpornost u ovom kontekstu opisana je kao sposobnost da se prepozna, upije, prilagodi, oporavi od poremećaja i izvrši povratak na početno ili prilagođeno stanje uz pružanje minimalnog nivoa usluga [13]. Potrebno je naglasiti da se, i usled povećane uloge otpornosti u različitim oblastima inženjerstva, javljaju raznolikosti u definicijama otpornosti [13], što je generalno slučaj za koncept otpornosti. Posledično, različiti radni okviri koji se koriste u oblasti inženjerstva otpornosti imaju nizak stepen standardizacije i mogu ponuditi nejasna uputstva [13] [16].

Organizaciona otpornost. Današnje poslovno okruženje sve je kompleksnije i nestabilnije, što dolazi sa globalizacijom i internacionalizacijom poslovnih aktivnosti [17]. S tim u vezi, kako će kompanije upravljati rizikom i nastaviti funkcionisati tokom kriza postalo je ključno pitanje za donosiocje odluka [17]. Postoji rastući broj dokaza da kompanije koje upravljaju otpornošću imaju veću sposobnost da se prilagode promenama na tržištu [17], odnosno da ostanu relevantan konkurent na njemu [13]. U uslovima liberalizovanog transportnog tržišta, organizaciona otpornost će biti jedan od kapaciteta koji će javna železnica morati razvijati kako bi opstala na njemu. Autori u više radova [13] [18] [19] [20] potkrepljuju ovu činjenicu navodeći da od organizacione otpornosti zavisi konkurentnost. Kao u slučaju inženjerske otpornosti, definicije i metodologije organizacione otpornosti ne pronalaze konsenzus u literaturi [17] [21] [22].

Organizaciona otpornost se u nekim slučajevima dovodi u vezu sa konceptima kao što su menadžment kriza [23] [17] [24] [25] i menadžment poslovnih kontinuiteta [24] [21] [20]. Standardi koji regulišu oblast menadžmenta poslovnih kontinuiteta su ISO 22301 i ISO 22313. Identifikacija i procena rizika u skoro svim organizacijama zasnovane su na primenama standarda ISO 31000 i 22301 [21]. Upravljanje rizikom je važan interni organizacioni

proces namenjen poboljšanju otpornosti još u fazi prevencije [14]. Kako je otpornost dinamičan proces, ona se može poboljšati vremenom održavanjem interne i eksterne svesti, izgradnjom iskustva, učenjem i uvođenjem promena [23]. U veoma nestabilnim i neizvesnim vremenima, organizacije treba da razvijaju kapacitet otpornosti. On treba da im omogući sposobnost efikasnog nošenja sa neočekivanim događajima, oporavke od kriza, pa čak i da doprinese budućim uspesima [24].

Ekonomska otpornost. Temelje koncepta ekonomske otpornosti postavio je Adam Rose u radovima [3] i [26] o ekonomskoj otpornosti. Ekonomsku otpornost je podelio na statičnu i dinamičnu. Statičnu otpornost definiše kao sposobnost sistema da upije ili amortizuje oštećenja i gubitke, a u generalniju definiciju ekonomske otpornosti inkorporira koncept dinamičnosti, pa tvrdi da dinamična ekonomska otpornost predstavlja brzinu oporavka od poremećaja i povratka u željeno stanje. U oba konteksta razlikuje otpornost kao inherentnu i prilagodljivu. Inherentna otpornost se odnosi na uobičajenu sposobnost otpornosti da se nosi sa poremećajima (npr. sposobnost firme da zamene inpute smanjene delovanjem poremećaja drugim inputima ili sposobnost tržišta da preraspodeli resurse kao odgovor na cenovne signale [26]). Prilagodljiva otpornost se odnosi na sposobnost održavanja funkcije na osnovu domišljatosti ili dodatnog napora (npr. povećane mogućnosti zamene inputa u individualnim poslovnim operacijama ili ojačavanje tržišta kroz pružanje informacija za povezivanje proizvođača sa kupcima [3]). Dinamična otpornost odgovara pomeranju granice efikasnosti, ali ne nužno uz investicije.

Ekonomsku otpornost konceptualizuje kao stanja i odgovore na poremećaj nakon što se on ostvari, što se razlikuje od koncepcija drugih autora u kojima se i radnje pre poremećaja uključuju u kontekst koncepta otpornosti. Takođe, ekonomska otpornost se definiše na tri nivoa [3]: mikroekonomskom, mezoekonomskom i makroekonomskom. Mikroekonomski nivo podrazumeva ponašanje firme, kompanija, domaćinstava ili organizacija; mezoekonomski podrazumeva ekonomski sektor, individualna tržišta ili kooperativne grupe; makroekonomski podrazumeva sve individualne jedinice i tržišta kombinovano, uključujući i interaktivne efekte.

Železnica pripada mikroekonomskom nivou otpornosti, dok samo tržište pripada mezo i makroekonomskom nivou. Primeri mikroekonomske otpornosti odnose se na operacije poslovanja i organizacije. Na

makroekonomskom nivou postoji veliki broj međuzavisnosti na nivou cena i broja interakcija koje utiču na otpornost. To implicira da na otpornost u jednom sektoru mogu u velikoj meri uticati aktivnosti koje su povezane ili nepovezane sa otpornošću u drugom sektoru, što delovanje na otpornost i njeno merenje uveliko otežava [3].

