

ANICA STOJICÉVIĆ\*, SANJIN MILINKOVIĆ\*\*

# MERE ZA UBLAŽAVANJE UTICAJA ŽELEZNIČKOG TRANSPORTA NA ŽIVOTNU SREDINU

## MEASURES TO MITIGATE THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF RAILWAY TRANSPORT

UDK: 656.2+502/504

### REZIME:

Transport ima veoma važnu ulogu u društvenom i ekonomskom funkcionisanju, dok efikasan transportni sistem predstavlja potrebu i prioritet današnjice. Međutim, iako ima brojne koristi, većina transportnih aktivnosti, uključujući i železnički transport, nosi sa sobom u određenoj meri i negativne efekte. Stoga, cilj ovog rada je da se predstavne glavni uticaji železničkog transporta na životnu sredinu sa ciljem da se sagledaju nedostaci i prednosti koje železnica poseduje sa aspekta zaštite i očuvanja životne sredine. Zato su u ovom radu razmatrani neki od kritičnih aspekata železnice po životnu sredinu i predstavljen niz mera i rešenja koji se mogu primeniti u cilju zaštite životne sredine i ublažavanja negativnih efekata železnice, pogotovo sa aspekta daljeg razvoja železničke infrastrukture i predviđenog daljeg porasta obima železničkog saobraćaja u narednom periodu.

**Ključne reči:** uticaj železnice, životna sredina, mere za ublažavanje efekata železnice, ekološko održivi transport

### SUMMARY:

Transport has a very important role in social and economic functioning, while an efficient transport system is a need and a priority of today. However, although it has many benefits, most transport activities, including rail transport, have some negative effects. Therefore, the aim of this paper is to present the main impacts of railway transport on the environment in order to see the disadvantages and advantages that the railway has in terms of environmental protection and preservation. Therefore, this paper discusses some of the critical aspects of railways for the environment and presents a number of measures and solutions that can be applied to protect the environment and mitigate the negative effects of railways, especially from the aspect of further development of railway infrastructure and projected further growth of railway traffic next period.

**Key words:** impact of railways, environment, measures to mitigate the effects of rail, environmentally sustainable transport

\* Mr Anica Stojićević, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, anicastojicevi6@gmail.com

\*\* Prof. dr Sanjin Milinković, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, s.milinkovic@sf.bg.ac.rs

## 1. UVOD

Transportni sistem kakvim ga danas poznajemo nije održiv, uzimajući u obzir različite posledice koje ima po životnu sredinu i činjenicu da transportne aktivnosti učestvuju i u određenoj meri uzrokuju nekoliko ozbiljnih ekoloških problema sa kojima se današnje društvo suočava. Svaki vid transporta proizvodi negativne efekte za društvo, životnu sredinu i zdravlje ljudi, ali se značaj tih efekata razlikuje uzimajući u obzir uticaj pojedinih vidova transporta po jedinici rada. Negativni efekti transporta na životnu sredinu se ogledaju kroz: uticaj na klimatske promene, zagađenje vazduha, generisanje buke i vibracija, uticaj na biodiverzitet i fragmentaciju staništa i drugo. Danas, kada se društvo suočava sa brojnim posledicama klimatskih promena koje predstavljaju pravi globalni izazov, osnovni cilj i prioritet predstavlja stvaranje povoljnih uslova za ekološki održiviju budućnost. Stoga je veliki značaj dat potrazi ekološki prihvatljivih sistema u različitim domenima života koji će omogućiti smanjenje daljeg zagađenja i negativnih efekata na životnu sredinu.

Transport ljudi i robe je oduvek bio kritičan deo ekonomije. Međutim, izbor vida transporta može ublažiti posledice transportnih aktivnosti na životnu sredinu. U tom pogledu, železnica može imati veliki značaj i ulogu, budući da ona omogućava ekološki i energetski prihvatljiviji način prevoza putnika i robe nego što je to slučaj sa drugim vidovima saobraćaja. Na globalnom nivou je fokus pre svega na smanjenju emisija sa efektom staklene bašte i negativnih efekata klimatskih promena, kao i smanjenju potrošnje neobnovljivih resursa. Pored toga, smatra se da železnički vid transporta takođe može pozitivno uticati i na ublažavanje lokalnih efekata koji su posledica različitih transportnih aktivnosti, kao što su zagađenje vazduha, uticaj na biodiverzitet i ostalo. Na taj način, železnica treba da doprinese postizanju specifičnih ciljeva koji su zacrtani u prethodnom periodu, a odnose se na različite aspekte očuvanja i sprečavanja daljeg zagađenja i degradacije životne sredine. Stoga se poslednjih nekoliko godina posebna pažnja pridaje železnici, budući da je ona, s obzirom na svoje ekološke prednosti koje poseduje, prepoznata kao okosnica budućeg održivog transportnog sistema. Kako bi se to postiglo, potencira se na razvoju železnica sa ciljem da se poveća njihovo učešće na transportnom tržištu u odnosu na druge vidove transporta koji su u manjoj meri ekološki prihvatljivi, odnosno imaju veći negativan uticaj na životnu sredinu.

Međutim, iako železnice imaju prednosti, one takođe, kao i brojne druge aktivnosti, imaju i određeni stepen uticaja na životnu sredinu u rasponu od nekoliko oblika zagađenja do efekata na biodiverzitet i stradanje životinja, u zavisnosti od okolnosti. Može se reći da su železnice svesne ove činjenice, što je uticalo na to da se već niz godina unazad posebna pažnja pridaje ovom aspektu, kako bi se osiguralo uspešno rešavanje problematike određenih efekata i obezbedilo da železnica u budućnosti bude u potpunosti ekološki održiv vid transporta.

U nastavku su sagledane neke od glavnih posledica železničkog transporta na životnu sredinu i predstavljene neke od mera za ublažavanje i smanjenje ovih uticaja sa ciljem poboljšanja položaja železnice sa aspekta očuvanja i zaštite životne sredine. Posebna pažnja je data onim kritičnim aspektima sa kojima se železnica trenutno suočava, ali i onim sa kojima se može suočiti u budućnosti zbog predviđenog proširenja transportnih kapaciteta i povećanja obima transporta, kako bi se izbegao scenario sa kojim se suočio i suočava drumski transport. Stoga je potrebno ove mere primeniti u što većoj meri tamo gde se javljaju potrebe za tim, kako bi se omogućilo da železnice u potpunosti ispune uslove koji se odnose na ekološki održiv transportni sistem budućnosti. Veliki broj efikasnih rešenja za različite uticaje koja su do sada razvijena, ali i koja se najavljaju, ukazuju na to da železnicama, za razliku od drugih vidova saobraćaja, ovo ne bi trebalo predstavljati preveliki izazov u budućnosti.

## 2. BUKA ŽELEZNIČKOG SAOBRAĆAJA

Danas je značajan broj stanovnika izložen saobraćajnoj buci, uključujući pritom i buku od železničkog saobraćaja. Iako je opšteprihvaćeno da je železnica kao vid transporta sa najmanjim uticajem na životnu sredinu, buka i vibracije ostaju važna pitanja za železnički sistem. U prilog tome govori i činjenica da je poslednjih godina razvijen niz mera za smanjenje buke, dopunjen značajnim poboljšanjima čiji je osnovni zadatak da se smanji buka teretnih kola u železničkom saobraćaju. [1]

Železnica je u pojedinim evropskim zemljama prepoznata kao značajan izvor buke i stoga se smatra da ovaj sektor mora preduzeti odgovarajuće napore kako bi se nivo buke u budućnosti minimizirao i sprečilo dalje povećanje emisija. [2] Treba imati u vidu i da se u budućnosti očekuje porast železničkog saobraćaja, što sa sobom nosi rizik od povećanja

emisije buke, a samim tim i povezanih efekata na ljude i ekologiju. [2]

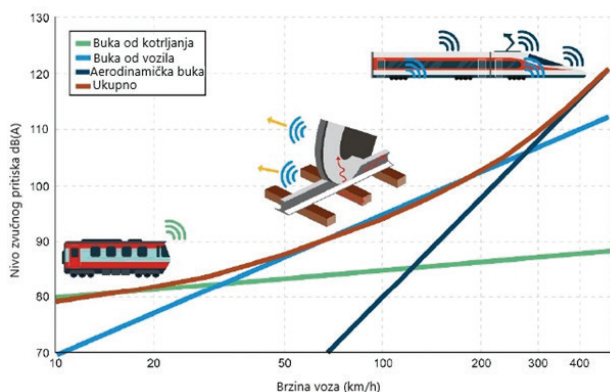
U svojim smernicama za nivo buke u životnoj sredini i okruženju, Svetska zdravstvena organizacija (WHO – World Health Organization) je identifikovala nekoliko kritičnih zdravstvenih ishoda koji su povezani sa bukom. U pogledu buke, koja je posledica železničkog saobraćaja, sistematskim pregledom su pronađeni samo dokazi koji se odnose na uznemiravanje i poremećaj spavanja stanovnika. [2]

Glavni izvori buke u železničkom saobraćaju su:[2]

1. buka pri kotrljanju,
2. buka pri vuči i od uređaja za napajanje električne opreme,
3. aerodinamička buka.

