

HRVATSKI I EUROPSKI TRENDovi U OCJENJIVANJU STANJA POSTOJEĆIH ŽELJEZNIČKIH NASIPA

doc. dr. sc. Danijela Jurić Kačunić, dipl. ing. građ.
Mario Bačić, mag. ing. aedif.
prof. dr. sc. Meho Saša Kovačević, dipl. ing. građ.

UDK: 652.12; 625.17

Rad je objavljen. Željeznice 21. 2/2015. 7-17.

1. Uvod

U Europi je prva željeznička pruga sa-
građena prije više od 200 godina. Prema
nekim podacima [1], do Prvoga svjetskog
rata izgrađeno je čak 95 % mreže europskih
željeznica. U Hrvatskoj je pak prva
pruga izgrađena 1860. u dužini od 41 km
povezujući Veliku Kanižu (Nagykanizsu)
u Mađarskoj i Pragersko [2], dok je 1862.
otvorena željeznička pruga kroz Zagreb
(pruga Zidani Most – Zagreb – Sisak).
Međutim, nakon Drugoga svjetskog rata
u Hrvatskoj je izgrađeno tek otprilike 200
km novih pruga, a velik dio željezničke
mreže oštećen je tijekom Domovinskog
rata. Starost željezničke infrastrukture
neupitno je uzrokovala njezinu postupnu
degradaciju te trenutno postoji snažna
potreba za procjenom rizika poveza-
nih s tako zastarjelom infrastrukturom, a
sve u cilju povećanja razine sigurnosti i
smanjenja troškova sanacije [3].

Važnost je kvalitetne željezničke infra-
strukture već dulji niz godina prepoznata
u europskim okvirima. Javna su ulaganja
u željezničku infrastrukturu znatna te je
samo u 2009. uloženo 26 milijardi eura.
Da bi se mogla uspostaviti jedinstvena
europska željeznička zona, kvaliteta že-
ljezničke infrastrukture mora odgovarati
strogim zahtjevima. Naime, uspostava
te zone (*Single European Railway Area*
- SERA) označena je kao ključna u osi-
guranju dugoročne kompetitivnosti sa
stajališta razvoja, opskrbe energentima i
dekarbonizacije u Europskoj uniji [4]. Da-
nas europske željeznice zapošljavaju oko
800 000 ljudi i ostvaruju promet od čak
73 milijarde eura godišnje [5], što svje-
doči o njihovoj važnosti u prijevoznome
sektoru. S druge strane u Hrvatskoj su
željeznice sustavno zanemarivane već
više od 30 godina, a najbolji primjer za
to jest „Strategija prometnog razvitka
Hrvatske” iz 1999. godine [6], prema ko-

joj je do 2007. pet posto BDP-a planira-
no za razvoj prometa. Međutim, iako je u
planu bilo da se 25 % tog iznosa uloži u
željeznice, Kreč i dr. [7] navode da je ulo-
ženo znatno manje, kako je i prikazano u
tablici 1.

Tablica 1. Usporedba ulaganja u pojedine prometne grane u Hrvatskoj (ukupno 1992. – 2007.) [7]

Vrsta prometa	Razdioba prema strategiji iz 1999 (%)	Razdioba ostvarenja prema postocima razdiobe iz strategije (mil. €)	Stvarno ostvarenje 1992.-2007. (mil. €)	Stvarno ostvareno/ strategija (%)
Ceste i cestovni promet	40	4.681,6	6.770,8	144,6
Željezničke pruge i željeznički promet	25	2.926,0	818,8	28,0
Pomorski i riječni promet	20	2.340,8	305,2	13,0
Zračni (aerodromi i dr.)	5	585,2	146,6	25,1
Integralni prijevoz (suvremene prijevozne tehnologije) i terminali	10	1.170,4	nema podataka	-
Ukupno	100	11.704,0	8.041,4	68,7

Izostanak jasne strategije i neulaganja
koja su dodatno potaknuta gospodar-
skom krizom doveli su do toga da stanje
željeznica u Hrvatskoj trenutačno nije na
zavidnoj razini. Kao jedni od ključnih in-
frastrukturnih elemenata, i inženjerski i
prirodno formirani željeznički nasipi u lo-
šem su stanju te su njihovim deformaci-
jama i nestabilnostima znatno ugroženi
sigurnosni i funkcionalni aspekti želje-
zničkog prometa. Donedavno je u doma-
ćoj praksi zastupljen bio jedino pristup
prema kojemu se istražni radovi i projek-
tiranje mjera sanacije nasipa provode tek
nakon što se pojave prekomjerne defor-
macije ili nestabilnosti. Osnovni je razlog
činjenica da osobe odgovorne za uprav-
ljanje željeznicama u Hrvatskoj nemaju
širu sliku stanja željezničkih nasipa.

Međutim, u posljednje se vrijeme i u Hr-
vatskoj stvari mijenjaju nabolje te že-
ljezničke pruge u Republici Hrvatskoj
prolaze temeljitu revitalizaciju, koja će

potrajati i dulji niz godina. HŽ Infrastruk-
tura d.o.o., kao društvo koje je odgovor-
no za upravljanje infrastrukturnim sek-
torom hrvatskih željeznica, prepoznala
je potrebu za sustavnom procedurom
određivanja stanja željezničkih nasipa u

Hrvatskoj, koja je prikazana u radu. U pri-
bližno isto vrijeme počela je i provedba
europskoga znanstveno-istraživačkog
projekta DESTination RAIL, financiranog
u sklopu programa Obzor 2020 (Hori-
zon 2020). Među 15 partnera iz devet
europskih država, u projektu sudjeluju i
Zavod za geotehniku pri Građevinskom
fakultetu Sveučilišta u Zagrebu te HŽ
Infrastruktura d.o.o. Kao jedna od bitnih
aktivnosti projekta, naglašena je potreba
za određivanjem stanja postojećih želje-
zničkih nasipa, što je također prikazano
u radu.