3. OTPORNOST I RIZIK — RAZLIKE U KONCEPTIMA

S obzirom da su pojmovi rizika i otpornosti bliski, kao i da se prepliću u pojedinim slučajevima, važno je razumeti ključne razlike. Ovde su objašnjene tri razlike u njihovim konceptima.

Prva razlika. Koncept rizika, za razliku od otpornosti, standardizovala je Međunarodna organizacija za standardizaciju standardom ISO 31000. Ova činjenica u prvom nivou olakšava posao menadžerima i donosiocima odluka pri upravljanju rizikom. Prema ISO 31000 standardu iz 2018. godine, rizik se definiše kao efekat nepoznatog na ispunjenje postavljenih ciljeva. Efekat može biti pozitivan, negativan ili oboje i on se može iskazati kroz prilike ili pretnje [27].

Duga razlika. Priprema za nepoželjne događaje zahteva da redovne procene operativnih procedura, bezbednosne procedure, protivmere i metode za procenu rizika budu ključni aspekti procene otpornosti [13]. Procena otpornosti obuhvata procenu rizika kao preporemećajno orijentisani element [28], ali ide i dalje od toga jer uključuje i procenjuje postporemećajne strategije za unapređenje funkcionalnosti sistema tokom budućeg rada [11]. Okvir rizika razmatra napore za prevenciju poremećaja pre njihovih nastanka, dok se otpornost fokusira i na oporavak od poremećaja nakon njihovih ostvarenja [29]. Jednom kada se poremećaj ostvari, faza rizika se završava [28]. Iz navedenog se zaključuje da koncept procene rizika može biti sastavni deo koncepta procene otpornosti, i da je povezan samo sa pre-poremećajnim preventivnim radnjama, što nije slučaj za otpornost.

Трета разлика. U osnovi, jedna od razlika u konceptima je u metodologiji njihove kvantifikacije. Koncept rizika kvantifikuje verovatnoću i posledice poremećaja sa ciljem utvrđivanja kritičnih komponenti sistema [29]. Otpornost je, pak, mnogo kompleksnija za kvantifikaciju. Ne postoji jedinstven način za njeno iskazivanje i merenje, već se njen radni okvir menja u zavisnosti od oblasti u kojoj se koristi, odnosno od konkretnih slučajeva u kojima se meri i procenjuje.

Mnogo različitih pristupa i stanovišta treba uzeti u obzir kada je u pitanju merenje otpornosti [16].

4. KVANTIFIKACIJA OTPORNOSTI

Nedostatak standardizacije, različiti pristupi u različitim oblastima, drugačiji pogledi na koncept, različiti kriterijumi za procenu i analizu samo su neki od razloga koji otežavaju definisanje opšteg pristupa kvantifikaciji otpornosti. U ovom delu rada predstavljen je pregled različitih pristupa u merenju otpornosti prema oblastima u kojima se primenjuje.

4.1. Inženjerska otpornost

U inženjerstvu najčešće primenjivane metode kvantifikacije otpornosti su probabilistički modeli, teorija grafova, fazi zaključivanje i analitički modeli [30]. Aktuelne metode kvantifikacije su, uglavnom, nepotpune, imaju nizak nivo standardizacije i u velikoj meri zavise od koncepta i pristupa, koji proizilaze iz drugih dobro uspostavljenih i dobro razrađenih metodoloških okvira, čime ne uspevaju dati rešenja u kontekstu inženjerstva otpornosti [16] [30]. U ovom delu rada dat je kratak prikaz nekoliko konceptualno različitih modela za kvantifikaciju otpornosti.

Bruneau et al. [7] predstavljaju pristup zasnovan na pretpostavci da je mera $Q(t)$ definisana kao kvalitet infrastrukture na nivou zajednice. Njena funkcionalnost se kreće u granicama od 0 % do 100 % i ona varira u vremenu. Ukoliko se poremećaj desi (u ovom slučaju autori navode zemljotres) u vremenu t_0 , smanjiće kvalitet infrastrukture na određeni nivo (npr. 50 %). Obnova infrastrukture se očekuje tokom vremena, do trenutka t_1 kada je u potpunosti obnovljena. Kako je prikazano u jednačini (1), gubitak otpornosti, R , u navedenom primeru, može se meriti veličinom očekivane degradacije kvaliteta tokom vremena [7].

$$R = \int_{t_0}^{t_1} [100 - Q(t)] dt \quad (1)$$

Dalje autori navode da je otpornost fizičkih i socijalnih sistema sačinjena od sledećih svojstava [7]:

- Robusnost (robustness) - sposobnost elemenata ili sistema da izdrže određeni nivo stresa ili zahteva bez degradacije ili gubitka funkcije.
- Suvišnost (redundancy) - mera do koje elementi ili sistemi postoje, a koji su zamenjivi, tj. sposobnost da zadovolje funkcionalne zahteve tokom poremećaja.