Drugi izvori buke, koji se povremeno javljaju na železnicama, uključuju udarnu buku, buku škrife, buku na mostovima od kotrljanja točkova, ali takođe i buku u ranžirnim stanicama, kao i buku kočenja vozova.

Značaj izvora buke zavisi od brzine voza. Pri malim brzinama, buka od opreme je dominantan izvor, dok je pri srednjim brzinama najznačajniji izvor buke kotrljanje točkova. Aerodinamička buka se ispoljava samo pri većim brzinama. Glavni izvori buke u funkciji brzine su prikazani na slici 1.



Slika 1. Glavni izvori buke u železničkom saobraćaju [2]

Buka od železnice je uglavnom problem koji je u vezi sa teretnim vozovima, naročito sa onim koji u svom sastavu imaju stara kola, kao i onim vozovima koji su opremljeni starijim bučnim motorima. Ovo naročito predstavlja ozbiljan problem tokom noći. Buka od kotrljanja je uglavnom veća u slučajevima neadekvatnog održavanja šinskih vozila koja se kreću po loše održavanoj infrastrukturi. Aerodinamička buka je posebno relevantna za vozove velikih brzina gde se većinom primenjuju mere za ublažavanje buke kao

što su barijere protiv buke i sl. Najvažniji izvor buke od železničkog saobraćaja je kotrljanje točkova i on je specifičan za sve vrste vozova.

Predviđanja su da će buka u budućnosti i dalje ostati jedan od ključnih ekoloških problema u EU, zbog inherentne prirode problema i njegove veze sa porastom transportnih aktivnosti. Osnovi cilj EU je da se omogući smanjenje buke, kako bi se vrednosti u što većoj meri približile nivoima koje je preporučio WHO. [3] Železnički sektor po ovom pitanju ima značajan potencijal budući da je u poslednjih nekoliko godina sprovedeno mnogo istraživanja i došlo je do razvoja novih tehnologija i opreme, koji u velikoj meri mogu doprineti smanjenju buke koje generiše ovaj vid transporta.

### 2.1. Mere za smanjenje buke koja potiče od železničkog saobraćaja

Železnički sektor je odavno prepoznao problem koji se odnosi na buku od železničkih aktivnosti. Stoga je ovaj sektor na nivou EU odlučio da do 2030. godine mere za ublažavanje buke budu integrisane u svim relevantnim železničkim procesima, sa ciljem da se u budućnosti ponude održiva rešenja primenjujući različite pristupe i inovativnu tehnologiju. [3]

Najveći izazov u železničkom sektoru je buka koja je posledica velikog broja starih teretnih kola u voznim parkovima. Smatra se da železnički putnički saobraćaj nema problema sa ovog aspekta. Ovo proističe iz činjenice da se za većinu starijih teretnih kola i dalje koriste bučni kočioni blokovi od livenog gvožđa, za razliku od putničkih vozila za koja se uglavnom primenjuju disk kočnice. [4] Takođe, nova i nadograđivana teretna kola, koja su opremljena kompozitnim kočionim blokovima, doprinose smanjenju ukupne buke, ali problem predstavlja činjenica da veliki broj starih kola koja trče nastavljaju da u određenoj meri utiču i pogoršavaju stanje i hrapavost železničkih pruga.

U osnovi, postoji više načina za smanjenje buke u železničkom saobraćaju. Klasičan pristup za ublažavanje buke ima tri mogućnosti: [2]

- ublažavanje buke na izvoru,
- ublažavanje buke na putu širenja,
- ublažavanje buke na prijemniku.

#### 2.1.1. Ublažavanje buke na izvoru

Ublažavanje buke na izvoru se može postići primenom različitih mera. Ove mere se mogu podeliti na mere koje se odnose na: [2]

- buku od kotrljanja vozila,
- buku od opreme i uređaja i vuču vozova,
- erodinamičku buku,
- buku od pantografa.

**Mere koje se odnose na buku od kotrljanja** se mogu podeliti na mere koje utiču na pobudu, mere koje mogu da priguše vibracije točka i šine i mere koje mogu da smanje emisiju buke. S obzirom da je buka od kotrljanja dominantan izvor buke na železnici, sistem koji treba razmatrati prilikom ublažavanja efekata se sastoji od: [2]

- vozila sa točkovima, kočnicama, postoljem ili osovinama i oprugama kojima je ovo povezano,
- koloseka sa osnovnim elementima - šine, pričvrstni pribor i dodatni pribor za fiksiranje šina, pragovi i zastor.

Hrapavost koja se javlja pri dodiru točka i šine uzrokuje da šina i točak vibriraju, što stvara buku. Čak i naizgled glatke površine imaju u određenoj meri neravnina i usled toga mogu doprineti stvaranju buke. U ovom složenom sistemu, mogu se razmatrati sledeće opcije za ublažavanje buke:[2]

- Za vozilo
  - smanjiti hrapavost točkova zamenom kočionih blokova od livenog gvožđa (koji izazivaju neravnine na točkovima) sa tzv. „K“ ili „LL“ blokovima ili korišćenjem disk kočnica,
  - izolacija gazećeg sloja točka elastičnim slojem (ovaj tip točka se retko koristi za konvencionalne železničke sisteme),
  - zaštita od buke koju emituju točkovi postavljanjem poklopca ili kućišta postolja (mera se generalno izbegava jer prouzrokuje smetnje pri vizuelnom pregledu stanja točkova i osovine),
  - optimizacija veličine i oblika točka tako da se smanje vibracije koji oni proizvode (ovo je primenljivo za nova vozila);
- Za kolosek
  - smanjiti hrapavost šina redovnim praćenjem stanja i preventivnim održavanjem,
  - optimizacija krutosti šinskih podloga (mekši jastučići šina omogućavaju da šina vibrira i da talasi putuju dalje od tačke kontakta),
  - dodatni prigušivači na šinama.

Nadogradnja postojećih teretnih vagona sa niskobučnim „LL“ kočionim blokovima nudi potencijal za smanjenje buke od 8 do 10 dB, smanjujući na taj način percipiranu buku za 50 %. Ovaj efekat je jako koristan noću, kada uglavnom prolazi veliki broj teretnih vozova. Međutim, troškovi nadogradnje postojećih vagona mogu biti značajni, a pri tom se

takođe moraju uzeti u obzir i povećani operativni troškovi ovih nadograđenih kola. [3] Treba imati u vidu da železnička vozila imaju dug životni vek, i do 40 godina, i smatra se da je preuređenje, tj. nadogradnja, starih postojećih vozničkih parkova ključna za postizanje dugoročnih ciljeva. [4]

Ublažavanje buke koja potiče od lokomotive i vuče vozova se može smanjiti preduzimanjem odgovarajućih aktivnosti i primenom brojnih mera na vozilu kao što su:[2]

- kontrola rada i brzine ventilatora na vozilima prema zahtevima rada,
- izolacija prozora na vozilima,
- optimizacija koncepta hlađenja vozila,
- primena prigušivača,
- primena vodenog hlađenja sklopova na železničkim vozilima ili hlađenje prirodnom konvencijom vazduha,
- smanjenje emitovanja buke koja potiče od kućišta menjača ili motora itd.

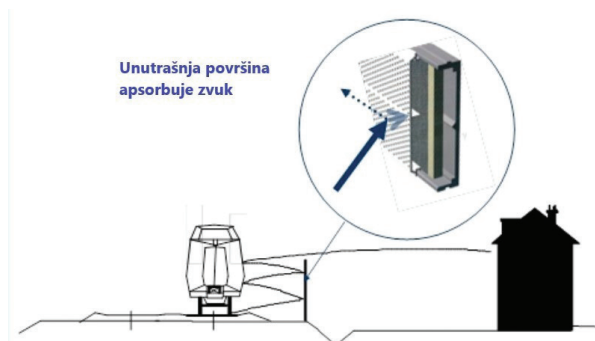
**Ublažavanje aerodinamičke buke** od voza se generalno postiže adekvatnim dizajnom „nosa“ voza i smanjenjem bilo kakvog diskontinuiteta karoserije vozila, npr. praznina među kolima, da bi se smanjila područja turbulencije koja mogu generisati dodatne izvore buke i sl. Na taj način dolazi do smanjenja aerodinamičkih otpora, samim tim i buke, a dodatna prednost je što se time istovremeno postiže i smanjenje potrošnje energije. [2]

