



Tihomir Subotić
dipl. inž. saobr.

Univerzitet u Istočnom
Sarajevu – Saobraćajni
fakultet,
subotic.tihomir@gmail.com



Branislav Bošković
prof. dr. sc.

Univerzitet u Beogradu –
Saobraćajni fakultet,
b.boskovic@sf.bg.ac.rs

UDK: 368.2:656.2

ISTRAŽIVANJE KONCEPTA OTPORNOSTI I NJEGOVE PRIMJENE NA ŽELJEZNIČKOME TRŽIŠTU

Bitno je poznavati razlike između rizika i otpornosti kako bi se mogle prikazati njihove primjene i utjecaji, kako u željezničkom prometu tako i kod željezničkih prijevoznika. Poznato je da je glavni zadatak željezničkog prometa osiguranje sigurnog i održivog željezničkog prijevoza te su u tome smjeru prikazane otpornosti i rizici željezničkog sustava.

Rad je objavljen u stručnom časopisu Željeznice Broj 2, decembar 2022. godine.

1. Uvod

U globaliziranome svijetu i internacionaliziranome poslovnom okružju otvorenome za utjecaje i poremećaje, veliki naglasak stavlja se na sigurnost i održivost raznih infrastrukturnih, organizacijskih, poslovnih, ekonomskih, društvenih, socijalnih i drugih sustava. Inženjerski sustavi, posebno kritična infrastruktura, i njihova funkcionalnost mogu imati veliki utjecaj na živote ljudi, sigurnost, ekonomiju i ukupno okružje. Održavanje normalne funkcionalnosti tih sustava i njihova zaštita od neželjenih događaja do sada su se provodili kroz dobro poznati koncept upravljanja rizikom. Koncept rizika u svojoj se osnovi bavi prevencijom i mitigacijom. Međutim, pitanje kako se ponašati kada se nepoželjni događaj dogodi i kako se oporaviti od njega dovelo je do razmišljanja u novome smjeru i do stvaranja koncepta otpornosti.

Rad ima dva cilja. Prvi je da se kroz pregled literature definira koncept otpornosti, razlike između rizika i otpornosti, prikažu okviri za njegovu primjenu i kvantifikaciju u inženjerskome, organizacijskome i ekonomskome kontekstu. Drugi cilj rada je da se kroz pregled literature prikažu dosadašnji dometi koncepta otpornosti na željeznici i mogućnosti njegove primjene u uvjetima otvorenoga željezničkog prijevoznog tržišta. Doprinosi provedenoga istraživanja su sljedeći:

- dan je prikaz definicija otpornosti s različitih gledišta

- prikazano je više modela za kvantitativno iskazivanje otpornosti u različitim područjima
- utvrđene su tri osnovne razlike između koncepta rizika i koncepta otpornosti
- dan je pregled literature o primjeni otpornosti na željeznici
- prikazan je okvir mogućnosti primjene otpornosti u uvjetima otvorenoga željezničkog prijevoznog tržišta.

Strukturu rada čine uvod, četiri glavna poglavlja, zaključak i popis literature. Tijekom istraživanja prikazane su definicije koncepta otpornosti s različitih gledišta i detaljno je opisana primjena koncepta u inženjerskome, organizacijskome i ekonomskome smislu. U trećemu poglavlju opisane su tri glavne razlike između koncepta rizika i otpornosti, a u četvrtome poglavlju prikazani su različiti modeli kvantitativnog iskazivanja otpornosti. Peti dio rada obuhvaća pregled literature o otpornosti na željeznici i mogućnosti njegove primjene. Na kraju rada dan je zaključak uz popis literature.

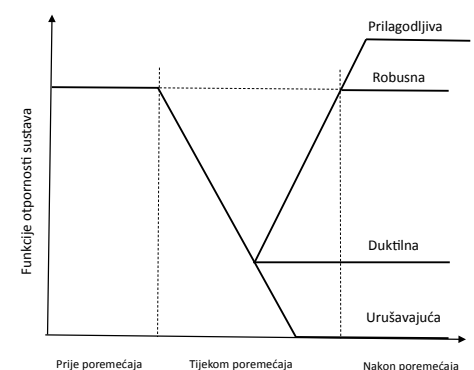
2. Koncept otpornosti

Otpornost kao koncept proizišao je iz područja psihologije i psihijatrije u prvoj polovini 18. stoljeća [1]. Neki autori pak tvrde da je podrijetlo koncepta iz područja fizike materijala [2]. Prema izvorima [1] [3] [4] [5], prvu važniju konceptualizaciju otpornosti postavio je Holling (u ekologiji) u radu pod naslovom „Otpornost i stabil-

nost ekoloških sustava“, gdje je otpornost prikazana kao mjera sposobnosti sustava da upije promjene i opstane [6]. Iako je proizišla iz konceptualizacije namijenjene za ekologiju, danas se otpornost primjenjuje u područjima kao što su inženjerstvo, ekonomija, sociologija, organizacija, menadžment i dr. [7] [8]. Sama riječ *resilience* (otpornost), od latinske riječi *resilire*, označava sposobnost povratka u početno stanje [9] [4] [10].

2.1. Definicije otpornosti

Definicija i svojstva koncepta otpornosti ovise o specifičnome području u kojoj se primjenjuje. Moderno shvaćanje koncepta otpornosti podrazumijeva proces, kvantificiran u pogledu mjere funkcionalnosti sustava i vremena reakcije, kroz koji promatrani sustav prolazi kao odgovor na poremećaje [11]. U načelu osnova koncepta je povratak sustava u prvobitno funkcionalno stanje. Međutim, u



Slika 1. Funkcije otpornosti sustava, izvor: autori

nekim područjima kao što je poslovanje, gdje su okružja vrlo dinamična i ovise o velikome broju elemenata, povratak sustava u prvobitno stanje funkcionalnosti velik je izazov. Sustav koji prolazi kroz određeni poremećaj karakteriziraju tri vremenska razdoblja: razdoblje prije poremećaja, razdoblje tijekom poremećaja i razdoblje nakon poremećaja. Tijekom tih vremenskih razdoblja otpornost sustava može se grafički prikazati jednom od četiriju karakterističnih funkcija otpornosti sustava (slika 1.). Ako se sustav nakon poremećaja vrati na početnu razinu funkcioniranja, za njega se kaže da ima robusnu funkciju otpornosti sustava [11]. U idealnome slučaju funkcionalnost sustava se kroz radnje i aktivnosti obnove može vratiti na razinu višu od početne funkcionalnosti. Tada se kaže da sustav ima prilagodljivu funkciju ponašanja otpornosti [11]. Ako se nakon poremećaja zadrži određena razina funkcionalnosti, ali ne na istoj razini kao prije poremećaja, za sustav se kaže da ima duktilnu funkciju otpornosti [11]. Za sustav koji nakon poremećaja u cijelosti gubi svoju funkcionalnost kaže se da ima urušavajuću funkciju otpornosti sustava [11].