- Obilatost u sredstvima (resourcefulness) - kapacitet da se identifikuju problemi, odrede prioriteta i mobilizuju resursi kada postoji pretnja od poremećaja; može se još konceptualizovati kao sposobnost alokacije materijala i ljudskih resursa sa ciljem ostvarivanja prioriteta i postavljenih ciljeva.
- Hitrost (rapidity) - kapacitet da se ispune prioriteta i postignu ciljevi na vreme, kako bi se obuzdali gubici i izbegli budući poremećaji.

Cimmelaro, Reinhorn i Bruneau [31] razvijaju drugačiji pristup od prethodnog. Otpornost, R, definišu kao funkciju koja predstavlja sposobnost zadržavanja funkcionalnosti tokom kontrolnog vremena T_{LC} . Vreme oporavka, T_{RE} , period je potreban za obnovu funkcionalnosti sistema do željenog nivoa. Jednačinom (2) predstavljen je način proračuna otpornosti za ovaj pristup [31].

$$R = \int_{t_{0E}}^{t_{0E} + T_{LC}} [Q(t)/T_{LC}] dt \quad (2)$$

Francis i Bekera [13] predlažu pristup sa znatnim razlikama u odnosu na prethodna dva. Autori kvantifikuju otpornost kroz tri kapaciteta otpornosti: kapacitet upijanja, kapacitet prilagođavanja i kapacitet obnavljanja. Kapacitet upijanja definiše se kao nivo do kojeg sistem može upijati efekte poremećaja i minimalizovati posledice. Kapacitet prilagođavanja se definiše kao sposobnost sistema da se prilagodi poremećajima prolaskom kroz promene. Kapacitet obnove karakteriše se brzinom povratka na normalnu ili željenu funkcionalnost. Jednačinom (3) predstavljen je način proračuna [13].

$$\rho_i = S_p \times (F_r/F_o) \times (F_d/F_o) \quad (3)$$

U ovom slučaju S_p predstavlja faktor brzine oporavka, F_o predstavlja originalni nivo funkcionalnosti, F_d predstavlja nivo funkcionalnosti nakon poremećaja, i F_r predstavlja nivo funkcionalnosti nakon obnove. [13].

Tamvakis i Xendis [30] i Francis i Bekera [13] predlažu pristup zasnovan na teoriji entropije. Autori [30] sugerišu da se teorija entropije može primeniti u različitim kontekstima za računanje otpornosti kroz iskazivanje nivoa neizvesnosti i poremećaja. Predlažu se dva načina za određivanje otpornosti kroz entropiju (jednačine (4) i (5)):

$$S = k \ln W \quad (4)$$

$$H = - \sum_{i=1}^K p_i \ln(p_i) \quad (5)$$

Prvi pristup predstavlja tzv. Boltzmannov zakon, gde je S entropija sistema, k je Boltzmann-ova konstanta

i W je verovatnoća da će sistem postojati u određenom stanju među svim alternativnim stanjima koja mogu postojati [30]. Drugi pristup predstavlja Shannon-ovo H, gde je H entropija sistema, p_i je verovatnoća da deo od N delova sistema pripada kategoriji i od mogućih K kategorija [30]. Sugeriše se da se entropija sistema može iskazati i kao suma individualnih entropija pojedinih komponenti sistema. Autori potkrepljuju upotrebu entropije u inženjerstvu otpornosti sledećim tvrdnjama [30]:

- Otpornost je svojstvo sistema koje opisuje kapacitet sistema da se suoči sa efektima ometajućeg događaja i da se oporavi na unapred definisan nivo performansi. Entropija je takođe svojstvo sistema koje opisuje nivo poremećaja sistema usled unutrašnjeg ili spoljašnjeg uzroka.
- Otpornost integriše nekoliko dimenzija koje variraju od tehničkih i ekonomskih do društvenih i organizacionih aspekata. Entropija je primenjiva na širok opseg sistema od inženjerskih i ekonomskih do antropoloških i društvenih.
- Otpornost se pokušava kvantifikovati pomoću jedinstvene metrike koja treba da izrazi ukupnu vrednost otpornosti međuzavisnih modula sistema. Ukupna entropija sistema može se proceniti kao zbir pojedinačnih entropija modula sistema.

Poslednji obrađeni pristup iz oblasti inženjerstva otpornosti odnosi se na inkorporiranje fazi logike u koncept otpornosti [12] [30] [32] [33]. Teorija fazi skupova pruža osnovu za formiranje modela nesigurnosti koji razmatra fazi skupove, subjektivne informacije i ljudsko znanje da bi se predstavile nesigurnosti u parametrima [33].

4.2. Organizaciona otpornost

Nestandardizacija i manjak konsenzusa u literaturi u pristupu kvantifikacije otpornosti ogleda se u organizacionoj otpornosti. Mali broj radova nudi kvantitativne modele za procenu otpornosti. Većina istražene literature iz oblasti organizacione otpornosti [2] [4] [5] [10] [18] [19] [20] [22] [24] [25] bavi se uopštenom konceptualizacijom bez konkretnih kvantitativnih pristupa. Autori koji su razvili ili primenjivali kvantitativne pristupe prikazani su u nastavku.

Van Trip, Ulieru i van Gelder [34] razvili su pristup za modelovanje organizacione otpornosti na primeru bezbednosnih regiona Holandije.

Arsovski, et al. [35] koristeći fazi logiku modelovali su izbor organizacionih faktora u procesnoj industriji malih i srednjih preduzeća.