**Ublažavanje buke od pantografa** se postiže poboljšanjem njegovog dizajna koji minimizira poreklo turbulencija oko cilindra, zglobova kolena i glave. U Japanu i Kini se kroz adekvatan dizajn pantografa postiže smanjenje buke od 5 do 10 dB. U Japanu se za brze vozove takođe koriste „pokrivači“ pantografa koji deluju kao barijere i omogućavaju dodatno ublažavanje buke za oko 3dB. Međutim, ove mere se obično ne mogu primeniti na evropske železnice, uglavnom zbog razlika u nosivosti i položaju kontaktnog voda u odnosu na krov voza ili slično. [2]

### 2.1.2. Ublažavanje buke na putu širenja

Najčešće se za smanjenje buke na putu širenja koriste barijere koje imaju ulogu da spreče širenje i prenošenje buke na okolinu. U poslednjih nekoliko godina je osmišljeno mnogo novih vrsta barijera, tako da se u bliskoj budućnosti predviđa porast njihovog korišćenja. One se mogu postavljati duž novoizgrađenih pruga, ali se isto tako mogu primeniti i kao mera za smanjenje buke za postojeće situacije. [1]

Važne karakteristike same barijere jesu zvučna izolacija i mogućnost apsorpcije zvuka, tj. buke. Zvučna izolacija sprečava prenos buke kroz barijere. Refleksije između voza i barijera mogu uticati na smanjenje buke, što se naziva efekat „kanjoninga“ („Canyon effect“) (slika 2). Ovo se može izbeći tako što se barijere konstruišu da ona strana koja se nalazi uz šinu bude jako apsorbujuća. Alternativni način da se ovo postigne jeste postavljanje barijera u nagnuti položaj prema pruzi i najčešće se za tu svrhu primenjuju barijere koje se izrađuju od transparentnih materijala.



Slika 2. Sprečavanje pojave efekta „kanjoninga“ [1]

Postoji velika raznovrsnost barijera. Najčešće su one izrađene od materijala kao što su beton ili aluminijum. Drvene barijere se primenjuju u Švedskoj, a u poslednje vreme sve češće i u drugim evropskim zemljama. Upotreba transparentnih plastičnih ili staklenih, kao i kamenih gabiona ili barijera malih visina je retka iz brojnih razloga. Na primer, niske barijere se ne koriste često jer se zbog svoje male visine moraju postaviti u neposrednoj blizini koloseka. Njihovi nedostaci su mali efekat smanjenja buke koja potiče od koloseka, bezbednosna pitanja, specifični zahtevi održavanja i slično. S druge strane, transparentne barijere se vremenom prljaju i zahtevaju učestalo čišćenje i održavanje, što može biti problem na železnici zbog postojanja električne struje u blizini. Što se tiče kamenih gabiona, treba istaći da su oni dosta deblji od običnih aluminijumskih ili betonskih barijera, što može biti problematično za primenu u urbanim područjima sa ograničenim prostorom.

Na nekim lokacijama se takođe mogu postaviti zemljane berme ili nasipi od zemlje duž pruge. Smatra se da je njihova zvučna izolacija dovoljna da ublaži buku. [1] Osim toga, za zemljane berme efekat „kanjoninga“ ne predstavlja problem jer one imaju ograničen ugao nagiba i dobra apsorbujuća svojstva. Pored toga, u kombinaciji sa dobro osmišljenom sadnjom, ove barijere mogu imati prednosti usled uticaja na vizuelni kvalitet, sposobnosti za

sprečavanje poplava, kao i koristi za biodiverzitet, uključujući i smanjenje udara u barijere i stradanja letećih životinja (npr. slepi miševi, ptice i slično). Međutim, zahtevaju veću površinu za postavljanje što može ograničiti njihovo korišćenje u gusto naseljenim područjima.

### 2.1.3. Ublažavanje buke na prijemniku

Na prijemniku se mogu preduzeti mere za smanjenje širenja buke u zgradama. Ovo obično uključuje upotrebu prozora i vrata sa izolacijom od buke. [1] Odabrane mere zavise od zahteva za smanjenje buke. Najčešće korišćena mera je primena dvostrukog zastakljivanja prozora. Smatra se da je ovo dovoljno ukoliko je potrebno manje smanjenje buke. U suprotnom, potrebno je primeniti dvostruko laminirano staklo, dok se u pojedinim slučajevima može javiti i potreba za primenom dodatnih mera kao što su zaptivanje pukotina oko prozora i na fasadama, izolacija zidova/panela na fasadama, primena kosih krovova ili druge mere koje se odnose na sam dizajn arhitekture zgrade. [1] Na primer, građevine duž pruge se mogu dizajnirati sa „slepim“ fasadama, tako da strana koja je okrenuta ka pruzi ne sadrži elemente koji se otvaraju, tj. prozore i vrata ili slično.

## 3. VIBRACIJE U ŽELEZNIČKOM SAOBRAĆAJU

Vibracije u železničkom saobraćaju su prvenstveno uočene i označene kao problem podzemnih železnica. Vibracije koje se javljaju u železničkim konvencionalnim sistemima dobijaju na značaju tek u skorije vreme. One su često praćene bukom. Treba imati na umu da relativna jačina ovog fenomena zavisi od vrste zemljišta. U zemljama sa čvrstim tlom (na primer stenovito tlo) buka koja se javlja tokom prolaska voza je generalno značajnija od vibracija, a dominantne frekvencije vibracija su visoke (oko 50Hz). S druge strane, u zemljama sa mekim tlom, poput gline ili treseta, dominantne frekvencije vibracija su dosta niže (oko 5 Hz) i imaju veći značaj nego buka. Ova razlika je veoma važan faktor koji utiče na performanse i izbor mera za ublažavanje.

Kretanje voza generiše vibracije koje uglavnom potiču zbog neravnina koje nastaju pri dodiru točka i šine. Vibracije koje se javljaju na točkovima zavise od sistema iznad točkova, odnosno od postolja, opruga i amortizera, ali i od opterećenja vozila. Vibracije šina zavise od sistema ispod šina, tj. koloseka, zastora i tla. Pošto ni površina točka, ali ni šine nisu savršeno glatki, točak zapravo prelazi preko neravnina i stoga je primoran da se kreće u vertikalnom smeru. S

druge strane, kolosek nije sasvim čvrst, pa se pomera vertikalno, što zauzvrat pobuđuje šine i pragove. Pored toga, šine u koloseku takođe mogu slobodno vibrirati u onim delovima gde nisu u potpunosti oslonjene na pragove ili usled varijacija u krutosti pragova (npr. nedostatak zastornog materijala što utiče da pragovi „vise“ ili deformacije koloseka). Zbog ovih neujednačenosti, dinamička sila se primenjuje na dva tela koja zatim reaguju pomeranjem, odnosno vibracijama.

Vibracije koje su karakteristične i ispoljavaju se u železničkom saobraćaju se šire u obliku talasa koji putuju terenom. Neki od ovih talasa se prostiru površinom tla poput vodenih talasa, dok drugi oblici vibracija putuju kroz zemlju poput zvučnih talasa. Na primer, vibracije od šina mogu putovati kroz zemljište sve do temelja zgrada koje se nalaze u blizini železničkih pruga. Što se tiče tunela, u njima se vibracije koloseka prenose na zid tunela, odakle se šire do površine gde se dalje rasprostiru u obliku površinskih talasa.

Zbog geometrije širenja i prigušenja, amplituda vibracija uglavnom opada sa povećanjem udaljenosti od izvora, ali to nije uvek slučaj. Ovo proističe iz činjenice da postoji uticaj različitih oblika talasa i da njihovo slabljenje zavisi od njihove frekvencije. Uglavnom se na većim udaljenostima prenose vibracije niskih frekvencija. Ovo je posebno važno pitanje pri izboru mera za ublažavanje, naročito ukoliko se u obzir uzme činjenica da postoji mogućnost da mere za ublažavanje vibracija sa većim frekvencijama ne budu efikasne za smanjenje vibracija na većim udaljenostima. Osim toga, talasi vibracija se mogu prostirati na dubini i do 20 metara, što ukazuje da mere za ublažavanje koje se primenjuju u tim slučajevima treba postaviti, tj. ukopati, na odgovarajućoj dubini u zemlji. [5]