Zbog različitog definiranja koncepta u različitim područjima primjene u tablici 1. prikazane su definicije koncepta iz različitih područja u kojima je našao svoju primjenu.

2.2. Otpornost u različitim područjima

S obzirom na to da se otpornost primjenjuje u različitim područjima, potrebno je utvrditi na koji su način konceptualizacije otpornosti povezane, a sve u cilju razvoja što općenitijeg pristupa primjeni toga koncepta. Područja od interesa za željeznicu jesu: inženjersko, organizacijsko i ekonomsko gledište otpornosti.

Inženjerska otpornost. Inženjerska otpornost dovodi se u vezu s kritičnom infrastrukturom. Otpornost je važan atribut u kritičnim infrastrukturnim sustavima [12]. U SAD-u se kritična infrastruktura definira kao sustavi i sredstva, bilo fizička ili virtualna, koji su od vitalne važnosti za državu. U slučaju njezina onesposobljavanja ili uništavanja došlo bi do narušavanja sigurnosti, nacionalnih, ekonomskih i zdravstvenih pitanja [13]. Rehak [14] definira kritičnu infrastrukturu kao sustav koji čini civilna infrastruktura, u kojemu bi poremećaj izazvao ozbi-

Tablica 1. Definicije otpornosti

<i>Područje</i>	
<i>Definicija</i>	<i>Referenca</i>
<i>Otpornost zajednica</i>	
Otpornost zajednice definira se kao sposobnost socijalnih jedinica (organizacija, zajednica) da ublaže opasnosti, obuzdaju učinke katastrofa i provedu aktivnosti oporavka na načine da minimiziraju društvene poremećaje i ublaže učinke budućih katastrofa.	[7]
<i>Otpornost kritične infrastrukture</i>	
Otpornost se definira kao sposobnost sustava da nastavi normalno funkcionirati na razini funkcionalnosti koja je bila uspostavljena prije poremećaja.	[14]
Otpornost se definira kao sposobnost oporavka od poremećaja, bilo na početnu razinu ili na novu prilagođenu razinu, a na temelju novih zahtjeva.	[15]
Otpornost se definira kao sposobnost prepoznavanja, upijanja, prilagođavanja i oporavljanja od poremećaja.	[16]
<i>Organizacijska otpornost</i>	
Organizacijska otpornost podrazumijeva sposobnost promjene u odgovoru na neočekivane događaje kao i sposobnosti predviđanja takvih događaja.	[5]
Organizacijska otpornost uključuje sposobnost neke organizacije da izdrži sustavne diskontinuitete i kapacitet da se prilagodi novim okružjima proizišlima iz različitih izvora rizika.	[17]
Otpornost je jedan od najpoželjnijih kapaciteta u kojima organizacija koristi svoje resurse zajedno s relacijama u okružju kako bi održala i odredila prihvatljivu razinu pripremljenosti i sposobnosti da odgovori i oporavi se od nepredviđenih kriza.	[18]
Organizacijska otpornost jest sposobnost organizacije da rekonfigurira organizacijske resurse, optimizira organizacijske procese, preobliči organizacijske odnose u krizi, brzo se oporavi od krize i iskoristi krizu za rast.	[19]
<i>Ekonomska otpornost</i>	
Statična ekonomska otpornost jest učinkovito korištenje dostupnih resursa u određenome trenutku.	[3]
Dinamična ekonomska otpornost jest ubrzani oporavak kroz popravak i rekonstrukciju osnovnoga kapitala.	[3]
<i>Općenite definicije otpornosti</i>	
Otpornost se definira kao sposobnost sustava da se oporavi nakon teških poremećaja, nepogoda ili drugih vrsta ekstremnih događaja.	[1]
Otpornost odražava sposobnost sustava da upije i oporavi se od poremećaja transformirajući svoju strukturu i funkcionalna sredstva, suočavajući se s dugoročnim promjenama i neizvjesnostima.	[10]

ljan udar na živote i zdravlje populacije, a koja obuhvaća električnu energiju, naftu, plin, snabdijevanje vodom, komunikacije i zdravstvene usluge [14]. Slično, u Zakonu o kritičnoj infrastrukturi u Srbiji ona se definira kao sustavi, mreže, objekti ili njihovi dijelovi čiji prekid funkcioniranja ili prekid isporuke roba odnosno usluga može imati ozbiljne posljedice po nacionalnu sigurnost, zdravlje i živote ljudi, imovinu, životnu sredinu, sigurnost građana, ekonomsku stabilnost, odnosno koja može ugroziti funkcioniranje Republike Srbije [15].

Sustavi kritične infrastrukture obuhvaćaju i prijevozne sustave [12], u koje spada i željeznica. Otpornost u tome kontekstu opisana je kao sposobnost da se prepoznata, upije, prilagodi, oporavi od poremećaja i vrati na početno ili prilagođeno stanje uz pružanje usluga minimalne razine [13]. Potrebno je istaknuti to da se i zbog povećane uloge otpornosti u različitim područjima inženjerstva javljaju raznolikosti u definicijama otpornosti [13], što je općenito slučaj kada je riječ o konceptu otpornosti. Posljedično, različiti radni okviri koji se primjenjuju u području inženjerstva otpornosti imaju nizak stupanj standardizacije i mogu ponuditi nejasne upute [13] [16].

Organizacijska otpornost. Današnje poslovno okružje sve je složenije i nestabilnije, što dolazi s globalizacijom i internacionalizacijom poslovnih aktivnosti [17]. S tim u vezi je za donositelje odluka postalo ključno pitanje kako će poduzeća upravljati rizikom i nastaviti funkcionirati tijekom kriza [17]. Postoji rastući broj dokaza da poduzeća koja upravljaju otpornošću imaju veću sposobnost da se prilagode promjenama na tržištu [17], odnosno da na njemu ostanu relevantan konkurent [13]. U uvjetima liberaliziranoga prijevoznog tržišta organizacijska otpornost bit će jedan od kapaciteta koji će javna željeznica morati razvijati kako bi opstala na njemu. Autori u više radova [13] [18] [19] [20] potkrepljuju tu činjenicu navodeći da konkurentnost ovisi o organizacijskoj otpornosti. Kao u slučaju inženjerske otpornosti, definicije i metodologije organizacijske otpornosti ne pronalaze konsenzus u literaturi [17] [21] [22].