Tasic, Amir, Tan i Khader [23] predstavljaju višestepenu analizu i procenu za jačanje organizacione otpornosti.

Rehak [14] u svom istraživanju razvija i predlaže ASOR model za procenu i organizacione otpornosti i otpornosti kritične infrastrukture na primeru Slovačke.

Chen, Xie i Liu [17] razvijaju pristup za kvantifikaciju na osnovu kapitalne otpornosti, strategijske otpornosti, kulturalne otpornosti, odnosne otpornosti i otpornosti učenja.

Ruiz-Martin, Paredes i Wainer [36] koriste kompleksnu mrežnu teoriju za procenu organizacione otpornosti na primeru nuklearnih eksternih planova.

4.3. Ekonomska otpornost

Rose [3] predstavlja grubu matematički model za ekonomsku otpornost u statičnom i dinamičnom kontekstu. Direktna statička otpornost (DSER) odgovara nivou individualne firme ili industrije (mikro ili mezonivo) - analiza parcijalne ravnoteže. Ukupna statična otpornost (TSER) odgovara ekonomiji na makro nivou - analiza opšte ravnoteže. Operativna mera DSER je stepen do kojeg procenjeno smanjenje direktnog odziva odstupa od maksimalnog potencijalnog smanjenja s obzirom na poremećaj [3]:

$$DSER = \frac{\% \Delta DY^m - \% \Delta DY}{\% \Delta DY^m} \quad (6)$$

$\% \Delta DY^m$ maksimalni procenat promene u direktnom odzivu, a $\% \Delta DY$ je procenjeni procenat promene u direktnom odzivu. U suštini, DSER je procentualno izbegavanje maksimalnog ekonomskog poremećaja.

5. PRIMENA KONCEPTA OTPORNOSTI NA ŽELEZNICI

Sveobuhvatni pregled literature otpornosti na železnici, sa fokusom na transportne sisteme i kvantitativne pristupe, izvršio je Bešinović [37] za period od 2008. do 2019. godine. Autor navodi da je cilj rada bio da se postavi specifična definicija otpornosti u oblasti železničkog transporta, kao i da se pruži savremeni pregled radova na temu otpornosti železnice. Za pregled literature autor je koristio ključne reči „rail“, „resilien“, „transport“ i „network“. Ukupno je pregledano 59 radova do 2019. godine. Glavni nalazi pregleda literature prema [37] su:

- Otpornost sadrži dva stanovišta: proaktivno i reaktivno. Prvo se odnosi na planiranje otpornog sistema. Drugo se odnosi na zaštitu nakon poremećaja. Oba stanovišta su jednako bitna i trebaju

biti tretirani kao gradivni elementi otpornosti u železničkom transportnom sistemu.

- Otpornost železničkog transportnog sistema je definisana kao sposobnost železničkog sistema da pruži efektivnu uslugu u normalnim uslovima, kao i da izdrži, upije, prilagodi se i brzo oporavi od poremećaja.
- Otpornost je sveobuhvatna mera sistema i pokriva sledeće karakteristike: ranjivost, preživljavanje, odgovor i oporavak. Dodatne proaktivne karakteristike su mitigacija i pripremljenost.
- Metrika otpornosti podeljena je na topološke i sistemski orijentisane metrike. Topološke metrike potiču iz teorije kompleksnih mreža, dok sistemski orijentisane metrike prevazilaze ograničenja metoda grafova i predstavljaju zahteve i snabdevanje.
- Sistemski orijentisana metrika je pogodnija za kvantifikaciju otpornosti železničkog transportnog sistema, dok je topološka prikladnija generalnim karakteristikama mreža.
- Sistemski orijentisane metode mogu biti simulacije, optimizacije ili metode vođene podacima (data-driven).
- Dostupnost istraživanja otpornosti na železnici je ograničena.
- Pristupi za procenu otpornosti i planiranje na železnici su još uvek relativno neistraženi.

5.1. Pregled literature

Pregled literature je sproveden uz pomoć Google pretraživača, Google Scholar pretraživača, baza podataka ScienceDirect, DOAJ, arXiv, SSRN, MDPI i manualnog proveravanja citirane literature i referenci u već pregledanim radovima. Reči „rail“, „railway“ i „resilience“ su korišćene kao ključne reči za pretragu radova u bazama i pretraživačima. S obzirom da je Bešinović [37] obuhvatio period od 2008. do 2019. godine, u ovom pregledu su uzeti radovi objavljeni od 2019. do 2022. godine. Ukupno su pronađena i pregledana 24 rada. Brojevi radova po izvorima i po godinama prikazani su u tabeli 2. i tabeli 3.

Tabela 2. Broj radova po godinama

Godina	Broj radova
2022.	13
2021.	8
2020.	1
2019.	2
Ukupno	24

Tabela 3. Broj radova po izvoru

Izvor (časopisi/zbornici/)	Broj radova
Realiability Engineering & System Safety	3
Journal of Transport Geography	2
Journal of Advanced Transportation	2
Sustainability	2
Electronics	1
MEST Journal	1
Železnice	1
Electronics	1
AARMS	1
ECCWS	1
Infrastructures	1
Archives of Transport	1
SSRN	1
arXiv	1
Computational Intelligence and Neuroscience	1
Physica A: Statistical Mechanics and its Application	1
Research in Transportation Business & Management	1
Applied Sciences	1
Open Research Europe	1
Ukupno	24

Pregledanom literaturom nije ustanovljeno znatno odstupanje od istraživanja sprovednog u [37] u odnosu na primenjene modele kvantifikacije i oblasti otpornosti.