U praksi postoji zabrinutost da vibracije koje nastaju kao posledica železničkog saobraćaja mogu prouzrokovati oštećenje imovine. Malo je verodostojnih izveštaja koji ukazuju na to da se vibracije od železničkog saobraćaja mogu smatrati mogućim glavnim uzrokom oštećenja imovine, ali se ističe da je to slučaj koji se veoma retko, skoro nikada ne javlja u praksi. [5] Obično nastaju samo manja kozmetička oštećenja, kao što su manje pukotine ili slično. U slučajevima kada i dođe do oštećenja imovine, ističe se da često postoje mnogi drugi verodostojniji uzroci (starost građevine, vlaga, vremenske prilike, temperatura, loš kvalitet materijala i izgradnje i slično), tako da je praktično

nemoguće sa sigurnošću odrediti koji od ovih potencijalnih uzroka ima uticaj na nastalu štetu, niti u kojoj meri su za to zaslužni. [5] Međutim, treba naglasiti da slabije vibracije koje nastaju od železničkog saobraćaja mogu takođe izazvati uznemirenje kod pojedinih osetljivih stanovnika, a u izuzetnim slučajevima dovesti i do poremećaja sna. Drugi efekti vibracija od železničkog saobraćaja koji mogu biti problematični podrazumevaju ometanje i oštećenje osetljive opreme i uređaja, kao što je visoko osetljiva oprema za merenje, elektronski mikroskopi i instrumenti za magnetnu rezonancu i drugi. [5]

### 3.1. Mere za ublažavanje vibracija koje potiču od železničkog saobraćaja

U praksi je dostupan širok spektar mera koje se mogu primeniti u cilju smanjenja vibracija koje potiču od železničkog saobraćaja, kako na koloseku, tako i na vozilima. Pri tome, treba imati u vidu da lokalni efekti imaju snažan uticaj (na primer vrsta terena, tip izgradnje građevina, okolina itd.), tako da se efikasnost pojedinih mera može značajno razlikovati od slučaja do slučaja. Ovo predstavlja još veći problem ukoliko se u obzir uzme činjenica da je predviđanje stepena nivoa vibracija, koje generiše železnički saobraćaj, izuzetno složen proces koji često podrazumeva veliki stepen neizvesnosti. Pored toga, treba napomenuti da u pojedinim slučajevima, a posebno za već postojeće stanje, troškovi koji se odnose na ublažavanje vibracija mogu biti veoma visoki.

Smernice za prihvatljiv nivo vibracija se razlikuju od zemlje do zemlje, što u velikoj meri zavisi od individualnih i lokalnih okolnosti. Što se tiče novih situacija (železničke pruge ili stambene imovine), ističe se da će u budućnosti postojati potreba da se pre njihove izgradnje u okviru sprovođenja procene uticaja na životnu sredinu obuhvate i vibracije i predlože odgovarajuće mere sa ciljem da se njihovi negativni efekti u što većoj meri izbegnu ili ublaže. Treba istaći da većina evropskih zemalja nema zakonsku obavezu koja se odnosi na procenu i ublažavanje vibracija za već postojeće stanje. [5] Međutim, železnice u Evropi ozbiljno shvataju zabrinutost stanovništva zbog vibracija i podržavaju procene uticaja vibracija na okolinu i prema potrebi razmatraju mere za njihovo ublažavanje.

Slično kao i sa bukom, mere za ublažavanje vibracija se mogu primenjivati na: [5]

- izvoru – za vibracije se smatra da izvor uključuje točak, kolosek i zastor,

- putu širenja – obuhvata sve putanje između podnožja zastora i temelja zgrade i
- na prijemniku – obuhvata sve objekte i površine u blizini pruge kroz koje se prenose vibracije, od temelja zgrade kroz celu njenu strukturu.

U nastavku je predstavljen niz metoda za ublažavanje vibracija koje su posledica železničkog saobraćaja. Treba imati na umu da efikasnost većina mera uveliko zavisi od frekvencija vibracija, tako da postoji mogućnost da one mere koje imaju dobre rezultate za jedan određeni frekventijski opseg možda neće imati uspeha i pri drugom frekventijskom opsegu. [5]

Treba dodati i to da mere koje imaju zadatak da omoguće ublažavanje vibracija koje potiču od koloseka mogu predstavljati smetnje na samom koloseku i ometati saobraćaj vozova. Pored toga, većinu ovih mera je praktično nemoguće instalirati na već postojećim železničkim prugama jer bi primena pojedinih mera zahtevala skoro čitavu zamenu elemenata koloseka, uključujući zastor, pragove, jastučice i šine. Ovo bi u pojedinim slučajevima značilo obustavu saobraćaja na duži vremenski period. Slično tome, poboljšanja koja se odnose na temelj zgrada ili krutost zidova i podova u stambenim objektima takođe predstavlja veliki problem za stanare koji bi morali da se isele iz prostorija na nekoliko dana, odnosno nedelja.

U poređenju sa merama za ublažavanje buke, mere u vezi sa vibracijama su znatno skuplje. Treba istaći da mere koje se primenjuju za ublažavanje buke verovatno neće biti efikasne i za ublažavanje vibracija i obrnuto, a u pojedinim slučajevima mogu biti čak i kontraproduktivne. [5] Većina mera za ublažavanje vibracija su zasnovane na kombinaciji i modifikaciji sistema opružnih masa. U nastavku su data neka od rešenja koja se najčešće koriste u praksi.

### 3.1.1. Mere za ublažavanje vibracija na izvoru

Železnička vozila i kolosek čine veoma složeni dinamički sistem koji je sastavljen od masa, opruga i prigušivača. Svako ometanje u sistemu vozilo-točak menja pobudu, ali efikasnost ublažavanja u tački prijemnika zavisi od udaljenosti, učestalosti vibracije i krutosti tla. Na mekom tlu i pri niskim frekvencijama, velika masa vozila koja vibrira često predstavlja glavni izvor vibracija. Ali, na čvrstom zemljištu i pri višim frekvencijama, vibracije koje potiču od neravnina točkova, kao i slobodna masa točkova su često glavni izvori pobude vibracija.

Glavni potencijal za kontrolu i ublažavanje vibracija se mogu pronaći u sledećim tačkama [5]:

- Smanjenje neravnina na točkovima – ovo je jedan od glavnih uzroka prekomernih vibracija, a može se sprečiti poboljšanjem procesa koji se odnose na održavanje vozila,
- Smanjenje „nepovezane“ mase – ovo se kod novih lokomotiva može postići poboljšanjem suspenzije pogonskog sistema. Niži nivoi vibracija su povezani sa vozilima koja imaju sekundarnu suspenziju ili manje prečnike točkova.

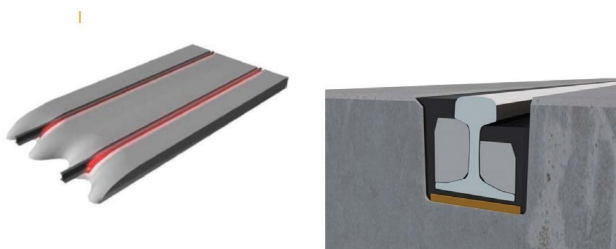
Dobro stanje koloseka je veoma važno za kontrolu vibracija. Stoga, defekti koloseka kao što su pojava „visećih pragova“ usled nedostatka tucanika u zastoru ili deformacija mogu biti jedan od glavnih uzroka vibracija. Istraživanjima je utvrđeno da dobro poravnanje koloseka, uključujući redovno podbijanje tucanika i obnovu zastornog materijala, ima veoma veliki značaj za smanjenje vibracija koje potiču od koloseka. [5] Neka od rešenja koja se najčešće primenjuju za ublažavanje vibracija na koloseku su: elastični štitnici za šine, oblaganje šina, postavljanje specijalnih podmetača ili prostirki ispod pragova i slično.

Primena elastičnih štitnika na šinama za izolaciju vibracija je jedna od mera koja se koristi određeni period unazad, ali je još aktivna na tržištu. Međutim, nedostatak ovog rešenja je što su ovi štitnici pogodni samo za laku železnicu (slika 3). Primena u praksi je pokazala da oni imaju efekat smanjena buke za oko 13 dB, dok je očekivano smanjenje vibracija bilo manje.



Slika 3. Primeri elastičnih pričvršćivača šina [5]

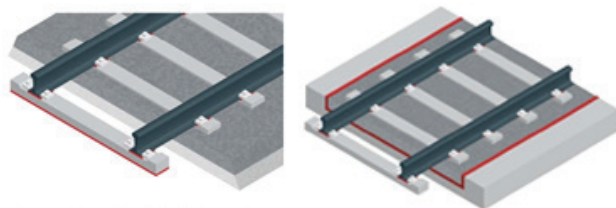
Jedna od mera za ublažavanje vibracije koja se odnosi na šinu jeste **oblaganje šina u koloseku**. Koncept se sastoji u tome da su šine kontinuirano oslonjene na uzdužnu elastičnu prostirku koja je ugrađena u betonsku ploču i pričvršćene sa obe strane kako bi se sprečila pomeranja (slika 4). Ovaj sistem je primenljiv na kratkim deonicama pruge, kao i za lake šinske sisteme. Uz dobar izbor krutosti prostirke, ona može biti veoma efikasna i omogućiti smanjenje vibracija, kao i buke do 2 dB.