Organizacijska otpornost se u nekim slučajevima dovodi u vezu s konceptima kao što su menadžment kriza [23] [17] [24] [25] i menadžment poslovnih kontinuiteta

[24] [21] [20]. Standardi koji reguliraju područje menadžmenta poslovnih kontinuiteta su ISO 22301 i ISO 22313. Identifikacija i procjena rizika u gotovo svim organizacijama utemeljeni su na primjenama standarda ISO 31000 i 22301 [21]. Upravljanje rizikom važan je interni organizacijski proces namijenjen poboljšanju otpornosti još u fazi prevencije [14]. Kako je otpornost dinamičan proces, ona se može poboljšati vremenom održavanjem interne i eksterne svijesti, izgradnjom iskustva, učenjem i uvođenjem promjena [23]. U vrlo nestabilnim i neizvjesnim vremenima organizacije trebaju razvijati kapacitet otpornosti. On im treba omogućiti sposobnost učinkovitoga nošenja s neočekivanim događajima, oporavke od kriza pa čak i doprinijeti budućim uspjesima [24].

Ekonomska otpornost. Temelje koncepta ekonomske otpornosti postavio je Adam Rose u radovima [3] i [26] o ekonomskoj otpornosti. Ekonomsku otpornost podijelio je na statičnu i dinamičnu. Statičnu otpornost definira kao sposobnost sustava da upije ili amortizira oštećenja i gubitke, a u općenitiju 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 odnosi se na uobičajenu sposobnost otpornosti da se nosi s poremećajima (npr. sposobnost poduzeća da zamijene inpute smanjene djelovanjem poremećaja drugim inputima ili sposobnost tržišta da preraspodijeli resurse kao odgovor na cjenovne signale [26]). Prilagodljiva otpornost odnosi se na sposobnost održavanja funkcije na temelju domišljatosti ili dodatnog napora (npr. povećane mogućnosti zamjene inputa u individualnim poslovnim operacijama ili ojačavanje tržišta kroz pružanje informacija za povezivanje proizvođača s kupcima [3]). Dinamična otpornost odgovara pomicanju granice učinkovitosti, ali ne neophodno uz investicije.

Ekonomsku otpornost konceptualizira kao stanja i odgovore na poremećaj nakon što se on dogodi, što se razlikuje od koncepta drugih autora u kojima se i radnje prije poremećaja uključuju u kontekst koncepta otpornosti. Također, ekonomska otpornost definira se na tri razine [3]: mikroekonomskom, mezoeko-

nomskom i makroekonomskom. Mikroekonomska razina podrazumijeva ponašanje poduzeća, kompanija, domaćinstva ili organizacija, mezoekonomska razina podrazumijeva ekonomski sektor, individualna tržišta ili kooperativne skupine, a makroekonomska razina podrazumijeva sve individualne jedinice i tržišta kombinirano, uključujući interaktivne učinke.

Željeznica pripada mikroekonomskoj razini otpornosti, dok samo tržište pripada mezoekonomskoj i makroekonomskoj razini. Primjeri mikroekonomske otpornosti odnose se na operacije poslovanja i organizacije. Na makroekonomskoj razini postoji velik broj međuovisnosti na razini cijena i broja interakcija koje utječu na otpornost. To implicira da na otpornost u jednome sektoru mogu u velikoj mjeri utjecati aktivnosti koje su povezane ili nepovezane s otpornošću u drugome sektoru, što uvelike otežava djelovanje na otpornost i njezino mjerenje [3].

3. Otpornost i rizik – razlike u konceptima

S obzirom na to da su pojmovi rizika i otpornosti bliski te da se prepliću u pojedinim slučajevima, od interesa je razumjeti ključne razlike. U nastavku su objašnjene tri razlike u njihovim konceptima.

Prva razlika. Koncept rizika je za razliku od otpornosti standardizirala Međunarodna organizacija za standardizaciju standardom ISO 31000. Ta činjenica u prvoj razini olakšava posao menadžerima i donositeljima odluka pri upravljanju rizikom. Prema standardu ISO 31000 iz 2018., rizik se definira kao učinak nepoznatog na ispunjenje postavljenih ciljeva. Učinak može biti pozitivan, negativan ili oboje i on se može iskazati kroz prilike ili prijetnje [27].

Duga razlika. Priprema za nepoželjne događaje zahtijeva da redovite procjene operativnih procedura, sigurnosne procedure, protumjere i metode za procjenu rizika budu ključni aspekti procjene otpornosti [13]. Procjena otpornosti obuhvaća procjenu rizika kao pretporemećajno orijentirani element [28], ali ide i dalje od toga jer uključuje i procjenjuje postporemećajne strategije za unapređenje funkcionalnosti sustava tijekom budućeg rada [11]. Okvir rizika razmatra napore za prevenciju poremećaja prije njihova nastanka, dok se otpornost foku-

sira i na oporavak od poremećaja nakon njihova nastanka [29]. Jednom kada se poremećaj dogodi, faza rizika završava [28]. Iz navedenog se može zaključiti da koncept procjene rizika može biti sastavni dio koncepta procjene otpornosti i da je povezan samo s pretporemećajnim preventivnim radnjama, što nije slučaj za otpornost.

Treća razlika. U osnovi jedna od razlika u konceptima je u metodologiji njihove kvantifikacije. Koncept rizika kvantificira vjerojatnoću i posljedice poremećaja u cilju utvrđivanja kritičnih komponenti sustava [29]. Otpornost je pak puno složenija za kvantifikaciju. Ne postoji jedinstven način njezina iskazivanja i mjerenja, već se njezin radni okvir mijenja ovisno o području u kojemu se primjenjuje, odnosno o konkretnim slučajevima u kojima se mjeri i procjenjuje. Mnogo različitih pristupa i gledišta treba uzeti u obzir kada je u pitanju mjerenje otpornosti [16].

4. Kvantifikacija otpornosti

Nedostatak standardizacije, različiti pristupi u različitim područjima, drugačiji pogledi na koncept te različiti kriteriji za procjenu i analizu samo su neki od razloga koji otežavaju definiranje općeg pristupa kvantifikaciji otpornosti. U ovome dijelu rada prikazan je pregled različitih pristupa mjerenju otpornosti prema područjima u kojima se primjenjuje.

4.1. Inženjerska otpornost

U inženjerstvu najčešće primjenjivane metode kvantifikacije otpornosti su probabilistički modeli, teorija grafova, faza zaključivanja i analitički modeli [30]. Aktualne metode kvantifikacije su uglavnom nepotpune, imaju nisku razinu standardizacije i u velikoj mjeri ovise o konceptima i pristupima koji proizlaze iz drugih dobro uspostavljenih i dobro razrađenih metodoloških okvira, čime ne uspijevaju dati rješenja u kontekstu inženjerstva otpornosti [16] [30]. U ovome dijelu rada dan je kratak prikaz nekoliko konceptualno različitih modela za kvantifikaciju otpornosti.