Uz zastarjelost željezničke infrastruk-
ture, kao dodatna komponenta koja ne-
gativno utječe na sigurnost i funkcio-
nalnost mogu se izdvojiti i sve izraženije
klimatske promjene. Neki utjecaji ne-
davnih klimatskih promjena u Hrvatskoj
i Europi, a koje su izravno odgovorne za
probleme na željezničkoj infrastrukturi,
prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Primjeri utjecaja klimatskih promjena na željezničku infrastrukturu u novije vrijeme

Lokacija	Fotografija	Uzrok	Posljedica
dionica Drenovci – DG, pruga R105 Vinkovci – Drenovci – DG, istočna Slavonija, Hrvatska, svibanj 2014.	 preuzeto iz [8]	poplave	znatno oštećenje elemenata donjega i gornjega pružnog ustroja
skijaško odmaralište St. Moritz u blizini grada Tiefencastela, Švicarska, kolovoz 2014.	 preuzeto iz [9]	kiša	formiranje klizišta s izravnim utjecajem na željezničku infrastrukturu
vijadukt Malahide u blizini Dublina, Irska, kolovoz 2009.	 preuzeto iz [10]	ispiranje materijala oko stupova vijadukta izazvano riječnim tokom	kolaps vijadukta tijekom prolaženja putničkog vlaka

2. Hrvatski trendovi u ocjenjivanju stanja željezničkih nasipa

Kao što je navedeno, u dosadašnjoj praksi sanacije željezničkih nasipa u Hrvatskoj sa stajališta definiranja problema, a time i definiranja programa detaljnih istražnih radova koji bi poslužili kao kvalitetna podloga za projektiranje sanacijskih mjera, nije postojala sustavnost. Svakom problemu prekomjernih deformacija i nestabilnosti pristupa se individualno, i to tek nakon što dođe do problema (klizanja, učestalo podbijanje itd.). Takvo suočavanje s problemom znatno utječe na sigurnost i funkcionalnost željeznica, a i s ekonomskog stajališta takav je pristup nepovoljniji.

Zavod za geotehniku pri Građevinskom fakultetu u Zagrebu sudjelovao je, kroz provedbu istražnih radova i izradu projektne dokumentacije, na sanaciji niza postojećih željezničkih nasipa u Hrvatskoj. Na svakome nestabilnom nasipu izvedeni su detaljni istražni radovi koji su uključivali primjenu više geofizičkih metoda, istražna bušenja, laboratorijske istražne radove te inženjersko-geološku prospekciju. To je omogućilo dobivanje kvalitetne podloge za projektiranje sanacijskih mjera. Na slici 1 prikazani su samo neki od nestabilnih nasipa na kojima je primijenjen „individualni“ pristup problematici.



Slika 1. Primjeri nestabilnih željezničkih nasipa u čijoj je sanaciji sudjelovao Zavod za geotehniku pri Građevinskom fakultetu u Zagrebu

Međutim, da bi se napravio odmak od takvog „individualnog“ pristupa problemu te da bi se dobila šira slika problema koji uzrokuju prekomjerne deformacije i nestabilnosti nasipa, HŽ Infrastruktura d.o.o. raspisala je natječaj u svrhu izrade plana održavanja željezničkih pruga. Naime, na pravilan je način potrebno odrediti prioritete u rekonstrukciji postojeće željezničke mreže, kao i opseg sanacije pojedinih pružnih dionica. Posao je dobio Zavod za geotehniku pri Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a ispitivanja će biti provedena na 182 km željezničkih pruga duž Republike Hrvatske [11], i to prema tablici 3.

U cilju ocjene stanja postojećih željezničkih pruga u Republici Hrvatskoj potrebno je provesti četiri osnovne aktivnosti:

1. specijalistički pregled, prikupljanje, sistematizaciju i analizu svih raspoloživih informacija o stanju gornjeg i donjeg pružnog ustroja i uočenim nepravilnostima
2. georadarska snimanja pružnih dionica u najmanje tri osi u poprečnome presjeku nasipa – raster mjernih točaka u uzdužnom smjeru trase ne smije biti veći od 20 cm, a dubina snimanja i analize po točkama rastera trase mora iznositi najmanje 2,0 m.
3. geotehničku kategorizaciju nasipa prema uočenim i snimljenim nepravilnostima na temelju rezultata točaka 1 i 2
4. izradu programa istražnih radova, praćenja i idejnih rješenja za sanaciju pojedinih geotehničkih kategorija nasipa.

Sukladno tomu završni elaborat mora sadržavati sistematizaciju i analizu stanja pojedinih pružnih dionica, rezultate i analizu georadarskih ispitivanja, podjelu pojedine dionice u geotehničke kategorije prema stupnju oštećenja, tj. nestabilnosti, te program istražnih radova i praćenja kao i idejna rješenja za sanaciju pojedinih geotehničkih kategorija nasipa.