Slika 4. Oblaganje šina u cilju smanjenja vibracija [5]

Za koloseke sa zastorom, rešenje može biti postavljanje specijalnih jastučića, odnosno **podmetača ispod pragova**. U slučajevima vibracije većih frekvencija (npr. u blizini koloseka) upotreba jastučića može biti veoma korisna. Uglavnom se za železničke pruge predlaže primena mekih jastučića u kombinaciji sa teškim pragovima ili, alternativno, vrlo elastičnim pričvrstnim priborom (slika 5). Međutim, u praksi se pokazalo da upotreba jastučića za pragove, iako smanjuje vibracije, u pojedinim slučajevima može uticati na povećanje buke koja potiče od pragova i šina. [5] Zbog toga se preporučuje pažljiva primena ovih jastučića, a naročito kada su železničke pruge u blizini stambenih zgrada.

U tunelima sa tucanikom se mogu primenjivati **prostirke** koje imaju ulogu da smanje prenos vibracija na zidove tunela. Uprkos teškim uslovima koji mogu vladati u pojedinim tunelima (na primer vlaga), ipak se preporučuje primena ovih prostirki, budući da su se one u praksi pokazale veoma pogodnim sa aspekta životnog veka. Pored toga, ove prostirke se takođe mogu koristiti i na onim delovima pruge gde se kolosek nalazi u useku. Ističe se da je krutost prostirke ključna za postizanje odgovarajućih smanjenja, kao i da su vrlo mekane prostirke koje štite zastor nepovoljne jer mogu da dovedu do rezonancija u domenu kritičnih frekvencija i na taj način povećaju vibracije koje se prenose do prijemnika (slika 5) [5].



Slika 5. Jastučići i prostirke za zastor i pragove [5]

### 3.1.2. Mere za ublažavanje vibracija na putu širenja

Mere za ublažavanje vibracija na putu širenja su pogodnije za pruge na površinama, dok se ističe da ove mere možda neće uvek biti efikasne za podzemne

pruge i građevine koje se nalaze iznad njih. [5] Mere za ublažavanje vibracija na putu prenosa između koloseka i susednih objekata imaju za cilj da deluju kao barijera i spreče širenje talasa. Ovaj efekat se može postići postavljanjem barijera od materijala čija gustina i/ili krutost značajno odstupa od okolnog zemljišta. Takav materijal može biti: [5]

- **elastična podloga**, npr. prostirke, ali pod uslovom da se krutost u dovoljnoj meri razlikuje od okolnog tla,
- **vazduh** (npr. rovovi) koji je veoma lak u odnosu na okolno zemljište,
- **voda**, tj. jarkovi koji su ispunjeni vodom koja je takođe mnogo lakša od zemlje,
- **beton**, npr. betonski blokovi koji su teži i čvršći od zemljišta i sprečavaju širenje talasa (pod uslovom da je tlo relativno mekano).

Slično barijerama za buku, talasi vibracija takođe imaju tendenciju savijanja oko ivice barijera. To znači da bi barijere trebalo da budu dovoljno ukopane u zemlji kako bi se sprečilo širenje talasa koji se reflektuju u dubini tla. U zavisnosti od lokalnih okolnosti, barijere su obično dubine od 5 do 10 metara. Na primer, za rovove sa vodom, dubina obično iznosi od 2 do 5 metara (slika 6).



Slika 6. Primer postavljanja rova sa vodom duž železničke pruge radi sprečavanja širenja vibracija [5]

### 3.1.3. Mere za ublažavanje vibracija na prijemniku

Planiranje i implementacija rešenja za ublažavanje vibracija na prijemniku je veoma složen proces jer ovo uglavnom podrazumeva nadogradnju ili



preuređenje postojećih građevina, što često zahteva velike troškove i saradnju vlasnika. Stoga se ističe da bi njih trebalo implementirati još u fazi projektovanja i izgradnje građevina, kako bi se time sprečili povećani troškovi i drugi problemi koji mogu nastati. Mere koje se uglavnom primenjuju za ublažavanje vibracija na prijemniku su: [5]

- primena vertikalnog elastičnog sloja oko temelja zgrade,
- za novoizgrađene zgrade se može uvesti elastičan „ležeći“ temelj koji se obično sastoji od čeličnih opruga ili elastičnih ležajeva, tj. podmetača,
- ojačavanjem prizemlja pomoću šipova (samo za jednospratne zgrade).

#### 4. UTICAJ ŽELEZNICE NA BIODIVERZITET I FRAGMENTACIJU STANIŠTA

Veliki broj biljnih i životinjskih vrsta zavisi od brojnih faktora i uslova životne sredine i stoga ima potrebu za kretanjem kroz različite delove pejzaža. Smatra se da sve ono što obezbeđuje uslove za biodiverzitet, uključujući i kretanje svih vrsta i jedinki kroz pejzaž, čini ekološku infrastrukturu. [6] Međutim, u stvarnosti ljudska, tj. „tehnička“ infrastruktura često dolazi u konflikt sa ekološkom infrastrukturom. Jedan od primera za ovo jesu železničke pruge i putevi koji sami po sebi ne moraju uvek obavezno da zauzimaju velike površine zemljišta, ali formiraju duge barijere koje presecaju staništa i onemogućavaju slobodno kretanje životinja, dok odvijanje saobraćaja na njima često utiče na floru i faunu i može imati brojne negativne efekte. [6,7]

Linijska infrastruktura, kao što su drumske saobraćajnice i železničke pruge, danas predstavlja jednu od najvećih pretnji za biodiverzitet širom sveta, uključujući fragmentaciju staništa. Većina saznanja i zaključaka o ovoj problematici potiče iz studija o putevima. [6] Međutim, izjednačavanje svih uticaja železnice sa drumom sa ovog aspekta je pogrešno jer između ovih vidova saobraćaja postoje značajne razlike, samim tim i efekti. Na primer, železnički saobraćaj je manje intenzivan od drumskog saobraćaja, ali se vozovi po pravilu kreću većim brzinama od automobila i imaju znatno duži put kočenja u odnosu na drumska vozila. Osim toga, putevi i pruge takođe imaju i različitu fizičku saobraćajnu infrastrukturu. Sve ove razlike imaju uticaj na reakcije divljih životinja, a otuda i uticaj na njihovo ponašanje i stepen smrtnosti, fragmentaciju staništa, povezanost pejzaža i drugo. [7]

Ističe se da je danas očuvanje biodiverziteta uvek i u potpunosti nemoguće, ali se sa druge strane mogu preduzeti razne mere sa ciljem da se negativni uticaji na biodiverzitet ublaže u što većoj mogućoj meri. [6] Da bi se ovo sprovelo, za početak je neophodno identifikovati i proceniti ekološke efekte koji se javljaju, kao i uzroke koji su do njih doveli. U poslednjih nekoliko godina unazad se skreće pažnja da i železnice oblikuju životnu sredinu jednog pejzaža na različite načine. Tako se efekat barijera koje železničke pruge imaju na populaciju divljih životinja generalno smatra jednim od najvećih ekoloških uticaja ove infrastrukture. [6] Treba imati u vidu i da intenzitet uticaja u velikoj meri zavisi od frekvencije i vrste saobraćaja, brzine vozova, položaja pruge u prostoru i slično.

Negativan uticaj železnica se može posmatrati sa aspekta uticaja železničke pruge na biodiverzitet, takozvani lokalni efekti ili se pak mogu razmatrati efekti koje celokupna železnička mreža ima na pejzaže i ekosisteme. Lokalni efekti su oni efekti koji uglavnom direktno utiču na vrste koje žive u blizini pruge. Najčešći lokalni uticaji železničkih pruga su gubitak ili promena biotopa, efekat barijere, uznemiravanje i stradanje izazvano saobraćajem vozova. Ukoliko se posmatra celokupna železnička mreža, ovde se kao najznačajniji uticaj pruga može izdvojiti fragmentacija staništa. [6, 7] Prethodno nabrojani efekti železničke infrastrukture na biodiverzitet su opisani u nastavku.

**Gubitak ili promena biotopa** nastaje usled zauzimanja zemljišta za železničku infrastrukturu, odnosno promene namene zemljišta. Pored toga, prirodno zemljište izvan samih koridora takođe može biti oštećeno tokom izgradnje infrastrukture ili usled hidroloških uslova u zemljištu koja utiču na vegetaciju i promenu lokalnih klimatskih uslova.

**Efekat barijera** je najčešće posledica „presecanja“ železničke pruge sa ekološkom infrastrukturom i pre svega zavisi od obima saobraćaja, širine železničke pruge, kao i od ponašanja i vrste životinja koje nastanjuju posmatranu oblast (slika 7). Pored toga što barijere mogu biti fizičke usled postojanja određene prepreke (kada životinje ne mogu da pređu prugu), ovaj efekat može nastati i kao posledica uticaja infrastrukture na ponašanje životinja (tzv. bihevionarne prepreke) i ovo se javlja u slučajevima kada životinje fizički mogu da pređu barijere, ali to ne čine zbog nepovoljnih uslova okoline ili uočenih rizika. [7] Na primer, istraživanjem sprovedenim u SAD (2003) koje se bavilo proučavanjem ponašanja bumbara i

pčela prilikom nailaska na železničku prugu se došlo do zaključka da se ovi insekti, prilikom nailaska na prugu, uglavnom vraćaju u svoju oblast (lokaciju) gde inače borave, iako železnička pruga nije predstavljala fizičku prepreku koja sprečava njihovo preletanje. Međutim, železnička infrastruktura deluje na njih i njihovo ponašanje što je za posledicu imalo stvaranje efekta barijere [7].