Bruneau et al. [7] prikazuju pristup zasnovan na pretpostavci da je mjera, $Q(t)$, definirana kao kvaliteta infrastrukture na razini zajednice. Njezina funkcionalnost kreće se u granicama od 0 % do 100 % i ona varira u vremenu. Ako se poremećaj

dogodi (u ovome slučaju autori navode potres) u vremenu, kvaliteta infrastrukture smanjit će se na određenu razinu (npr. 50 %). Obnova infrastrukture očekuje se tijekom vremena, do trenutka kada je u cijelosti obnovljena. Kako je prikazano u jednadžbi (1), gubitak otpornosti, Q , u navedenome primjeru može se mjeriti veličinom očekivane degradacije kvalitete tijekom vremena [7].

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

Dalje autori navode da je otpornost fizičkih i socijalnih sustava sastavljena od sljedećih svojstava [7]:

- **robustnost (robustness):** sposobnost elemenata ili sustava da izdrže određenu razinu stresa ili zahtjeva bez degradacije ili gubitka funkcije
- **suvišnost (redundancy):** mjera do koje elementi ili sustavi postoje, a koji su zamjenjivi, tj. sposobnost da zadovolje funkcionalne zahtjeve tijekom poremećaja
- **obilatost u sredstvima (resourcefulness):** kapacitet da se identificiraju problemi, odrede prioritete i mobiliziraju resursi kada postoji prijetnja od poremećaja; može se još konceptualizirati kao sposobnost alokacije materijala i ljudskih resursa u cilju ostvarivanja prioriteta i postavljenih ciljeva
- **hitrost (rapidity):** kapacitet da se prioritete ispune i ciljevi postignu na vrijeme kako bi se obuzdali gubici i izbjegli budući poremećaji.

Cimmelaró, Reinhorn i Bruneau [31] razvijaju drugačiji pristup od prethodnog. Otpornost, R , definiraju kao funkciju koja predstavlja sposobnost zadržavanja funkcionalnosti tijekom kontrolnog vremena. Vrijeme oporavka, T_{LC} , jest period potreban za obnovu funkcionalnosti sustava do željene razine. Jednadžbom (2) prikazan je način proračuna otpornosti za taj 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 kvantificiraju otpornost kroz tri kapaciteta otpornosti: kapacitet upijanja, kapacitet prilagođavanja i kapa-

citeta obnavljanja. Kapacitet upijanja definira se kao razina do koje sustav može upijati efekte poremećaja i minimizirati posljedice. Kapacitet prilagođavanja definira se kao sposobnost sustava da se prilagodi poremećajima prolaskom kroz promjene. Kapacitet obnove karakterizira se brzinom povratka na normalnu ili željenu funkcionalnost. Jednadžbom (3) prikazan je način proračuna [13]:

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

U ovome slučaju jest faktor brzine oporavka, izvorna razina funkcionalnosti, razina funkcionalnosti nakon poremećaja, a razina funkcionalnosti nakon obnove [13].

Tamvakis i Xendis [30] te Francis i Bekera [13] predlažu pristup zasnovan na teoriji entropije. Autori [30] sugeriraju da se teorija entropije može primijeniti u različitim kontekstima za računanje otpornosti kroz iskazivanje razina neizvjesnosti i poremećaja. Predlažu se dva načina za određivanje otpornosti kroz entropiju (jednadžbe [4] i [5]):

$$S = k \ln W \quad [4]$$

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

Prvi pristup jest tzv. Boltzmannov zakon, gdje je entropija sustava, Boltzmannova konstanta, a vjerojatnost da će sustav postojati u određenome stanju među svim alternativnim stanjima koja mogu postojati [30]. Drugi pristup jest Shannonovo, gdje je entropija sustava, vjerojatnost da dio dijelova sustava pripada kategoriji od mogućih kategorija [30]. Sugerira se da se entropija sustava može iskazati i kao suma individualnih entropija pojedinih komponenti sustava. Autori primjenu entropije u inženjerstvu otpornosti potkrepljuju sljedećim tvrdnjama [30]:

- Otpornost je svojstvo sustava koje opisuje kapacitet sustava da se suoči s učincima ometajućeg događaja i da se oporavi na unaprijed definiranu razinu performansi. Entropija je također svojstvo sustava koje opisuje razinu poremećaja sustava zbog unutrašnjeg ili vanjskog uzroka.
- Otpornost integrira nekoliko dimenzija koje variraju od tehničkih i

ekonomskih do društvenih i organizacijskih aspekata. Entropija je primjenjiva na širok opseg sustava: od inženjerskih i ekonomskih do antropoloških i društvenih.

- Otpornost se pokušava kvantificirati uz pomoć jedinstvene metrike koja treba izraziti ukupnu vrijednost otpornosti međuovisnih modula sustava. Ukupna entropija sustava može se procijeniti kao zbroj pojedinačnih entropija modula sustava.

Posljednji obrađeni pristup iz područja inženjerstva otpornosti odnosi se na inkorporiranje faze logike u koncept otpornosti [12] [30] [32] [33]. Teorija neizrazitih (*fuzzy*) skupova pruža osnovu za formiranje modela nesigurnosti koji razmatra neizrazite skupove, subjektivne informacije i ljudsko znanje da bi se nesigurnosti prikazale u parametrima [33].

4.2. Organizacijska otpornost

Nestandardizacija i manjak konsenzusa u literaturi u pristupu kvantifikaciji otpornosti ogleda se u organizacijskoj otpornosti. Mali broj radova nudi kvantitativne modele za procjenu otpornosti.

Većina istražene literature iz područja organizacijske otpornosti [2] [4] [5] [10] [18] [19] [20] [22] [24] [25] bavi se uopćenom konceptualizacijom bez konkretnih kvantitativnih pristupa. Autori koji su razvili ili primjenjivali kvantitativne pristupe prikazani su u nastavku.

Van Trip, Ulieru i van Gelder [34] razvili su pristup za modeliranje organizacijske otpornosti na primjeru sigurnosti regija Nizozemske.

Arsovski, et al. [35] su primjenjujući neizrazitu logiku modelirali izbor organizacijskih faktora u procesnoj industriji malih i srednjih poduzeća.

Tasic, Amir, Tan i Khader [23] prikazuju višestupanjsku analizu i procjenu za jačanje organizacijske otpornosti.

Rehak [14] u svojem istraživanju razvija i predlaže ASOR model za procjenu i organizacijske otpornosti i otpornosti kritične infrastrukture na primjeru Slovačke.

Chen, Xie i Liu [17] razvijaju pristup za kvantifikaciju na temelju kapitalne otpornosti, strategijske otpornosti, kulturalne

otpornosti, odnosno otpornosti i otpornosti učenja.

Ruiz-Martin, Paredes i Wainer [36] koriste složenu mrežnu teoriju za procjenu organizacijske otpornosti na primjeru nuklearnih vanjskih planova.