2.1. Prvi korak: pregled, prikupljanje, sistematizacija i analiza informacija o stanju nasipa

Kao početni korak u kategorizaciji nasipa sa stajališta potencijalnih oštećenja i nestabilnosti trebaju se prikupiti postojeći podaci. Osim podataka iz arhive

Tablica 3. Popis svih dionica koje će biti obuhvaćene programom ocjene stanja željezničkih nasipa [12]

NADZORNO SREDIŠTE	PRUGA	DIONICA (STACIONAŽE) (od – do)	DUŽINA (km)	UKUPNA DUŽINA (km)
VARAŽDIN	R201: Zaprešić – Čakovec	57+069 – 88+389	31,32	31,32
	M501: DG – Čakovec – Kotoriba – DG	84+396 – 90+893	6,50	6,50
	L103: Zabok – Đurmanec	0+206 – 16+186	15,98	15,98
	R201: Varaždin – Ludbreg	228+067 – 223+974	4,10	4,10
NADZORNO SREDIŠTE VARAŽDIN, UKUPNO				57,90
SLAVONSKI BROD	M105: Novska – Tovarnik – DG	221+600 – 227+400	5,80	
		244+700 – 249+700	5,00	
		256+100 – 260+400	4,30	15,10
	M303: Striz./Vrp. – Sl. Šamac – DG	5+700 – 9+500	3,80	3,80
NADZORNO SREDIŠTE SLAVONSKI BROD, UKUPNO				18,90
RIJEKA	M602: Škrljevo – Bakar	8+170 – 9+150	0,98	0,98
NADZORNO SREDIŠTE RIJEKA, UKUPNO				0,98
OSIJEK	R202: Varaždin – Dalj	65+000 – 69+000	4,00	4,00
	L209: Vinkovci – Osijek	7+800 – 8+600	0,80	0,80
	M301: DG – Beli Manastir – Osijek	4+900 – 5+000	0,10	0,10
NADZORNO SREDIŠTE OSIJEK, UKUPNO				4,90
OGULIN	M202: Zagreb GK – Rijeka	486+900 – 487+000	0,10	
		490+000 – 496+720	6,72	
		498+800 – 502+130	3,33	
		506+490 – 517+100	10,61	
		520+250 – 523+470	3,22	23,98
	L104: Karlovac – Kamanje – DG	22+950 – 25+100	2,15	2,15
	M604: Oštarije – Knin – Split	6+700 – 7+800	1,10	
		16+700 – 19+500	2,80	
		21+450 – 24+000	2,55	
		33+700 – 35+720	2,02	
		37+700 – 39+500	1,80	
		43+000 – 45+000	2,00	
		51+380 – 51+440	0,06	
		55+380 – 55+440	0,06	
		65+000 – 65+200	0,20	
		67+700 – 69+900	2,20	
		79+900 – 81+400	1,50	
		83+700 – 85+760	2,06	
		87+280 – 93+100	5,82	
		95+000 – 95+700	0,70	24,87
NADZORNO SREDIŠTE OGULIN, UKUPNO				51,00
VINKOVCI	R105: Vinkovci – Drenovci – DG	49+400 – 50+550	1,15	1,15
NADZORNO SREDIŠTE VINKOVCI, UKUPNO				1,15
PULA	R101: DG – Buzet – Pula	71+000-71+600	0,60	
		34+540-34+580	0,40	
		63+422-70+286	6,86	
		36+800 – 36+950	0,15	
		70+200 – 70+300	0,10	8,11
NADZORNO SREDIŠTE PULA, UKUPNO				8,11
ZAGREB	M401: Sesvete – Sava	0+664 – 10+444	11,11	11,11
	M407: Sava – Velika Gorica	10+444 – 16+739	6,30	6,30
	R102: Sunja – Volinja – DG	0+374 – 21+278	21,65	21,65
NADZORNO SREDIŠTE ZAGREB, UKUPNO				39,06
REPUBLIKA HRVATSKA, UKUPNO				182,00

HŽ Infrastrukture d.o.o., razgovarat će se i konzultirati s odgovornim osobama unutar pojedinih nadzornih središta pri čemu će od velike pomoći biti njihovo iskustvo i saznanja o pojavi oštećenja i nestabilnosti. Također će biti obavljena vizualna prospekcijska nasipa s izradom detaljne fotodokumentacije. Međutim, neosporna je činjenica da je „standardna“ vizualna procjena zahtjevan izazov koji podrazumijeva hodanje osoblja duž dionica dugačkih i desetak kilometara. Stoga će se, kao važan dio u ocjeni stanja, upotrijebiti bespilotne letjelice (eng. UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) poznatije i pod nazivom *dronovi*. *Dron* (slika 2) je letjelica ili zrakoplov uz pomoć kojeg se može nadzirati na daljinu ili letjeti samostalno uporabom unaprijed programiranog plana leta ili uz pomoć složenih autonomnih dinamičkih sustava [13].

Osim činjenice da mogu zamijeniti klasičnu vizualnu ocjenu stanja, jedna od bitnih prednosti bespilotne letjelice u mogućnosti je interaktivnog ocjenjivanja stanja infrastrukturnih objekata, a među njima i željezničkih nasipa. Dovoljno je na terenu imati operatora koji upravlja bespilotnom letjelicom. Operator na svom zaslonu u svakome trenutku ima na raspolaganju sliku iz bespilotne letjelice. Potom u realnome vremenu šalje sliku osobama na drugim lokacijama (uredima, kabinetima, laboratorijima), koji tako imaju izravan uvid u stanje željezničkog nasipa. Oni mogu komunicirati s operatorom na terenu i davati mu smjernice za bolje pozicioniranje bespilotne letjelice, ovisno o fenomenu koji se želi detaljnije sagledati.