Slika 7. Efekat barijere železničke pruge koji doprinosi povećanju rizika od stradanja životinja [8]

**Stradanje životinja**, kao posledica sudara divljih životinja i vozova, predstavlja jedan od najočiglednijih uticaja železničke infrastrukture i saobraćaja na divlje životinje. Osim toga, do stradanja pojedinih manjih životinja može doći i usled toga što one mogu ostati zarobljene na koloseku između šina i uginuti zbog dehidracije ili gladi (žabe, kornjače, veće bube itd). Međutim, većina saznanja o uticaju železnica na životnu sredinu ipak dolazi iz studija koje se odnose na smrtnost većih životinja jer su ovi incidenti najupečatljiviji i mogu izazvati nesreće u železničkom saobraćaju, kašnjenja, veliku štetu, samim tim i značajnije finansijske gubitke. [7] S druge strane, treba imati u vidu da stradanje životinja od vozova može imati veliki uticaj na populaciju sisara, posebno za one vrste koje su već ugrožene. Najveća stradanja se obično dešavaju na deonicama na kojima se železničke pruge ukrštaju sa važnim staništima ili migracionim putevima. U tim uslovima može biti ugroženo mnogo vrsta, od malih insektojeda (poput ježeva) i mesojeda, preko velikih mesoždera (na primer mrkih i grizli medveda), do kopitara (jeleni, srne, losovi i slično). U većini evropskih zemalja su uglavnom među najugroženijim manje životinje. Obično su pogođeni jazavci, lisice, kopitari, divlje svinje, ježevi i glodari poput crvene veverice, smeđeg pacova i zečeva, zatim ptice i vodozemci (uglavnom žabe) i gmizavci (zmije, kornjače i dr.), dok su u tunelima posebno ugroženi slepi miševi [7].

Najznačajniji efekat koju železnička mreža pruga može imati na pejzaž jeste **fragmentacija** (cepkanje) biotopa izazvana gubitkom ili razdvajanjem staništa. Gubitak staništa nastaje kada izgradnja železničke infrastrukture dovodi do smanjenja dostupnog staništa. Kao posledica toga, dolazi do narušavanja preostalog okruženja, što predstavlja stres za mnoge vrste. Pored toga, tokom fragmentacije se veliki, kontinualni fragmenti dele, što rezultira manjim, često izolovanim fragmentima, koji ne mogu dugo da održavaju populaciju jer je ekološka infrastruktura pejzaža oslabljena, što u krajnjem može dovesti do gubitka biodiverziteta. Kao poseban problem se izdvaja taj što je posledice teško lokalizovati, a one se pri tom veoma brzo i lako šire. [7]

Pored prethodno navedenih uticaja koje železnica kao sistem ima na biodiverzitet, efekti železnice se u pojedinim slučajevima mogu odraziti i kroz promenu nivoa podzemne vode, promenama temperature, emisijama izduvnih gasova, bukom, svetlošću koja uznemirava životinje, povećanom ljudskom aktivnošću itd. Uz to, aktivnosti koje utiču i imaju veoma uznemirujući efekat za životinje i vegetaciju uz ivicu pruga se poslednjih nekoliko godina sve više intenziviraju (npr. buka, tretiranje biljaka raznim hemikalijama, krčenje šuma ili druge ljudske aktivnosti).

#### 4.1. Mere za ublažavanje uticaja železnice na biodiverzitet i fragmentaciju staništa

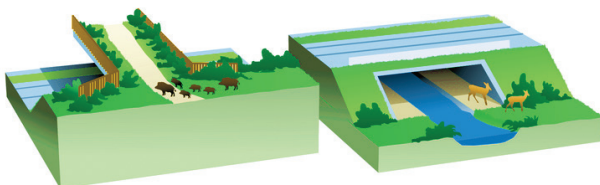
U poslednjih nekoliko godina je primetan porast broja istraživanja i ulaganja koja se odnose na mere za ublažavanje fragmentacije staništa, kao i za smanjenje stradanja divljih životinja na putevima. S druge strane, naponi da se poboljša bezbednost divljih životinja nisu bili tako značajni i u železničkom sistemu, gde su mere uglavnom bile koncentrisane na ublažavanje uticaja postojećih železničkih pruga. [7] Iz tog razloga su se često za železničke pruge primenjivala rešenja koja se odnose na drumski saobraćaj. Međutim, iako postoje određene sličnosti, veoma je važno napraviti razliku između ova dva vida saobraćaja po ovom pitanju, kako bi se omogućilo pravilno sagledavanje problema i na taj način osigurale adekvatne i efikasne mere za železnicu koje će imati pozitivan efekat. Na primer, jedna od značajnih razlika između puteva i železničkih pruga sa ovog aspekta je ta što mašinovođa ne može promeniti putanju kretanja ili da naglo smanji brzinu i izvrši kočenje voza da bi se sudar sa životinjama izbegao, za razliku od drumskog

saobraćaja gde vozač, preduzimanjem odgovarajućih aktivnosti, može uticati na sam ishod situacije. Stoga se mere za ublažavanje stradanja životinja na železnici moraju u potpunosti oslanjati na sprečavanje životinja da uđu i ostanu na prugama, što nije uvek slučaj i za drumski saobraćaj, gde ne postoji veoma izražena potreba za primenom sličnih rešenja.

#### 4.1.1. Strukture koje omogućavaju prelazak divljih životinja preko železničkih pruga

Kako bi se olakšao i omogućio bezbedan prelazak životinja preko železničkih pruga u praksi se često primenjuju strukture za prelazak životinja. Ovu funkciju mogu imati i uobičajeni infrastrukturni železnički objekti kojima ovo nije primarna namena, kao što su propusti, mostovi i slično, koji se mogu adaptirati tako da postanu privlačni za životinje koje će ih koristiti. Alternativno, u određenim slučajevima se mogu izgraditi specijalne strukture za prelazak koje se obično nazivaju podvožnjaci ili nadvožnjaci za prelazak životinja. [7]

Iako strukture za prelazak životinja preko železničkih pruga doprinose ublažavanju mortaliteta i efekta barijera linijske infrastrukture, njihova primarna uloga je bila fokusirana na efekte barijera, odnosno na obezbeđenje povezanosti kroz pejzaže koji su fragmentirani prolaskom pruge (slika 8).



Slika 8. Pojedini tipovi struktura za prelazak životinja iznad/ispod železničkih pruga [8]

Treba imati u vidu činjenicu da se lokacija primene prelazne infrastrukture mora planirati uzimajući u obzir brojne faktore, kao što su njihova dimenzija, koji će zavisiti od ciljne vrste životinja, zatim podloge na kojoj će se izgraditi, vlage, količine svetlosti, lokacije staništa i vode itd.

#### 4.1.2. Strukture koje ograničavaju pristup železničkim prugama

Jedna od najefikasnijih mera za smanjenje prisustva divljih životinja na pruzi je implementacija struktura koje sprečavaju pristup ili, u slučaju letećih životinja, podstiču preletanje iznad vozova i kontaktnog voda. Međutim, ove mere ograničavaju i povećavaju efekat barijera, osim ako nisu praćene odgovarajućim

strukturama za prelazak koje su prethodno opisane. Železnička pruga je već sama po sebi barijera, stoga se preporučuje izbegavati ove mere, a ograde treba postavljati samo kada je učestalost sudara vozova i životinja velika. [7]

Trenutno se postavljanje ograda smatra najefikasnijim sredstvom za ograničavanje pristupa divljih životinja prugama. Međutim, treba imati u vidu da ove ograde mogu biti manje efikasne za one vrste životinja koje su sposobne za menjanje, preskakanje ili provlačenje ispod njih. Zato je kod njihove primene od veoma velike važnosti preduzeti odgovarajuće korake kako bi se obezbedilo da one životinje koje dospeju na prugu mogu brzo i lako da pobegnu sa nje, kako bi se na taj način sprečilo da ostanu zarobljene na njoj. Ovo se može postići postavljanjem jednosmernih kapija na ogradama ili formiranjem povratnih klampi na pojedinim mestima gde su intenzivna ukrštanja puteva životinja i pruge. [7]

Još jedna mera koja može biti efikasna za sprečavanje pristupa jeste primena zvučne signalizacije i zvučnih barijera. Glavna uloga zvučne signalizacije je da vrši upozoravanje životinja o približavanju voza, dok su zvučne barijere uglavnom namenjene da drže životinje podalje od pruge. Stacionarni sistemi ovog tipa se mogu montirati u kritičnim područjima, dok se njihova aktivacija uglavnom vrši pomoću senzora koji se aktivira pokretom pri čemu dolazi do emitovanja zvučnih (a ponekad i vizuelnih) signala koji imaju ulogu da zaplaši životinje. Zvuci koji se koriste mogu biti zvučni ili ultrazvučni, što zavisi od ciljne vrste životinja na koje treba uticati. Osvetljenje i reflektori se obično koriste u noćnim uslovima i mogu odražavati svetlo voza ili emitovati signale „blica“ pre nadolazećeg voza. Oni se mogu kombinovati sa zvučnom signalizacijom radi bržeg odziva životinja. Bez obzira na to, preporuka je da svetlo ne treba da bude previše invazivno kako bi se sprečilo zaslepljivanje životinja koje u tom slučaju obično ostaju da mirno stoje na koloseku, što može imati negativan efekat.