4.3. Ekonomska otpornost

Rose [3] prikazuje grubi matematički model za ekonomsku otpornost u statičnome i dinamičnome kontekstu. Izravna statična otpornost () odgovara razini individualnoga poduzeća ili industrije (mikro ili mezo razina), odnosno analizi parcijalne ravnoteže. Ukupna statična otpornost () odgovara ekonomiji na makrorazini, odnosno analizi opće ravnoteže. Operativna mjera stupanj je do kojeg procijenjeno smanjenje izravnog odziva odstupa od maksimalnoga potencijalnog smanjenja u odnosu na poremećaj [3]:

$$DSEr = \frac{\% \Delta DY^m - \% \Delta DY}{\% \Delta DY^m} \quad [6]$$

$\% \Delta DY^m$ jest maksimalni postotak promjene u izravnome odzivu, a je procijenjeni postotak promjene u izravnome odzivu. U svojoj biti je izbjegavanje maksimalnoga ekonomskog poremećaja izraženo u postocima.

5. Primjena koncepta otpornosti na željeznici

Sveobuhvatni pregled literature otpornosti na željeznici, s fokusom na prijevozne sustave i kvantitativne pristupe, iznio je Bešinović [37] za razdoblje od 2008. do 2019. Autor navodi da je cilj rada bio da se postavi specifična definicija otpornosti u području željezničkog prijevoza te da se pruži suvremeni pregled radova na temu otpornosti željeznice. Za pregled literature autor je koristio ključne riječi „rail“, „resilience“, „transport“ i „network“. Ukupno je pregledano 59 radova do 2019. Glavni zaključci pregleda literature prema [37] jesu:

- Otpornost sadržava dva gledišta: proaktivno i reaktivno. Prvo se odnosi na planiranje otpornog sustava, a drugo na zaštitu nakon poremećaja. Oba su gledišta jednako važna i trebaju biti tretirana kao gradivni elementi otpornosti u željezničkome prijevoznom sustavu.

- Otpornost željezničkoga prijevoznog sustava definirana je kao sposobnost željezničkog sustava da pruži efektivnu uslugu u normalnim uvjetima te da izdrži, upije, prilagodi se, i brzo oporavi od poremećaja.
- Otpornost je sveobuhvatna mjera sustava i pokriva sljedeća svojstva: ranjivost, preživljavanje, odgovor i oporavak. Dodatna proaktivna svojstva su mitigacija i pripremljenost.
- Metrika otpornosti podijeljena je na topološke i sustavno usmjerene metrike. Topološke metrike potječu iz teorije složenih mreža, dok sustavno usmjerene metrike nadmašuju ograničenja metoda grafova i predstavljaju zahtjeve i opskrbljivanje.
- Sustavno usmjerena metrika pogodnija je za kvantifikaciju otpornosti željezničkoga prijevoznog sustava, dok je topološka prikladnija za općenitija svojstva mreža.
- Sustavno usmjerene metode mogu biti simulacije, optimizacije ili metode vođene podacima (*data-driven*).
- Dostupnost istraživanja otpornosti na željeznici ograničena je.
- Pristupi za procjenu otpornosti i planiranje na željeznici još su uvijek relativno neistraženi.

5.1. Pregled literature

Pregled literature proveden je uz pomoć pretraživača Google i Google Scholar, baza podataka ScienceDirect, DOAJ, arXiv, SSRN, MDPI i ručnog provjeravanja citirane literature i referenci u već pregledanim radovima. Riječi „rail“, „railway“ i „resilience“ korištene su kao ključne riječi za pretragu radova u bazama i pretraživačima. S obzirom na to da je Bešinović [37] obuhvatio razdoblje od 2008. do 2019., ovim su pregledom obuhvaćeni radovi objavljeni od 2019. do 2022. Ukupno su pronađena i pregledana 24 rada. Brojevi radova po izvorima i po godinama prikazani su u tablicama 2. i 3.

Tablica 2. Broj radova po godinama

Godina	Broj radova
2022.	13
2021.	8
2020.	1
2019.	2
<i>Ukupno</i>	<i>24</i>

Tablica 3. Broj radova po izvoru

Izvor (časopisi/zbornici/baze podataka)	Broj radova
Realiability Engineering & System Safety	3
Journal of Transport Geography	2
Journal of Advanced Transportation	2
Sustainability	2
Electronics	1
MEST Journal	1
Željeznice	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
<i>Ukupno</i>	<i>24</i>

Tijekom pregleda literature nije utvrđeno znatno odstupanje od istraživanja provedenog u [37] u odnosu na primijenjene modele kvantifikacije i područja otpornosti.

Od ukupno 24 pregledana rada 17 je iz područja inženjerstva otpornosti, od toga šest radova iz otpornost željezničke mreže, četiri se rada općenito bave infrastrukturnom otpornošću, dva se rada bave metrosustavima, dva procjenjuju otpornost sustava vlakova velikih brzina, jedan se bavi otpornošću željezničkih pruga u kontekstu skretnica, jedan je iz područja otpornosti održavanja infrastrukture i jedan iz područja infrastrukture komunikacija (tablica 4.).

Tablica 4. Pregled radova iz inženjerske otpornosti

Područje	Broj radova	Referenca
Željezničke mreže	6	[38] [39] [40] [41] [42] [43]
Općenito infrastruktura	4	[44] [45] [46] [47]
Metrosustavi	2	[48] [49]
Sustavi vlakova velikih brzina	2	[50] [51]
Održavanje	1	[52]
Komunikacije	1	[53]
Skretnice	1	[54]

Ostali su radovi svrstani na način prikazan u tablici 5.

Tablica 5. Pregled ostalih radova

Područje	Broj radova	Referenca
Mobilnost	5	[55] [56] [57] [58] [59]
Vozni red	1	[60]
Ekologija	1	[61]

Metode primijenjene za kvantifikaciju otpornosti mogu se podijeliti prema kategorijama postavljenima u [37]. U tablici 6. prikazane su metode korištene u pregledanoj literaturi prema kategorijama.

U pregledu željezničke literature iz područja otpornosti danom u [37] te u ovome pregledu nisu pronađeni radovi koji se bave konkretnom procjenom organizacijske otpornosti željeznice ili njezinim položajem na tržištu.