2.2. Drugi korak: provedba georadarskih snimanja

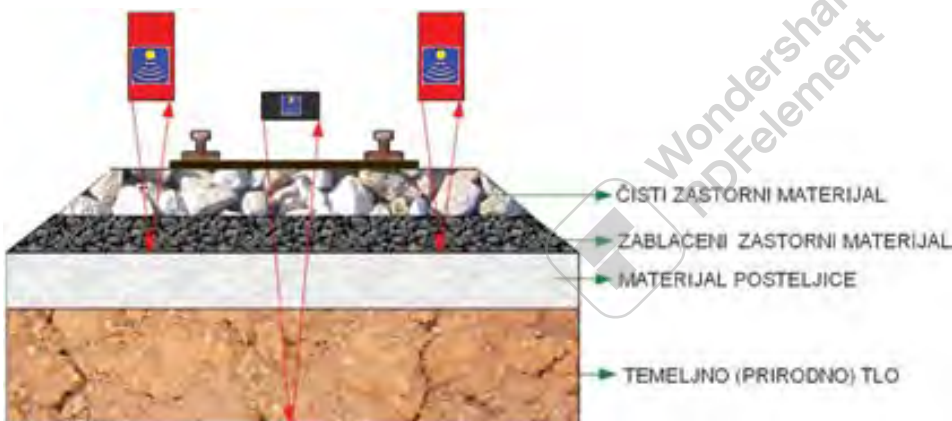
Dok snimanja bespilotnom letjelicom pružaju informacije o vanjskome stanju željezničkog nasipa, za potrebe određivanja stanja strukture nasipa primijenit će se geofizička elektromagnetna metoda georadarskog snimanja – *Ground Penetrating Radar* (GPR). Sama je metoda relativno jednostavna sa stajališta prikupljanja i obrade podataka, međutim osoba koja provodi ispitivanje i interpretaciju treba biti stručna po najviše iz razloga jer podaci dobiveni georadarskom metodom najčešće nisu jednoznačni [14].



Slika 2. Bepilotna letjelica [13]

Danas se, kada se želi dobiti uvid u stanje donjega željezničkog pružnog ustroja, dominantno koristi razorna metoda iskopa sondažnih jama. Veći problem od činjenice da je metoda razorna jest u tome da iskopavanje sondažnih jama za-

htijeva puno vremena te je na ispitivanoj dionici često neophodno obustaviti promet na dulje razdoblje [15]. Da bi se prevladao problem „razornosti“ metode kao i zatvaranja ispitivane dionice, sve češće se u svjetskoj praksi primjenjuje metoda georadarskog snimanja. Metoda se te-



Slika 3. Tipična georadarska konfiguracija za ispitivanje željeznica [16]



Slika 4. Ponašanje elektromagnetnog signala pri nailasku na zastorni materijal različite kvalitete [16]

melji na odašiljanju kratkotrajnih elektromagnetnih signala raznih frekvencija u donji pružni ustroj željeznice čime se dobiva kontinuirani zapis električnih svojstava materijala. U ispitivanju ključnu ulogu imaju središnje frekvencije primijenjenih antena jer one određuju dva ključna parametra ispitivanja – dubinu i rezoluciju ispitivanja. Korištenjem antena koje emitiraju valove viših frekvencija dobije se bolja rezolucija donjega pružnog ustroja, dok je kod primjene antena koje emitiraju valove nižih frekvencija ta rezolucija lošija. S druge strane primjena antena nižih frekvencija omogućuje ispitivanje većih dubina (temeljnog tla ispod posteljice) od primjene antena viših frekvencija. Tipična konfiguracija za georadarsko snimanje prikazana je na slici 3. Najčešće se postavlja jedna antena u pružnoj osi te po jedna antena s vanjske strane tračnica, kao i u predmetnim ispitivanjima.

Kako se vidi na slici 4, različite frekvencije antena uzrokuju različitu dubinu penetracije, pa antene postavljene s vanjskog ruba penetracije imaju višu centralnu frekvenciju koja omogućuje penetraciju do dubine koja otprilike odgovara dubini zastornog materijala. To omogućuje dobivanje visokorezolutne slike stupnja zablacenosti (onečišćenosti) zastornog materijala. Time se uspješno detektiraju i zastorne vreće koje nastaju uslijed dinamičkog opterećenja i usitnjavanja zastornog materijala. Mnoga su istraživanja na svjetskoj razini provedena u cilju određivanja kvalitete zastornog materijala željeznica [17, 18]. Kao što je prikazano na slici 4, kod čistog se zastornog materijala može očekivati raspršivanje signala te se pretpostavlja da je takav materijal suh zbog velike propusnosti. Raspršivanje je rezultat kontrasta u dielektričnoj konstanti između zastornog materijala i zraka koji se nalazi između frakcija zastornog materijala. S druge strane zablaceni materijal nastao uslijed usitnjavanja i penetracije gline, praha i vode homogeniji je sloj kod kojeg neće doći do velikog raspršivanja signala, ali se radi veće vlažnosti, očekuje veće prigušenje signala.

Između tračnica, u pružnoj osi, postavlja se antena niže frekvencije (slika 3) koja omogućuje penetracije na veću dubinu, ali i manju rezoluciju nego što to omogućuju antene viših frekvencija. Tom se antenom lociraju anomalije u zastornome

sloju i planumu, struktura donjega pružnog ustroja i granice između pojedinih slojeva kao i vlažnost materijala donjega pružnog ustroja.

Osim spomenute konfiguracije više-kanalnog sustava, primijenit će se i drugačiji raspored antena ovisno o vrsti fenomena koji se želi promatrati. U konkretnim ispitivanjima stanja nasipa koristit će se antene raspona središnjih frekvencija od 100 do 1000 MHz, čime se dobiva široki spektar rezultata. To će spriječiti potencijalno previđanje fenomena koji su važni za ocjenu stanja željezničkih nasipa. U tablici 3 prikazane su antene koje će se koristiti s prikazanim središnjim frekvencijama, mogućim dubinama penetracije te karakteristikama rezolucije koja se može postići.