Pored mera koje su prethodno date, jedan od načina za smanjenje prisustva životinja na prugama predstavlja upravljanje staništima. Ovo podrazumeva redovno održavanje vegetacije u oblasti železničkih pruga i uklanjanje specifičnih biljaka. Osim toga, još jedan način za upravljanje kretanja životinja se odnosi na lociranje stanica za dopunu prehrane, koje treba postavljati daleko

od pruge kako bi se na taj način životinje držale podalje od pruge i time doprinelo smanjenju stradanja životinja.

## 5. ENERGETSKA EFIKASNOST ŽELEZNICE I UTICAJ NA KLIMATSKE PROMENE

Energetska efikasnost se definiše kao potrošnja energije po jednom putničkom, odnosno tonskom kilometru. [9] Treba dodati da železnice, s obzirom na svoje specifične karakteristike koje poseduje, značajno nadmašuju druge vidove transporta sa aspekta potrošnje energije po jednom putničkom kilometru, odnosno tonskom kilometru. [10]

Ističe se da se nijedan drugi vid transporta u Evropi ne može pohvaliti energetskom efikasnošću kao što je to železnica. S obzirom na činjenicu da električna vozila, tj. elektrovozovi imaju značajan udeo u evropskim železničkim voznim parkovima, očekuje se da će većina vozova moći da ostvaruje pogon potpuno čistom energijom kada ona postane široko dostupna. [4] Uz to, najnovija vozila su takođe opremljena sistemom za rekuperaciju koji im omogućava povratak električne energije tokom kočenja, a koja se kasnije ponovo može koristiti za napajanje, omogućava uštedu u potrošnji i dodatno doprinosi energetskoj efikasnosti železnice. [11] Osim toga, železnica ima prednost sa ovog aspekta i usled malog broja zaustavljanja, izdvojenog puta vožnje, prvenstva prolaza na mestima ukrštanja sa drugim vidovima saobraćaja i slično. [10]

Dok je udeo železnice u ukupnoj potrošnji energije od transportnog sektora u EU manji od 3%, njegovo učešće na transportnom tržištu iznosi oko 8,5%. [12] Treba dodati i da su železnice u periodu od 1990. do 2015. godine uspele da poboljšaju svoju energetsku efikasnost u putničkom i u teretnom sektoru – u proseku je sada potrebno oko 15% manje energije po pkm, odnosno 22% energije za jedan tkm. [12]

Što se tiče emisije zagađenja koja potiču od železničkog saobraćaja, treba istaći da glavni izvor zagađenja predstavljaju emisije koje ispuštaju dizel-vozovi tokom sagorevanja fosilnih goriva, kao i emisije koje se oslobađaju u procesu proizvodnje električne energije. Dakle, električni vozovi ne emituju direktno ove zagađivače, ali se oni emituju tokom procesa proizvodnje električne energije.

Ukupne emisije dizel-lokomotiva imaju kontinualan pad od 1990. godine, te se ističe da su one danas

izuzetno niske u poređenju sa drugim vidovima transporta. [3] Međutim, iako dizel- vuča u većini evropskih zemalja uglavnom ima manji udeo u ukupnom saobraćaju, železnički sektor je i dalje u potrazi i razmatra nove tehnologije sagorevanja, efikasne prenosne sisteme i mogućnosti za naknadno smanjenje emisija zagađivača u izduvnim gasovima kako bi se obezbedilo da i dizel- vuča u železničkom sektoru postane u potpunosti ekološki prihvatljiva u budućnosti. Svakako, jedan od najefikasnijih pristupa koji se može preduzeti u smislu smanjenja ukupnih emisija zagađenja jeste elektrifikacija železničke mreže u što većem obimu uz istovremeno povećanje proizvodnje i korišćenje električne energije iz obnovljivih izvora energije. [3]

Budući da je železnica jedini vid transporta koji je danas široko elektrificiran i koji u potpunosti ima mogućnost da bude nezavisan od fosilnih goriva, ona je jedinstveno pozicionirana da u budućnosti iskoristi rastuću ulogu obnovljivih oblika energije. [3, 11] Pored toga, zbog upotrebe električne energije, železnica je jedini vid transporta koji je u potpunosti sposoban da se prebaci sa upotrebe fosilnih goriva na obnovljive izvore energije bez potrebe za daljim velikim tehnološkim inovacijama. Međutim, da bi se ovo omogućilo, naglašava se da su potrebna velika infrastrukturna ulaganja u železnički sistem. [3, 11]

Emisije koje nastaju u procesu proizvodnje električne energije za potrebe železničkog saobraćaja zavise prvenstveno od nacionalnih energetskih sektora i političkih ciljeva. Međutim, ovde treba istaći da pojedine železnice koje su ozbiljno shvatile značaj „čiste“ energije za železnicu i poseduju sopstvena namenska postrojenja za proizvodnju električne energije mogu imati značajno drugačije učešće pojedinih resursa u proizvodnji električne energije od drugih železnica, odnosno država. Štaviše, u mnogim zemljama su železnice često jedan od najvećih potrošača električne energije, tako da njihove odluke o potrošnji energije mogu biti od velike pomoći u pomeranju tržišta i podsticaj za investiranje u „čistije“ oblike proizvodnje energije. Ističe se da je u ovome potrebna politička volja jer su mnoge železnice i dalje u državnom vlasništvu. [3]

S obzirom na svoje prednosti koje ima sa aspekta energetske efikasnosti i upotrebe energije, može se zaključiti da, u slučaju da se u budućnosti omogući proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije, ne postoje druge tehničke

prepreke za uspostavljanje železničkog sistema sa nultim emisijama CO<sub>2</sub>, odnosno železničkih transportnih usluga koje će biti ugljenično neutralne. Stoga, predviđanja su da će železnica, ukoliko se proizvodnja električne energije u narednom periodu, a najkasnije do 2050. godine, u potpunosti dekarbonizuje, postati prvi i jedini od glavnih vidova transporta koji će u potpunosti biti klimatski neutralan. [3, 11]

### 5.1. Mere za poboljšanje energetske efikasnosti železnice i smanjenje emisija CO<sub>2</sub>

Poboljšanje energetske efikasnosti predstavlja jedan od glavnih ciljeva železničkih kompanija. Jedan od razlog za ovo je što poboljšanje energetske efikasnosti dovodi do smanjenja finansijskih troškova, što doprinosi poboljšanju položaja železničkog saobraćaja i shodno tome doprinosi poboljšanju ekonomske i društvene koristi u analizi troškova i koristi. Da bi se ovo postiglo, potrebno je u budućnosti smanjiti potrošnju energije. Ali, pored toga treba uzeti u obzir i neto cenu energije, imajući u vidu da količina energije sama po sebi ne odražava na odgovarajući način finansijske i ekonomske društvene troškove korišćenja energije. [13]

Železnica čini sastavni deo transportnog sistema i stoga se očekuje da ona u budućnosti doprinese poboljšanju energetske efikasnosti ovog sektora, iako se u železničkom sistemu u budućnosti očekuje povećanje specifične potrošnje energije, npr. zbog povećanja brzina vozova i drugih parametara koji se odnose na poboljšanje železničkih usluga, kao što su frekvencija, komfor i slično. Navodi se da će poboljšanje kvaliteta železničkih usluga istovremeno povećati atraktivnost železnice kao vida transporta i privući nove korisnike sa drugih prevoznih sredstava sa nižom energetskom efikasnošću, što bi u budućnosti trebalo da opravda predviđeno povećanje specifične potrošnje energije u železničkom sistemu. [13]

Prognoze rasta mobilnosti i njihove posledice i negativni efekti su dva velika problema sa kojima se današnje društvo mora suočiti. Transportni model onakav kakav je danas je neodrživ, a svako povećanje mobilnosti dovodi do ozbiljnih zagađenja, kao i povećanja potražnje za energijom, koja zajedno sa nedostatkom prirodnih resursa projektuje obeshrabrujuću sliku budućnosti. Smatra se da je danas već društveno prihvaćeno da je železnica, kao vid transporta, energetski i ekološki najefikasnija u

odnosu na druge konkurentne vidove transporta. [13] Ovo proizilazi iz činjenice da železnica ima manju potrošnju energije, kao i emisije sa efektom staklene bašte (tzv. GHG – Greenhouse Gas), a posebno ukoliko se primarna energija dobija iz obnovljivih izvora energije.