5.2. Otpornost u uvjetima otvorenoga željezničkog prijevoznog tržišta

Prijevozno tržište željezničkih usluga u zemljama bivše Jugoslavije, kao uosta-

lom i u cijeloj Europi, bilo je monopolsko, tj. na tržištu je postojalo samo jedno (javno) poduzeće. Ono je objedinjavalo tri osnovne djelatnosti željeznice: prijevoz putnika, prijevoz robe i upravljanje infrastrukturom i prometom. Međutim, željeznica na kopnenome prijevoznom tržištu nije imala konkurentski kapacitet da ugrozi primat puno fleksibilnijega cestovnog prometa pa je zbog toga, ali i niza drugih razloga (promjene strukture gospodarstva, monopola kao oblika organiziranja, javnog vlasništva, utjecaja političkih faktora, velikih investicija u cestovnu infrastrukturu, otvaranja europskoga prijevoznog tržišta, povećanja vrijednosti i dr. [62]), pokrenut postupak restrukturiranja željeznice.

Europski model restrukturiranja željeznice podrazumijevao je privlačenje privatnih investicija i stvaranje konkurencije prijevoznika na željezničkoj infrastrukturi, tj. u djelatnostima prijevoza [62]. Stvaranje konkurencije na željezničkoj infrastrukturi je od ključne važnosti za javnoga željezničkog prijevoznika. Nova tržišna pravila propisana direktivama Europske unije propisuju državama da omoguće korištenje željezničke infrastrukture pod ravnopravnim i poštenim uvjetima za sve prijevoznike, bez diskriminacije. Poznajući već slab konkurentski kapacitet željeznice u odnosu na cestovni promet i sve prethodno navedeno postavlja se pitanje je li javni prijevoznik spreman za „bitku“ na tržištu. Karakterizirajući otvaranje željezničkoga prijevoznog tržišta kao nepoželjni događaj za javnog prijevoznika, problem restrukturiranja se može promatrati kroz koncept otpornosti. Otpornost javnog prijevoznika na konkurenciju može se svrstati u organizacijsku i ekonomsku otpornost.

6. Zaključak

Istraživanje u ovome radu pregled je teorijske osnove koncepta inženjerske, organizacijske i ekonomske otpornosti. Koncept otpornosti primjenjivan je u različitim područjima, bez konsenzusa različitih autora u načinu konceptualizacije ili kvantifikacije.

Jedan od doprinosa rada jest nastavak istraživanja pregleda literature otpor-

Tablica 6. Klasifikacija radova prema pristupima

Pristup	Primjer	Referenca
Modeliranje mreža	<ul style="list-style-type: none"> • utjecaj V.0 koridora na otpornost mađarske mreže • procjena otpornosti mreže kompleksa Zhenzhou metro • procjena otpornosti mreže podzemne željeznice Chengdu 	[38] [41] [42] [43] [49]
Pristup <i>data-driven</i>	<ul style="list-style-type: none"> • otpornost i spremnost željezničkih mreža tijekom neplaniranih poremećaja • kvantifikacija otpornosti željezničkih mreža • je li prometna infrastruktura sklona niskoj emisiji ugljikova dioksida – primjer projekta sustava vlakova velikih brzina u Kini 	[47] [57] [58] [59] [61]
Linearno modeliranje i optimizacija	<ul style="list-style-type: none"> • ocjena otpornosti na klimatske promjene na primjeru bostonske brze tranzitne željezničke mreže • višeporemećajna procjena otpornosti pružnih prijevoznih sustava 	[39] [46] [47] [55]
Komparativna analiza	<ul style="list-style-type: none"> • sličnosti i razlike između rizika i otpornosti • komparativna analiza otpornosti i ranjivosti željezničke infrastrukture 	[44] [45]
Modeliranje neizrazitog logičkog sustava	<ul style="list-style-type: none"> • ocjena procesa željezničkih operacija u smislu analize otpornosti • ocjena otpornosti konstrukcije podloge brzih željezničkih sustava 	[50] [60]
Modeliranje kibernetičke sigurnosti	<ul style="list-style-type: none"> • koncept upravljanja otpornošću za željezničke i metro kibernetičko-fizičke sustave 	[48]
Analiza slučaja, pregled literature, stručno mišljenje	<ul style="list-style-type: none"> • određivanje utjecajnih varijabli na poboljšanje otpornosti brze željeznice 	[51]
BIM modeliranje i analiza životnog vijeka	<ul style="list-style-type: none"> • digitalna kopija za upravljanje održavanjem i otpornošću željeznice 	[52]
Metamodeliranje ¹	<ul style="list-style-type: none"> • metamodeliranje kibernetičke otpornosti² na primjeru željezničkih komunikacija 	[53]
Simulacija	<ul style="list-style-type: none"> • procjena utjecaja skretničkih sustava na jednokolosiječne pruge 	[54]
Višeslojno mješovito modeliranje	<ul style="list-style-type: none"> • prirodna eksperimentalna analiza otpornosti na mobilnost i disparitet 	[56]

¹ Metamodeliranje jest postupak primjene postojećega modela za opisivanje drugog modela [65].

² Kibernetička otpornost predstavlja primjenu koncepta otpornosti u kontekstu podataka, povezanih hardvera, softvera i ostalih osjetljivih komponenti kibernetičke infrastrukture [64].

nosti iz područja željeznice od 2019. do 2022. Zaključeno je to da je najveću primjenu koncept otpornosti pronašao u infrastrukturnome dijelu željeznice. Najčešće primjenjivani modeli zasnovani su na teoriji grafova i pristupima *data-driven*. Pregled i sistematizacija literature pokazali su da je koncept otpornosti još uvijek relativno nov u području željeznice i da je mali broj radova koji se bave organizacijskim i ekonomskim aspektima.

S obzirom na nove tržišne uvjete, zaključuje se da je opstanak javnoga željezničkog prijevoznika, pa čak i cjelokupnoga željezničkog sustava, moguće promatrati kroz prizmu koncepta otpornosti. Otvaranje željezničkoga prijevoznog tržišta i dolazak konkurencije neželjeni su događaj za javnog prijevoznika. Kako bi opstao na tržištu, javni prijevoznik će morati razvijati kapacitete otpornosti. Kapaciteti otpornosti odnose se na upijanje, prilagođavanje

i oporavak. Upijanje se može opisati zadržavanjem postojećih klijenata. Prilagođavanje novonastalim uvjetima zahtijevat će rad na optimiranju svih procesa unutar organizacije te realokaciju i rekonfiguriranje resursa. Oporavak na početno stanje upitna je kategorija jer postoji mala vjerojatnost da će javni prijevoznik ostati monopolist u uvjetima konkurencije, ako je kapacitet oporavka opisan povratkom na početno ili bolje stanje.