Od ukupno 24 pregledana rada, 17 je iz oblasti inženjerstva otpornosti, od toga 6 radova je iz otpornosti železničke mreže, 4 rada se generalno bave infrastrukturnom otpornošću, 2 rada se bave metrosistemima, 2 rada procenjuju otpornost sistema vozova velikih brzina, 1 rad se bavi otpornošću železničkih pruga u kontekstu skretnica, 1 rad je iz oblasti otpornosti održavanja infrastrukture i 1 rad je iz oblasti infrastrukture komunikacija (tabela 4).

Tabela 4. Pregled radova iz inženjerske otpornosti

Oblast	Broj radova	Referenca
Železničke mreže	6	[38] [39] [40] [41] [42] [43]
Generalno infrastruktura	4	[44] [45] [46] [47]
Metrosistemi	2	[48] [49]
Sistemi vozova velikih brzina	2	[50] [51]
Održavanje	1	[52]
Komunikacije	1	[53]
Skretnice	1	[54]

Ostali radovi su svrstani na način prikazan u tabeli 5.

Tabela 5. Pregled ostalih radova

Oblast	Broj radova	Referenca
Mobilnost	5	[55] [56] [57] [58] [59]
Red vožnje	1	[60]
Ekologija	1	[61]

Metode primenjene za kvantifikaciju otpornosti mogu se podeliti prema kategorijama postavljenim u [37]. Tabelom 6. prikazane su metode korišćene u pregledanoj literaturi prema kategorijama.

U pregledu železničke literature iz oblasti otpornosti sprovedenom u [37], kao i u ovom pregledu, nisu pronađeni radovi koji se bave konkretnom procenom organizacione otpornosti železnice ili njenim položajem na tržištu.

5.2. Otpornost u uslovima otvorenog železničkog transportnog tržišta

Transportno tržište železničkih usluga u zemljama bivše Jugoslavije, kao uostalom i u celoj Evropi, bilo je monopolsko tj. na tržištu je postojalo samo jedno (javno) preduzeće. Ono je u sebi objedinjavalo tri osnovne delatnosti železnice: prevoz putnika, prevoz robe i upravljanje infrastrukturom i saobraćajem. Međutim, železnica na kopnenom transportnom tržištu nije imala konkurentski kapacitet da ugrozi primat mnogofleksibilnijeg drumskog transporta i iz tog razloga i niza drugih razloga (promene strukture privrede, monopola kao oblika organizovanja, javnog vlasništva, upliva političkih faktora, velikih

investicija u drumsku infrastrukturu, otvaranja evropskog transportnog tržišta, povećanja vrednosti i dr. [62] započet je postupak restrukturiranja železnica.

Evropski model restrukturiranja železnica podrazumevao je privlačenje privatnih investicija i stvaranje konkurencije prevoznika na železničkoj infrastrukturi, tj. u delatnostima prevoza [62]. Stvaranje konkurencije na železničkoj infrastrukturi je od ključnog značaja za javnog železničkog prevoznika. Nova tržišna pravila propisana direktivama Evropske

unije omogućavaju državama da koriste železničke infrastrukture pod ravnopravnim i fer uslovima za sve prevoznike, bez diskriminacije. Poznavajući već slab konkurentski kapacitet železnice u odnosu na drumski transport, i prethodno navedeno, postavlja se pitanje da li je javni prevoznik spreman za „bitku“ na tržištu? Karakterišući otvaranje železničkog transportnog tržišta kao nepoželjni događaj za javnog prevoznika, problem restrukturiranja se može posmatrati kroz koncept otpornosti. Otpornost javnog prevoznika na konkurenciju se može svrstati u organizacionu i ekonomsku otpornost.