#### 5.1.1. Mere za smanjenje potrošnje energije u železničkom saobraćaju

Postoji mnogo rešenja i tehnologija koji mogu imati veliki uticaj na smanjenje potrošnje energije, a samim tim i emisija CO<sub>2</sub>. Većina njih su specifični i mogu se primeniti samo na železnički sistem. Neke od mera koje se mogu preduzeti, a koje imaju značajan uticaj na potrošnju energije, na železnici su [13]:

1. mere koje se odnose na **projektovanje železničke infrastrukture i vozna sredstva**
  - projektovanje železničkih pruga sa povoljnijim tehničko-eksploatacionim karakteristikama može smanjiti potrebe za kočenjem i na taj način smanjiti gubitke - na primer, postojanje nagiba na ulazu u stanicama može značiti uštedu vučne energije i do 5%, odnosno 23% energije za kočenje,
  - konstrukcija novih vozova uzimajući u obzir savremene dizajne koji omogućavaju smanjenje otpora - smanjenje aerodinamičkog otpora za 25% može dovesti do smanjenja energije za potrebu vuče i do 15%,
  - uvođenje novih materijala koji omogućavaju smanjenje težine voznih sredstava s obzirom da težina vozova ima veliki uticaj na potrošnju energije - primena kompozitnih materijala omogućava smanjenje potrošnje energije do 5%, a samim tim i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>,
2. mere koje se odnose na **vuču vozova**
  - elektrifikacija pruga koje nisu elektrificirane - omogućava da se transport robe koji se trenutno vrši dizel- -lokomotivama obavlja elektrovučom,
  - smanjenje gubitaka u procesu vuče primenom novih tehnologija - upotreba napredne tehnologije može doprineti smanjenju potrošnje električne energije i do 15%,
  - uključivanje reverzibilnih stanica u sistem napajanja - na taj način se usled vraćanja, tj. rekuperacije, električne energije u mrežu tokom kočenja vozova može uštedeti električna energija od 7 do 15% u zavisnosti od pruge ili usluge,
  - opremanje voznog parka vozilima koja koriste alternativna goriva (bio goriva, vodonik itd.).

Pored prethodno nabrojanih mera, u obzir treba uzeti i primenu novih tehnologija koje omogućavaju smanjenje potrošnje energije. Procenjeno je da pojedini novi pomoćni sistemi na vozilima (na primer HVAC sistemi ili sistemi osvetljenja) mogu obezbediti uštedu energije od 15 do 30% u odnosu na starije sisteme. [13] Pored toga, od koristi mogu biti i mere koje se odnose na operativne procedure, tehniku vožnje vozova i slično.

## 6. ZAKLJUČAK

Može se steći utisak da je železnički sektor svestan svoje buduće uloge koju će imati, prvenstveno za zaštitu životne sredine, a zatim i ekonomiju i društvo. U prilog tome govore i brojne inicijative koje je ovaj sektor preduzeo poslednjih nekoliko godina. Ovde se pre svega misli na brojna istraživanja i razvoj tehnologije i mera sa osnovnom ciljem da se poboljša već trenutno povoljan položaj železnice u smislu ekološke održivosti. Naročito je ohrabrujuća činjenica da je posebna pažnja data onim negativnim efektima sa kojima se železnica već u određenoj meri suočava, kao što su buka i vibracije, ali i naponi da se preduzmu odgovarajući koraci koji će omogućiti da predviđeni porast obima transportnih aktivnosti, tj. proširenje železničkih kapaciteta, neće dodatno dovesti do povećanja i pojave novih negativnih uticaja na životnu sredinu, kao što su dalja fragmentacija i negativni efekti na prirodna staništa. Zahvaljujući tome, razvijen je čitav spektar efikasnih rešenja za pojedine kritične uticaje železničkog transporta na životnu sredinu, a koja će imati ključnu ulogu u uspostavljanju potpuno ekološko prihvatljivog železničkog sistema u budućnosti bez značajnijih poteškoća, bar ne sa aspekta postojanja tehnologije i rešenja. Pored toga, ovome bi trebalo znatno da doprinesu i nova istraživanja u različitim oblastima i nastavak razvoja i primena novih tehnologija i inovacija koje će imati ulogu da se uticaj železnice na životnu sredinu što bolje razume i u skladu sa tim primene odgovarajuća rešenja kako bi se negativni efekti u što većoj meri ublažili, odnosno eliminisali.

Za razliku od trenutnog stanja, treba istaći da ne postoje opravdani razlozi da se u budućnosti ne iskoriste sve ekološke prednosti i mogućnosti železnice u odnosu na druge vidove transporta, uključujući pri tom i znatno nižu potrošnju energije. Stoga, može se zaključiti da će železnica, pod uslovom da se omogući efikasno sprovođenje mera tamo gde postoji potreba za tim i pronađe način da se svi problemi uspešno prevaziđu, moći da u potpunosti iskoristi sve svoje prednosti koje poseduje sa ciljem da u budućnosti

bude ekološki prihvatljiv vid saobraćaja i na taj način spreči dalji negativan uticaj i pritisak celokupnog transportnog sistema na životnu sredinu.

## LITERATURA

- [1] Railway noise in Europe – State of Art report, UIC ETF Railway Tehnical Publication, Paris, France, [https://uic.org/IMG/pdf/railway\\_noise\\_in\\_europe\\_2016\\_final.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/railway_noise_in_europe_2016_final.pdf);
- [2] Railway Noise in Europe State of art report, UIC, Paris, France, [https://uic.org/IMG/pdf/railway\\_noise\\_in\\_europe\\_state\\_of\\_the\\_art\\_report.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/railway_noise_in_europe_state_of_the_art_report.pdf), 2021;
- [3] Rail Transport and Enviromental – Fact and Figures, UIC ETF Railway Tehnical Publication, , Paris, France, [https://uic.org/IMG/pdf/facts\\_and\\_figures\\_2014\\_v1.0-4.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/facts_and_figures_2014_v1.0-4.pdf), 2015;
- [4] Olaf K, Matthew L. Henning S: Railways and the Enviroment – Building on the Railways Enviromental Strenghts, CER, Bruxelles, Belgium, [http://www.cer.be/sites/default/files/publication/090120\\_railways\\_and\\_the\\_environment.pdf](http://www.cer.be/sites/default/files/publication/090120_railways_and_the_environment.pdf), 2009;
- [5] Railway Induced Vibration - State of Art Report UIC ETF Railway Tehnical Publication, Paris, France, <https://uic.org/IMG/pdf/uic-railway-induced-vibration-report-2017.pdf>
- [6] Putevi Srbije: Zaštita životne sredine u sektoru puteva, Edicija Twininig Publikacije, Beograd, <https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/publikacije/prirucnikzss.pdf>, , 2009;
- [7] Luis B: Railway Ecology, Springer Open, Cham, Switzerland, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-57496-7.pdf>, 2017;
- [8] Project REVERSE: <https://uic.org/projects/article/reverse>
- [9] Lundberg E: Reducing the environmental impact of rail transportation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva-2%3A943415&dswid=-4730>
- [10] The Future of Rail Opportunities for energy and the environment, IEA/OECD, Paris, France,

<https://www.oecd.org/publications/the-future-of-rail-9789264312821-en.htm>, 2019;

[11] Railway handbook: Energy consumption and CO2 emissions, OECD, International Energy Agency (IEA) and the International Union of Railways (UIC), Paris, France, [https://uic.org/IMG/pdf/handbook\\_iea-uic\\_2017\\_web3.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/handbook_iea-uic_2017_web3.pdf)

[12] Technologies and Potential Developments for Energy Efficient and CO2 Reduction in Rail

System, UIC ETF Railway Technical Publication, Paris, France, [https://uic.org/IMG/pdf/\\_27\\_technologies\\_and\\_potential\\_developments\\_for\\_energy\\_efficiency\\_and\\_co2\\_reductions\\_in\\_rail\\_systems\\_uic\\_in\\_colaboration.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/_27_technologies_and_potential_developments_for_energy_efficiency_and_co2_reductions_in_rail_systems_uic_in_colaboration.pdf), 2016,

[13] Anica Stojićević: naliza uticaja železničkog transporta na životnu sredinu kroz procenu održivog razvoja i eksternih troškova, master rad, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2021.