LITERATURA

- [1] C. S. Renschler; A. E. Frazier, L. A. Arendt, G. P. Cimellaro; A. M. Reinhorn; M. Bruneau. 2010. *A framework for defining and measuring resilience at the community scale: The PEOPLES resilience framework*. Buffalo: MCEER.
- [2] M. J. Bernard; S. D. Barbosa. 2016. Resilience and entrepreneurship: A dynamic and biographical approach to the entrepreneurial act. *M@n@gement*. t. 19. br. 2, 89 - 123.
- [3] A. Rose. 2007. Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions. *Environmental Hazards*, t. 7. br. 4. 383 - 398.
- [4] L. Xiao; H. Cao. 2017. *Organizational resilience: The theoretical model and research implication*. In ITM Web of Conferences. t. 12.
- [5] Z. Ma; L. Xiao; J. Yin. 2018. Toward a dynamic model of organizational resilience. *Nankai Business Review International*
- [6] C. S. Holling. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*. 1 - 23.
- [7] M. Bruneau; S. E. Chang; R. T. Eguchi et al 2003. A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*. t. 19. br. 4. 733 - 752.
- [8] D. Henry; J. E. Ramirez-Marquez. 2010. A generic quantitative approach to resilience: a proposal. In *INCOSE International Symposium*. t. 20. br. 1. 291 - 301
- [9] K. Wolter; A. Avritzer; M. Vieira; A. Van Moorsel. 2012. *Resilience Assessment and Evaluation of Computing Systems*. Berlin: Springer-Verlag.
- [10] G. S. Van Der Vegt; P. Essens; M. Wahlström; G. George. 2015. Managing risk and resilience. *Academy of Management Journal*. t. 58. br. 4. 971 - 980.
- [11] P. Gasser; P. Lustenberger; M. Cinelli; W. Kim; M. Spada; P. Burgherr; S. Hirschberg; B. Stojadinovic; T. Sun. 2019. A Review on Resilience Assessment of Energy Systems. *Sustainable and Resilient Infrastructure*. t. 6. br. 5.
- [12] G. Muller 2012. Fuzzy architecture assessment for critical infrastructure resilience. *Procedia Computer Science*. t. 12. 367 - 372.
- [13] R. Francis; B. Bekera. 2014. A Metric and Framework for Resilience Analysis of Engineered and Infrastructure Systems. *Reliability Engineering and System Safety*. t. 121. 90 - 103.
- [14] D. Rehak. 2020. Assessing and strengthening organisational resilience in a critical infrastructure system: Case study of the Slovak Republic. *Safety Science*. t. 123.
- [15] *Zakon o kritičnoj infrastrukturi*. 2018. Službeni glasnik RS, br. 87.
- [16] N. Yodo; P. Wang. 2016. Engineering Resilience Quantification and System Design Implications: A Literature Survey. *Journal of Mechanical Design*. t. 138. br. 11.
- [17] R. Chen; Y. Xie; Y. Liu. 2021. Defining, conceptualizing, and measuring organizational resilience: A multiple case study. *Sustainability*. t. 13. br. 5.
- [18] Y. Sheffi; J. B. Rice. 2005. A supply chain view of the resilient enterprise. *MIT Sloan management review*. t. 47. br. 1.
- [19] A. Ates; U. Bititci. 2011. Change process: a key enabler for building resilient SMEs. *International Journal of Production Research*. t. 49. br. 18. 5601 - 5618.
- [20] L. Aldianto; G. Anggadwita; A. Permatasari; I. R. Mirzanti; I. O. Williamson. 2012. Toward a business resilience framework for startups. *Sustainability*. t. 13. br. 6.
- [21] D. Tadić; A. Aleksić. 2013. Ranking organizational resilience factors in enterprises using a modified fuzzy analytical hierarchy process. *Ekonomski horizonti*. t. 15. br. 3. 181 - 196.
- [22] M. K. Linnenluecke. 2017. Resilience in business and management research: A review of influential publications and a research agenda. *International Journal of Management Reviews*. t. 19. br. 1. 4 - 30.
- [23] J. Tasic; S. Amir; J. Tan; M. A. Khader. 2020. A multilevel framework to enhance organizational resilience. *Journal of Risk Research*. t. 23. br. 6. 713 - 738.
- [24] S. Duchek S. 2020. Organizational resilience: a capability-based conceptualization. *Business Research*. t. 13. br. 1. 215 - 246.
- [25] A. Boin; M. J. Van Eeten. 2013. The resilient organization. *Public Management Review*. t. 15. br. 3. 429 - 445.
- [26] A. Rose. 2004. Defining and measuring economic resilience to disasters. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*.
- [27] D. Vuković. 2016 *Svaki rizik je prilika, svaka prilika je rizik*. Hrvatska konferencija o kvaliteti. Poreč.
- [28] O. Kammouh; G. Dervishaj; G. P. Cimellaro. 2016. *Resilience assessment at the state level*. 1st International Conference on Natural Hazards & Infrastructure (ICONHIC2016). Kina.
- [29] I. Linkov; B. Trump. 2019. *The Science and Practice of Resilience*, Springer Nature Switzerland.
- [30] P. Tamvakis; Y. Xenidis. 2013. Comparative evaluation of resilience quantification methods for infrastructure systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. t. 74. 339 - 348.
- [31] G. P. Cimellaro; A. M. Reinhorn; M. Bruneau 2010. Framework for analytical quantification of disaster resilience. *Engineering structures*. t. 32. br. 11. 3639 - 3649.
- [32] K. Heaslip; W. Louisell; J. Collura; N. Urena Serulle. 2010. *A sketch level method for assessing transportation network resiliency to natural disasters and man-made events*. Transportation Research Board 89th Annual Meeting. Washington. DC.
- [33] M. De Iuliis; O. Kammouh; G. P. Cimellaro. 2022. *Measuring and improving community resilience: a Fuzzy Logic approach*. arXiv preprint arXiv.
- [34] J. M. Van Trijp; M. Ulieru; P. H. Van Gelder. 2012. 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. 666 - 676.
- [35] S. Arsovski; G. Putnik; Z. Arsovski; D. Tadić; A. Aleksić; A. Djordjević; S. Moljević. 2015. Modelling and enhancement of organizational resilience potential in process industry SME's. *Sustainability*. t. 7. br. 12. 16483 - 16497.
- [36] C. Ruiz-Martin; A. L. Parede; G. A. Wainer. 2015. Applying complex network theory to the assessment of organizational resilience. *IFAC-PapersOnLine*. t. 48. br. 3. 1224 - 1229.
- [37] N. Bešinović. 2020. Resilience in railway transport systems: a literature review and research agenda. *Transport Reviews*. t. 40. br. 4. 457 - 478.
- [38] B. G. Tóth; I. Horváth. 2020. *How the planned VO railway line would increase the resilience of the railway network of Hungary against attacks*. arXiv.
- [39] M. V. Martello; A. J. Whittle; J. M. Keenan; F. P. Salvucci. 2021. Evaluation of climate change resilience for Boston's rail rapid transit network. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. t. 97.
- [40] M. J. Knoester; N. Bešinović; A. P.