Sustav za georadarska ispitivanja u pravilu je vrlo jednostavan i sastoji se od jedne ili više antena, upravljačke jedinice koja je „odgovorna“ za generiranje signala i prijam povratnog signala u funkciji vremena te laptopa odnosno prijenosnog računala na kojemu se već za vrijeme prikupljanja podataka može vidjeti georadarski snimak. Za potrebe ispitivanja izrađena su i posebna kolica prilagođena kretanju po željezničkim tračnicama, čime će se znatno ubrzati proces prikupljanja podataka. Ta kolica karakterizira visoka razina prilagodljivosti s gledišta puno veće prilagodljivosti uz istodobno korištenje više antena koje su odgovarajuće za detekciju određenog fenomena. Kao što je prikazano na slici 5, takva se kolica često izrađuju prilagođena konkretnome problemu koji se ispituje.

2.3. Treći korak: geotehnička kategorizacija nasipa

Nastavljajući se na faze pregleda, prikupljanja, sistematizacije i analize informacija o stanju gornjega i donjega pružnog ustroja, kao i na fazu georadarskih ispitivanja predmetne dionice, provodit će se i postupak kategorizacije željezničkog nasipa. Time će biti omogućena izrada detaljnog programa istražnih radova i praćenja koji će dati kvalitetnu podlogu za projektiranje sanacijskih mjera, a osobama zaduženima za upravljanje infrastrukturom omogućit će kvalitetniju raspodjelu ionako skromnih financijskih resursa.

Tablica 4. Antene koje će se koristiti u sklopu GPR-ispitivanja željezničkih nasipa u Hrvatskoj

	Antene koje će se koristiti u ispitivanjima stanja željezničkih nasipa u RH			
	Air-coupled (AC) ili Ground-coupled (GC)	Središnja frekvencija [MHz]	Najveća moguća dubina penetracije [m]	Rezolucija [m]
	GC	103	15	0,500
	AC	250	4	0,200
	GC	380	4	0,125
	AC	1000	1	0,050

Geotehnička kategorizacija bit će provedena definiranjem razine sigurnosti i potencijalnih rizika do kojih može doći, i to formiranjem tzv. okvira procjene rizika (eng. *risk assessment framework*). Lista prioriteta, kao rezultat procjene rizika, bit će provedena kvantitativnim pristupom [20] koji podrazumijeva da se vjerojatnost rizika i utjecaj rizika mogu jasno izračunati nekom od poznatih kvantitativnih metoda analize rizika. Pri tome će, kao relevantna baza podataka za formiranje razdiobe vjerojatnosti, poslužiti podaci o stanju dobiveni kroz prve dvije faze.

2.4. Četvrti korak: izrada programa istražnih radova, praćenja i idejnih rješenja sanacije

Na temelju procijenjenog rizika i kategorizacije nasipa definirat će se program istražnih radova i praćenja, a osim toga će se dati idejno rješenje sanacije svake dionice. Istražni radovi podrazumijevat će primjenu istražnih bušenja sa standardnim penetracijskim testom, laboratorijskih istražnih radova, statičkog penetracijskog testa i primjenu seizmičkih (refrakcija, SASW i MASW) i električnih (tomografija) geofizičkih metoda. Primjena tih geofizičkih metoda, zajedno s primjenom elektromagnetne georadarske metode, upotpunit će spektar geofizičkih metoda čime će se dobiti detaljan

prikaz stanja pojedinoga željezničkog nasipa. U praćenju ponašanja željezničkih nasipa definirat će se i mjerenja pomaka korištenjem inklinometra te kliznih deformetara i mikrometara te mjerenja pornih tlakova korištenjem piezometara. Podaci dobiveni istražnim radovima i praćenjem pružit će kvalitetnu podlogu za izradu glavnih i izvedbenih projekata sanacije.

3. Europski trendovi u ocjeni stanja željezničkih nasipa

Europska agencija za željeznice je 2013. zaključila da je željeznica najsigurniji način prijevoza [21]. Podaci o broju smrtnih slučajeva, sa stajališta prijedanih kilometara po putniku (putnik-kilometar kao mjerna jedinica koja se određuje umnoškom broja putnika i prosječne duljine putovanja), pokazali su da su zračni i željeznički sektor jednako sigurni s do dvadeset puta manjim brojem smrtnih slučajeva u odnosu na cestovni promet. Unatoč tim, za željeznicu ohrabrujućim podacima sve češće se na željeznicama događaju nesreće koje su rezultat zastarjele infrastrukture kao i sve izraženijih klimatskih promjena. Stoga je diljem zemalja zapadne Europe već dugi niz godina prepoznata nužnost ocjene stanja željezničke infrastrukture. Veliki broj znanstveno-istraživačkih međunarodnih i nacionalnih projekata koji se bave tom problematikom financiran je



Slika 5. Višekanalni georadarski sustav instaliran na posebna kolica [19]

kroz brojne programe. Jedan od takvih projekata je i četiri milijuna eura vrijedan projekt DESTination RAIL koji financira Europska unija u sklopu programa Obzor 2020 (Horizon 2020). Projekt je dio programa I²I Intelligent Infrastructure koji se odnosi na „pametnu“, visokokapacitetnu željezničku infrastrukturu koja je prilagođena korisnicima.

U projektu sudjeluje 15 partnera iz devet europskih država, točnije iz Hrvatske, Austrije, Irske, Nizozemske, Njemačke, Norveške, Slovenije, Švicarske i Ujedinjenog Kraljevstva. Na slici 6 zelenom su bojom označene države koje sudjeluju u provedbi projekta, a i naznačeni su neki čimbenici koji utječu na postojeću željezničku infrastrukturu: od odrona preko klizišta i potresa do ispiranja materijala željezničkih nasipa, poplavlivanja željeznica itd.