Tabela 6. Klasifikacija radova prema pristupima

Pristup	Primer	Referenca
Modelovanje mreža	<ul style="list-style-type: none"> • Uticaj V0 koridora na otpornost mreže Mađarske • Procena otpornosti mreže Zhenzhou metro kompleksa • Procena otpornosti mreže Chengdu podzemne železnice 	[38] [41] [42] [43] [49]
Data-driven pristup	<ul style="list-style-type: none"> • Otpornost i spremnost železničkih mreža tokom neplaniranih poremećaja • Kvantifikacija otpornosti železničkih mreža; • Da li je transportna infrastruktura sklona niskoj emisiji ugljenika? Primer na projektu sistema vozova velikih brzina u Kini 	[47] [57] [58] [59] [61]
Linearno modelovanje i optimizacija	<ul style="list-style-type: none"> • Ocena otpornosti na klimatske promene na primeru Bostonske brze tranzitne železničke mreže • Višeporemećajna procena otpornosti pružnih tranzitnih sistema 	[39] [46] [47] [55]
Komparativna analiza	<ul style="list-style-type: none"> • Sličnosti i razlike između rizika i otpornosti • Komparativna analiza otpornosti i ranjivosti železničke infrastrukture 	[44] [45]
Fazi modelovanje	<ul style="list-style-type: none"> • Ocena procesa železničkih operacija u smislu analize otpornosti • Ocena otpornosti konstrukcije podloge brzih železničkih sistema 	[50] [60]
Modelovanje sajber bezbednosti	<ul style="list-style-type: none"> • Koncept upravljanja otpornošću za železničke i metro sajber-fizičke sisteme 	[48]
Analiza slučaja, pregled literature, ekspertske mišljenje	<ul style="list-style-type: none"> • Određivanje uticajnih varijabli na poboljšanje otpornosti brze železnice 	[51]
BIM modelovanje i analiza životnog veka	<ul style="list-style-type: none"> • Digitalna kopija za upravljanje održavanjem i otpornošću železnice 	[52]
Meta-modelovanje ¹	<ul style="list-style-type: none"> • Meta-modelovanje sajber otpornosti² na primeru železničkih komunikacija 	[53]
Simulacija	<ul style="list-style-type: none"> • Procena uticaja skretničkih sistema na jednokolosečne pruge 	[54]
Višeslojno mešovito modelovanje	<ul style="list-style-type: none"> • Prirodna eksperimentalna analiza otpornosti na mobilnost i disparitet 	[56]

¹ Meta-modelovanje je postupak korišćenja postojećeg modela za opisivanje drugog modela [65].

² Sajber otpornost predstavlja primenu koncepta otpornosti u kontekstu podataka, povezanih hardvera, softvera i ostalih osetljivih komponenti sajber infrastrukture [64].

6. ZAKLJUČAK

Istraživanje u ovom radu predstavlja pregled teorijske osnove koncepta inženjerske, organizacione i ekonomske otpornosti. Koncept otpornosti primenjan je u različitim oblastima, bez konsenzusa različitih autora u načinu konceptualizacije ili kvantifikacije.

Jedan od doprinosa rada je nastavak istraživanja pregleda literature otpornosti iz oblasti železnice od 2019. do 2022. godine. Ustanovljeno je da je najveću primenu koncept otpornosti pronašao u infrastrukturnom delu železnice. Najčešće primenjivani modeli su zasnovani na teoriji grafova i data-driven pristupima. Pregled i sistematizacija literature pokazali su da je koncept otpornosti još uvek relativno nov u sferi železnice i da je mali broj radova koji se bave organizacionim i ekonomskim aspektima.

S obzirom na nove tržišne uslove, zaključuje se da je opstanak javnog železničkog prevoznika, pa čak i celokupnog železničkog sistema, moguće posmatrati kroz prizmu koncepta otpornosti. Otvaranje železničkog transportnog tržišta i dolazak konkurencije predstavlja neželjeni događaj za javnog prevoznika. Kako bi opstao na tržištu, javni prevoznik će morati razvijati kapacitete otpornosti. Kapaciteti otpornosti se odnose na upijanje, prilagođavanje i oporavak. Upijanje se može okarakterisati zadržavanjem postojećih klijenata. Prilagođavanje novonastalim uslovima zahtevaće rad na optimizaciji svih procesa unutar organizacije, kao i realokaciju i rekonfigurisanje resursa. Oporavak na početno stanje je upitna kategorija s obzirom da je mala verovatnoća da će javni prevoznik ostati monopolista u uslovima konkurencije, ukoliko je kapacitet oporavka karakterisan povratkom na početno ili bolje stanje.

LITERATURA

- [1] Renschler C. S, Frazier A. E, Arendt L. A, Cimelaro G. P, Reinhorn A. M, Bruneau M: A framework for defining and measuring resilience at the community scale, *The Peoples resilience framework*, Buffalo, MCEER, 2010.
- [2] Bernard M. J, Barbosa S. D: Resilience and entrepreneurship - A dynamic and biographical approach to the entrepreneurial act, *M@n@gement*, t. 19, br. 2, pp. 89-123, 2016.
- [3] Rose A: Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions, *Environmental Hazards*, t. 7, br. 4, pp. 383-398, 2007.
- [4] Xiao L, Cao H: Organizational resilience: The theoretical model and research implication, *In ITM Web of Conferences*, t. 12, 2017.
- [5] Ma Z, Xiao L, Yin J: Toward a dynamic model of organizational resilience, *Nankai Business Review International*, 2018.
- [6] Holling C. S: Resilience and stability of ecological systems, *Annual review of ecology and systematics*, pp. 1-23, 1973.
- [7] Bruneau M, Chang S. E, Eguchi R. T, et al: A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities, *Earthquake Spectra*, t. 19, br. 4, pp. 733-752, 2003.
- [8] Henry D, Ramirez-Marquez J. E: A generic quantitative approach to resilience: a proposal, *In INCOSE International Symposium*, t. 20, br. 1, pp. 291-301, 2010.
- [9] Wolter K, Avritzer A, Vieira M, Van Moorsel A: Resilience Assessment and Evaluation of Computing Systems, Berlin: Springer-Verlag, 2012.
- [10] Van Der Vegt G. S, Essens P, Wahlström M, George G: Managing risk and resilience, *Academy of Management Journal*, t. 58, br. 4, pp. 971-980, 2015.
- [11] Gasser P, Lustenberger P, Cinelli M, Kim W, Spada M, Burgherr P, Hirschberg S, Stojadinovic B, Sun T: A Review on Resilience Assessment of Energy Systems, *Sustainable and Resilient Infrastructure*, t. 6, br. 5, 2019.
- [12] Muller G: Fuzzy architecture assessment for critical infrastructure resilience, *Procedia Computer Science*, t. 12, pp. 367-372, 2012.
- [13] Francis R, Bekera B: A Metric and Framework for Resilience Analysis of Engineered and Infrastructure Systems, *Reliability Engineering and System Safety*, t. 121, pp. 90-103, 2014.
- [14] Rehak D: Assessing and strengthening organisational resilience in a critical infrastructure system: Case study of the Slovak Republic, *Safety Science*, t. 123, 2020.