- Afghari; R. M. Goverde; J. van Egmond. *A Data-Driven Approach for Quantifying the Resilience of Railway Networks*. Available at SSRN 4120071.
- [41] J. Chen; J. Liu; Q. Peng; Y. Yin. 2022. *Resilience assessment of an urban rail transit network: A case study of Chengdu subway*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*.
- [42] R. Ding; L. Du; Y. Du; J. Fu; Y. Zhu; Y. Zhang; L. Peng. 2022. Study on the Evolution and Resilience of Rail Transit Time Networks—Evidence from China. *Applied Sciences*. t. 12. br. 19.
- [43] O. Ilalokhoin; R. Pant; J. W. Hall. 2023. *A model and methodology for resilience assessment of interdependent rail networks—Case study of Great Britain's rail network*. *Reliability Engineering & System Safety*.
- [44] S. Sredojević; B. Bošković. 2022. Sličnosti i razlike upravljanja rizikom i otpornošću u željezničkom sistemu. *Željeznice*. t. 2021. br. 2. 89 - 98.
- [45] K. Hoterova; Z. Dvorak. 2020. Comparative analysis of the resilience and vulnerability of the railway infrastructure. *MEST Journal*. t. 8. br. 2. 100 - 106.
- [46] V. M. Fabella; S. Szymczak. 2021. Resilience of railway transport to four types of natural hazards: an analysis of daily train volumes. *Infrastructures*. t. 6. br. 12. 174.
- [47] N. Bešinović; R. F. Nassar; C. Szymula. 2022. *Resilience assessment of railway networks: Combining infrastructure restoration and transport management*. *Reliability Engineering & System Safety*.
- [48] J. Rajamäki. 2021. *Resilience Management Concept for Railways and Metro Cyber-Physical Systems*. ECCWS 2021 20th European Conference on Cyber Warfare and Security.
- [49] Q. Qi; Y. Meng; X. Zhao; J. Liu. 2022. Resilience Assessment of an Urban Metro Complex Network: A Case Study of the Zhengzhou Metro. *Sustainability*. t. 14. br. 18.
- [50] H. Wang; J. Zhou; Z. Dun; J. Cheng; H. Li; Z. Dun. 2022. Resilience evaluation of high-speed railway subgrade construction systems in goaf sites. *Sustainability*. t. 14. br. 13.
- [51] X. Zhang; N. Zhang; C. Zhao; H. Yu; X. Deng. 2022. Identification of Influencing Variables on Improving Resilience of High-Speed Railway System. *Journal of Advanced Transportation*. t. 2022.
- [52] S. Kaewunruen; J. Sresakoolchai; Y. H. Lin. 2021. Digital twins for managing railway maintenance and resilience. *Open Research Europe*. t. 1. br. 91.
- [53] E. Bellini; S. Marrone; F. Marulli. 2021. Cyber resilience meta-modelling: the railway communication case study. *Electronics*. t. 10. br. 5. 583.
- [54] M. Bažant; J. Bulíček. 2022. Impact Assessment of Interlocking Systems on Single-Track Railway Lines as a Measure Leading to Resilient Railway System. *Journal of Advanced Transportation*. t. 2022.
- [55] J. Tang; L. Xu; C. Luo; T. S. A. Ng. 2021. *Multi-disruption resilience assessment of rail transit systems with optimized commuter flows*. *Reliability Engineering & System Safety*.
- [56] E. Borowski; J. Soria; J. Schofer; A. Stathopoulos. 2022. *Does ridesourcing respond to unplanned rail disruptions? A natural experiment analysis of mobility resilience and disparity*. arXiv.
- [57] A. Potter; A. Soroka; M. Naim. 2022. Regional resilience for rail freight transport. *Journal of Transport Geography*.
- [58] J. L. Schofer; H. S. Mahmassani; M. T. Ng. 2022. Resilience of US Rail Intermodal Freight during the Covid-19 Pandemic. *Research in Transportation Business & Management*.
- [59] A. Woodburn. 2019. Rail network resilience and operational responsiveness during unplanned disruption: A rail freight case study. *Journal of Transport Geography*. t. 77. 59 - 69.
- [60] F. Restel. 2021. The railway operation process evaluation method in terms of resilience analysis. *Archives of Transport*. 57.
- [61] Z. He; G. Wang; H. Chen; H. Yan. 2022. Is Resilient Transportation Infrastructure Low-Carbon? Evidence from High-Speed Railway Projects in China. *Computational Intelligence and Neuroscience*.
- [62] R. Đuričić; B. Bošković; S. Rosić. 2017. *Evropski koncept bezbjednosti željeznice*. Doboj: Univerzitet u Istočnom Sarajevu - Saobraćajni fakultet.
- [63] M. Saad; G. Hagelaar; G. Van der Velde; F. Omta. 2021. Conceptualization of SMEs' Business Resilience: A Systematic Literature Review. *Cognet Business & Management*. t. 8. br. 1.
- [64] A. Kott; I. Linkov. 2019. *Fundamental Concepts of Cyber Resilience: Introduction and Overview*. u *Cyber resilience of systems and networks*. Springer International Publishing.
- [65] D. Allemang; J. Hendler. 2011. Expert modeling in OWL: u *Semantic web for the working ontologist: effective modeling in RDFS and OWL*. Elsevier.

SAŽETAK

ISTRAŽIVANJE KONCEPTA OTPORNOSTI I NJEGOVE PRIMJENE NA ŽELJEZNIČKOME TRŽIŠTU

U suvremenim poslovnim sustavima velika pozornost posvećuje se održavanju optimalnog funkcioniranja u uvjetima poremećaja. Potreba za održavanjem sustava tijekom poremećaja na pozitivno funkcionalnoj razini izrodila je relativno nov koncept pod nazivom otpornost (resilience). Koncept otpornosti uz rame s tradicionalnim konceptom upravljanja rizikom bit će neizostavan dio funkcionalnog okvira svakog inženjerskog, organizacijskog i ekonomskog sustava. Rad je posvećen istraživanju koncepta otpornosti i njegovoj primjeni na željeznici s posebnim osvrtom na mogućnost njegove primjene kod željezničkog prijevoznika u uvjetima otvorenoga prijevoznog tržišta. Rezultati istraživanja ogledaju se u prikazu teorijske osnove koncepta otpornosti iz različitih područja, u predstavljanju glavnih razlika koncepta otpornosti u odnosu na koncept rizika i kvantitativnih modela za iskazivanje otpornosti u različitim područjima te u istraživanju primjene koncepta na željeznici i mogućnosti njegove primjene u uvjetima otvorenoga željezničkog prijevoznog tržišta.

Ključne riječi: otpornost, željeznica, tržište, restrukturiranje, kvantifikacija, rizik, liberalizacija
Kategorizacija: stručni rad

SUMMARY

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

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

Categorization: professional paper