Slika 6. Države koje sudjeluju u provedbi projekta DESTination RAIL s prikazom čimbenika koji utječu na postojeću željezničku infrastrukturu

Važno je istaknuti da su u projekt uključene znanstveno-istraživačke institucije, mala i srednja poduzetništva, konzultantske tvrtke, ali i institucije zadužene za upravljanje željeznicama. Kao znanstveno-istraživačka institucija, iz Hrvatske na projektu sudjeluje Zavod za geotehniku pri Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, dok kao institucija odgovorna za upravljanje željeznicama sudjeluje HŽ Infrastruktura d.o.o.

Glavni je cilj projekta osobama odgovornima za upravljanje željezničkom infrastrukturom ponuditi rješenja koja će im pomoći smanjiti troškove sanacije kvalitetnijom raspodjelom financijskih resursa, uz istodobno povećanje razine sigurnosti i funkcionalnosti postojeće infrastrukture. Da bi to bilo omogućeno, razvit će se tzv. FACT (*Find, Analyse, Classify, Treat*) alat koji se sastoji od četiri modula (radne skupine) gdje se svaki modul naslanja na rezultate prethodnog modula.

3.1. Prvi korak: modul FIND

Prvi modul pod nazivom *Find* (Pronadi) daje odgovor na pitanje kako identificirati potencijalne probleme prije nego li nastupe. Modul se temelji na naprednoj vizualnoj procjeni i ocjeni stanja željezničke infrastrukture korištenjem više metoda kao što su bespilotne letjelice te korištenjem pristupa više geofizičkih metoda (*multi-geophysical approach*) da bi se dobila što kvalitetnija trodimenzionalna slika stanja infrastrukture. Preklapanje rezultata dobivenih primjenom višekanalnoga georadarskog sustava, seizmičkih geofizičkih metoda i električne tomografije omogućit će prevladavanje nedostataka koji se pojavljuju zbog primjene samo jedne od metoda. Dodatno, u toj će se fazi razviti napredni algoritam za detekciju točaka na željeznicama koje su kritične sa stajališta toka prometa, tzv. hot-spots, a dio istraživačkog rada bit će usmjeren na vibracijski odgovor stupova željezničkih mostova i vijadukata u cilju detektiranja potencijalnog ispiranja materijala.

3.2. Drugi korak: modul ANALYSE

Na rezultate modula *Find* nadovezuje se rad modula *Analyse* (Analiziraj) koji daje odgovor na pitanje kako odrediti sigurnost u stvarnome vremenu (real-time

safety) postojeće infrastrukture. U tome će se modulu analizirati prikupljeni podaci koji će poslužiti kao ulazni podaci za napredne probablističke modele za ocjenu trenutnog stanja i procjenu intervencija održavanja na vijek trajanja konkretne infrastrukturne građevine. Tako će se u sklopu tog modula razviti niz algoritama kao što su višekriterijski optimizacijski alat (*multi-criteria optimization tool*) i integrirani interakcijski model (*integrated train-track-infrastructure interaction model*).

3.3. Treći korak: modul CLASSIFY

Nakon modula *Analyse*, sljedeći korak u formiranju jedinstvene metodologije predstavlja modul *Classify* (Klasificiraj) koji daje odgovor na pitanje kako odrediti razinu sigurnosti i raspodijeliti skromne resurse. Kao odgovor razvit će sustav za upravljanje informacijama (*Information Management System – IMS*) koji će poslužiti za spremanje i korištenje podataka o izgradnji, sanaciji, rezultatima provedenih praćenja i drugome te kroz koji će se procjenjivati rizik temeljen na stvarnim, znanstvenim podacima uključenima u IMS-model. To će omogućiti znatno pouzdaniju ocjenu stanja u odnosu na subjektivnu vizualnu ocjenu.

3.4. Četvrti korak: modul TREAT

Kao završni, predviđen je modul *Treat* (Tretiraj) kroz koji će se obavljati prioritizacija odluka o ulaganju u postojeću željezničku infrastrukturu. On će također dati odgovor na pitanje kako odabrati optimalnu tehnologiju / metodu sanacije. Projekt DESTination RAIL razmatrat će metode za sanaciju i izgradnju većih i važnijih elemenata željezničke infrastrukture kao što su upornjaci mostova, prijelazne zone, nasipi itd. Projekt će stoga dodatno podrazumijevati izgradnju nasipa u mjerilu 1:1 uporabom nekih od metoda ojačanja nasipa, mjerenja ispiranja materijala oko stupova i temelja na nizu mostova, i to prije i nakon sanacije, kao i laboratorijski pokusni projekt u kojemu će se troosno ispitivati tlo ojačano geosinteticima.

Osim navedenih radnih skupina, postojat će i dvije zasebne radne skupine gdje će jedna biti zaslužna za integraciju spomenutih modula, dok je druga vezana uz upravljanje provedbom projekta. Među-



Slika 7. Veze između radnih skupina/modula projekta DESTination RAIL

sobne veze između navedenih modula (radnih skupina) prikazane su na slici 7. Najveći inovativni potencijal projekta upravo je u razvijanju prilagodljivog alata koji će omogućiti racionalne ocjene razine sigurnosti pojedinog elementa željezničke infrastrukture. Osim željezničkih nasipa, projektom su obuhvaćeni i mostovi, tuneli te gornji pružni ustroj.