- [15] Službeni glasnik RS, br. 87/2018: Zakon o kritičnoj infrastrukturi
- [16] Yodo N, Wang P: Engineering Resilience Quantification and System Design Implications: A Literature Survey, *Journal of Mechanical Design*, t. 138, br. 11, 2016.
- [17] Chen R, Xie Y, Liu Y: Defining, conceptualizing, and measuring organizational resilience: A multiple case study, *Sustainability*, t. 13, br. 5, 2021.
- [18] Sheffi Y, Rice J B: A supply chain view of the resilient enterprise, *MIT Sloan management review*, t. 47, br. 1, 2005.
- [19] Ates A, Bititci U: Change process: a key enabler for building resilient SMEs, *International Journal of Production Research*, t. 49, br. 18, pp. 5601-5618, 2011.
- [20] Aldianto L, Anggadwita G, Permatasari A, Mirzanti I. R, Williamson I. O: Toward a business resilience framework for startups, *Sustainability*, t. 13, br. 6, 2021.
- [21] Tadić D, Aleksić A: Ranking organizational resilience factors in enterprises using a modified fuzzy analytical hierarchy process, *Ekonomski horizonti*, t. 15, br. 3, pp. 181-196, 2013.
- [22] Linnenluecke M. K: Resilience in business and management research: A review of influential publications and a research agenda, *International Journal of Management Reviews*, t. 19, br. 1, pp. 4-30, 2017.
- [23] Tasic, J, Amir, S, Tan, J, Khader M: A multilevel framework to enhance organizational resilience, *Journal of Risk Research*, t. 23, br. 6, pp. 713-738, 2020.
- [24] Duchek S: Organizational resilience: a capability-based conceptualization, *Business Research*, t. 13, br. 1, pp. 215-246, 2020.
- [25] Boin A, Van Eeten M. J: The resilient organization, *Public Management Review*, t. 15, br. 3, pp. 429-445, 2013.
- [26] Rose A: Defining and measuring economic resilience to disasters, *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 2004.
- [27] Vuković D: Svaki rizik je prilika, svaka prilika je rizik, Hrvatska konferencija o kvalitetu, Poreč, 2016.
- [28] Kammouh O, Dervishaj G, Cimellaro G. P: Resilience assessment at the state level, 1st International Conference on Natural Hazards & Infrastructure (ICONHIC2016), Chania, 2016.
- [29] Linkov I, Trump B: *The Science and Practice of Resilience*, Springer Nature Switzerland, 2019.
- [30] Tamvakis P, Xenidis Y: Comparative evaluation of resilience quantification methods for infrastructure systems, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, t. 74, pp. 339-348, 2013.
- [31] Cimellaro G. P, Reinhorn A. M, Bruneau M: Framework for analytical quantification of disaster resilience, *Engineering structures*, t. 32, br. 11, pp. 3639-3649, 2010.
- [32] Heaslip K, Louisell W, Collura J, Urena Serulle N: A sketch level method for assessing transportation network resiliency to natural disasters and man-made events, *Transportation Research Board 89th Annual Meeting*, Washington, DC, 2010.
- [33] De Iuliis M, Kammouh O, Cimellaro G. P: Measuring and improving community resilience: a Fuzzy Logic approach, *arXiv preprint arXiv*, 2022.
- [34] Van Trijp J. M, Ulieru M, Van Gelder P. H: Quantitative modeling of organizational resilience for Dutch emergency response safety regions, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, t. 226, br. 6, pp. 666-676, 2012.
- [35] Arsovski S, Putnik G, Arsovski Z, Tadić D, Aleksić A, Djordjević A, Moljević S: Modelling and enhancement of organizational resilience potential in process industry SME's, *Sustainability*, t. 7, br. 12, pp. 16483-16497, 2015.
- [36] Ruiz-Martin C, Parede A. L, Wainer G. A: Applying complex network theory to the assessment of organizational resilience, *IFAC-PapersOnLine*, t. 48, br. 3, pp. 1224-1229, 2015.
- [37] Bešinović N: Resilience in railway transport systems: a literature review and research