4. Zaključak

U Hrvatskoj, kao i u ostatku Europe, većina željezničke infrastrukture starija je od stotinu godina te je neizbježno njezino nazadovanje. Osim toga, u novije je vrijeme sve učestaliji problem i izraženih klimatskih promjena koje imaju dodatni negativan utjecaj na postojeću infrastrukturu. Međutim, dok je u Europi problem zastarjele infrastrukture odavno prepoznat, u Hrvatskoj su željeznice sustavno zanemarivane zadnjih 30-ak godina, a ulaganja u željezničku infrastrukturu nisu bila dovoljna. Do sanacija željezničke infrastrukture, nažalost, najčešće dolazi tek kada dođe do određenih problema u smislu velikog ugrožavanja sigurnosnih i funkcionalnih aspekata. Tada su i troškovi sanacije znatno veći od troškova koji bi se morali izdvojiti da se na vrijeme reagiralo na potencijalne nestabilnosti. Međutim, HŽ Infrastruktura d.o.o. prepoznala je potrebu za sustavnom ocjenom stanja željezničkih nasipa diljem Hrvatske, čime bi se dobila šira slika problema koji uzrokuju prekomjerne deformacije i nestabilnosti,

te će se na 182 km željezničkih pruga u Hrvatskoj ocijeniti stanje postojećih nasipa kroz program koji uključuje specijalistički pregled, prikupljanje, sistematizaciju i analizu svih raspoloživih informacija o stanju gornjega i donjega pružnog ustroja i uočenim nepravilnostima te georadarska snimanja pružnih dionica u najmanje tri osi u poprečnome presjeku nasipa. Na temelju prikupljenih podataka bit će provedena geotehnička kategorizacija nasipa korištenjem kvantitativnog pristupa procjene rizika te će se na temelju stupnja rizika i problema koji je relevantan za svaku dionicu izraditi program istražnih radova i praćenja te idejno rješenja sanacije. Takav program ocjene stanja željezničkih nasipa u skladu je s trendovima na europskoj i svjetskoj razini. Najbolji primjer za to je znanstveno-istraživački projekt *Destination Rail* koji financira Europska komisija u sklopu programa Obzor 2020. Osnovna je ideja projekta razvijanje tzv. FACT (*Find, Analyse, Classify, Treat*) alata koji bi osobama koje upravljaju željezničkom infrastrukturom pomogao u ocjeni stanja, procjeni rizika i donošenju odluka vezanih uz postojeću željezničku infrastrukturu. U projektu sudjeluje 15 partnera iz devet europskih zemalja, od znanstveno-istraživačkih institucija preko malih i srednjih poduzetnika do konzultantskih tvrtki, ali i institucija mjerodavnih za upravljanje željeznicama. Iz Hrvatske u projektu sudjeluju Zavod za geotehniku pri Građevinskom fakultetu u Zagrebu i HŽ Infrastruktura d.o.o..

LITERATURA

- [1] European Commission - The Fourth Railway Package - Completing the Single European Railway Area to Foster European Competitiveness and Growth, 2013.
- [2] Matotek, D.: Proslava 150. obljetnice željeznice u Hrvatskoj, *Građevinar*, 62 (5), pp. 453-460, 2010.
- [3] TUD COST Action TU1202 Impact of climate change on engineered slopes for infrastructure, Memorandum of Understanding, www.cost.eu/COST_Actions/tud/Actions/TU1202, (preuzeto 26. 4. 2015.)
- [4] European Commission - Roadmap to a single european transport area - towards a competitive and resource-efficient transport system, White Paper on Transport, 2011.
- [5] European Commission - Directorate General for Mobility and Transport, The Performing Rail Infrastructure Manager, 2013.
- [6] 'Strategija prometnog razvitka Republike Hrvatske', NN 139/99, 1999.
- [7] Kreč, S., Hozjan, T., Golubić, J.: Razvojne mogućnosti željeznice u Hrvatskoj, Ocjena dosadašnjeg prometnog razvitka Hrvatske i osnovne smjernice daljnjeg razvoja, Steiner, Sanja ; Božičević, Josip ; Bukljaš Skočibušić, Mihaela (ur.). Zagreb : Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, pp. 135-149, 2012.
- [8] Živković, S., Bušić, B., Vicković, D.: Utjecaj poplava u Slavoniji na željezničku infrastrukturu, *Dani prometnica 2015: Kvaliteta prometne infrastrukture - ključ razvoja gospodarstva*, Lakušić, Stjepan (ur.). Zagreb : Zavod za prometnice, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, pp. 203-328, 2015.
- [9] www.bbc.com (preuzeto 27.04.2015.)
- [10] www.rte.ie (preuzeto 27.04.2015.)
- [11] HŽ Infrastruktura: Usluga snimanja georadarom pružne mreže u RH, Projektni zadatak, prosinac 2013.
- [12] Živković, S., Bušić, B., Vicković, D.: Utjecaj poplava u Slavoniji na željezničku infrastrukturu, *Dani prometnica 2015: Kvaliteta prometne infrastrukture - ključ razvoja gospodarstva*, Lakušić, Stjepan (ur.). Zagreb : Zavod za prometnice, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, pp. 203-328, 2015.
- [13] Kovačević, M., S., Jurić Kačunić, D., Car, M., Bačić, M.: Suvremene geodetske i geofizike metode ispitivanja tla i stijena, *Izazovi u graditeljstvu 2*, Lakušić, Stjepan (ur.). Zagreb : Hrvatski savez građevinskih inženjera, pp. 287-315, 2014.
- [14] Marčić, D., Bačić, M., Librić, L.: Using GPR for detecting anomalies in embankments, 13th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering 2013, Bratislava, pp. 695-710, 2013.