- agenda, *Transport Reviews*, t. 40, br. 4, pp. 457-478, 2020.
- [38] Tóth B. G, Horváth I: How the planned V0 railway line would increase the resilience of the railway network of Hungary against attacks, *arXiv*, 2020.
- [39] Martello M. V, Whittle A. J, Keenan J. M, Salvucci F. P: Evaluation of climate change resilience for Boston's rail rapid transit network, *Transportation Research Part D, Transport and Environment*, t. 97, 2021.
- [40] Knoester M. J, Bešinović N, Afghari A. P, Goverde R. M, Van Egmond J: A Data-Driven Approach for Quantifying the Resilience of Railway Networks, Available at SSRN 4120071.
- [41] Chen J, Liu J, Peng Q, Yin Y: Resilience assessment of an urban rail transit network: A case study of Chengdu subway, *Physica A, Statistical Mechanics and its Applications*, 2022.
- [42] Ding R, Du L, Du Y, Fu J, Zhu Y, Zhang Y, Peng L: Study on the Evolution and Resilience of Rail Transit Time Networks-Evidence from China, *Applied Sciences*, t. 12, br. 19, 2022.
- [43] Ilalokhoin O, Pant R, Hall J W: A model and methodology for resilience assessment of interdependent rail networks-Case study of Great Britain's rail network, *Reliability Engineering & System Safety*, 2023.
- [44] Sredojević S, Bošković B: Sličnosti i razlike upravljanja rizikom i otpornošću u železničkom sistemu, *Železnice*, t. 2021, br. 2, pp. 89-98, 2022.
- [45] Hoterova K, Dvorak Z: Comparative analysis of the resilience and vulnerability of the railway infrastructure, *MEST Journal*, t. 8, br. 2, pp. 100-106, 2020.
- [46] Fabella V. M, Szymczak S: Resilience of railway transport to four types of natural hazards: an analysis of daily train volumes, *Infrastructures*, t. 6, br. 12, p. 174, 2021.
- [47] Bešinović N, Nassar R. F, Szymula C: Resilience assessment of railway networks: Combining infrastructure restoration and transport management, *Reliability Engineering & System Safety*, 2022.
- [48] Rajamäki J: Resilience Management Concept for Railways and Metro Cyber-Physical Systems, *ECCWS 2021 20th European Conference on Cyber Warfare and Security*, 2021.
- [49] Qi Q, Meng Y, Zhao X, Liu J: Resilience Assessment of an Urban Metro Complex Network: A Case Study of the Zhengzhou Metro, *Sustainability*, t. 14, br. 18, 2022.
- [50] Wang H, Zhou J, Dun Z, Cheng J, Li H, Dun Z: Resilience evaluation of high-speed railway subgrade construction systems in goaf sites, *Sustainability*, t. 14, br. 13, 2022.
- [51] Zhang X, Zhang N, Zhao C, Yu H, Deng X: Identification of Influencing Variables on Improving Resilience of High-Speed Railway System, *Journal of Advanced Transportation*, t. 2022, 2022.
- [52] Kaewunruen S, Sresakoolchai J, Lin Y. H: Digital twins for managing railway maintenance and resilience, *Open Research Europe*, t. 1, br. 91, 2021.
- [53] Bellini E, Marrone S, Marulli F: Cyber resilience meta-modelling: the railway communication case study, *Electronics*, t. 10, br. 5, p. 583, 2021.
- [54] Bažant M, Bulíček J: Impact Assessment of Interlocking Systems on Single-Track Railway Lines as a Measure Leading to Resilient Railway System, *Journal of Advanced Transportation*, 2022.
- [55] Tang J, Xu L, Luo C, Ng T. S. A: Multi-disruption resilience assessment of rail transit systems with optimized commuter flows, *Reliability Engineering & System Safety*, 2021.
- [56] Borowski E, Soria J, Schofer J, Stathopoulos A: Does ridesourcing respond to unplanned rail disruptions? A natural experiment analysis of mobility resilience and disparity, *arXiv*, 2022.
- [57] Potter A, Soroka A, Naim M: Regional resilience for rail freight transport, *Journal of Transport Geography*, 2022.
- [58] Schofer J. L, Mahmassani H. S, Ng M. T: Resilience of US Rail Intermodal Freight during the Covid-19 Pandemic, *Research in Transportation Business & Management*, 2022.

- [59] Woodburn A: Rail network resilience and operational responsiveness during unplanned disruption: A rail freight case study, *Journal of Transport Geography*, t. 77, pp. 59-69, 2019.
- [60] Restel F: The railway operation process evaluation method in terms of resilience analysis, *Archives of Transport*, p. 57, 2021.
- [61] He Z, Wang G, Chen H, Yan H: Is Resilient Transportation Infrastructure Low-Carbon? Evidence from High-Speed Railway Projects in China, *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.
- [62] Đuričić R, Bošković B, Rosić S: Evropski koncept bezbjednosti željeznice, Univerzitet u Istočnom Sarajevu - Saobraćajni fakultet, Doboj Doboj, 2017.
- [63] Saad M, Hagelaar G, Van der Velde G, Omta F: Conceptualization of SMEs' Business Resilience: A Systematic Literature Review, *Cognet Business & Management*, t. 8, br. 1, 2021.
- [64] Kott A, Linkov I: Fundamental Concepts of Cyber Resilience: Introduction and Overview, *Cyber resilience of systems and networks*, Springer International Publishing, 2019.
- [65] Allemang D, Hendler J: Expert modeling in OWL, Semantic web for the working ontologist: effective modeling in RDFS and OWL, Elsevier, 2011.