- [15] Manacorda, G.: A customized GPR system for railway tracks verification, 9th International Conference on Ground Penetrating Radar, Santa Barbara, USA, SPIE 4758, pp. 719-723, 2002.
- [16] Bekić G.: Railroad survey application, Application notes, www.geoscanners.com (preuzeto 05.03.2015.)
- [17] Leng, Z., Al-Qadi, I. L.: Railroad Ballast Evaluation Using Ground Penetrating Radar: Laboratory Investigation and Field Validation, Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2010.
- [18] Selig, T., Smith, S. S., Olhoeft, G. R.: Ground Penetrating Radar for Railway Substructure Condition Assessment, s.l.: Bentley Civil., 2006.
- [19] Safe Rail System, www.saferailssystem.com, (preuzeto 30.04.2015.)
- [20] Cerić, A., Marčić, D. & Kovačević, M.S.: Applying the analytic network process for risk assessment in sustainable ground improvement, Građevinar, 65 (10), pp. 919-929, 2013.
- [21] European Railway Agency: Intermediate report on the development of railway safety in the European Union, 2013.

SAŽETAK

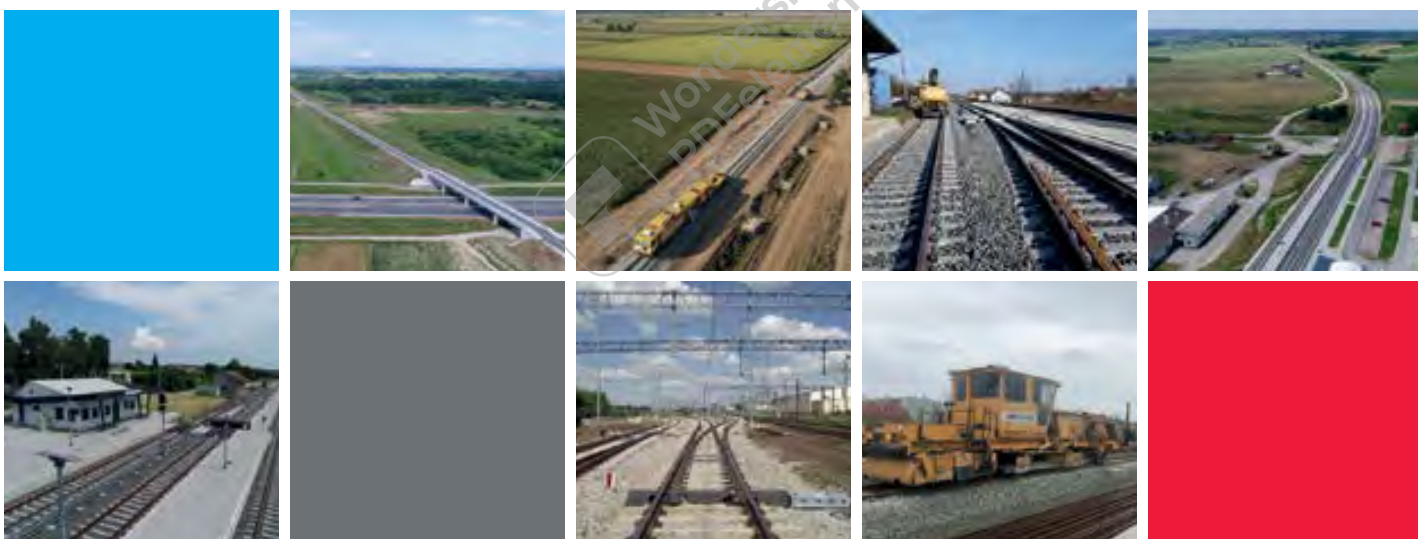
HRVATSKI I EUROPSKI TRENDovi U OCJENJIVANJU STANJA POSTOJEĆIH ŽELJEZNIČKIH NASIPA

Činjenica je da je željeznička infrastruktura u Europi vrlo stara te da je velik dio ključnih infrastrukturnih građevina kao što su mostovi, tuneli ili nasipi stariji od stotinu godina. To je uzrokovalo postupnu degradaciju postojeće željezničke infrastrukture. Dok je u zemljama zapadne Europe nužnost sanacije takvih građevina prepoznata već dulji niz godina, u Hrvatskoj su posljednjih 30-ak godina željeznice sustavno zanemarivane, što je rezultiralo lošim stanjem i malim voznim brzinama. Međutim, situacija se popravlja te se sve više sredstava ulaže u željezničku infrastrukturu. U radu je predstavljena nova inicijativa ocjenjivanja stanja željezničkih nasipa u Hrvatskoj kao vrlo važnih elemenata željezničke infrastrukture. Inicijativa je u skladu s trenutačnim trendovima na europskoj razini, što potvrđuje nedavno pokrenuti znanstveno-istraživački projekt DESTination RAIL iz programa H2020 koji će također biti predstavljen u radu.

SUMMARY

CROATIA AND EUROPEAN TRENDS IN EVALUATING THE STATE OF THE EXISTING RAILWAY EMBANKMENTS

It is a fact that railway infrastructure in Europe is quite old and that the majority of key infrastructure structures, such as bridges, tunnels or embankments, are more than a hundred years old. This has caused a gradual degradation of the existing railway infrastructure. While Western European countries have long ago recognized the need to restore such structures, in the course of the past 30 or so years in Croatia, railways have been systematically neglected, which has resulted in a bad condition of infrastructure and low operation speeds. However, the situation is improving, and more and more funds are being invested in railway infrastructure. This paper presents a new initiative for the evaluation of the condition of railway embankments in Croatia as very important elements of the railway infrastructure. The initiative is in line with current trends at the European level, which is confirmed by the recently launched scientific and research project entitled DESTination RAIL, within the scope of the H2020 programme, which will also be presented in the paper.



U službi najboljih infrastruktura u Hrvatskoj


COMSA
CORPORACIÓN

Gradimo održivu
budućnost

Brazil | Danska | Hrvatska | Kolumbija | Letonija | Litva | Meksiko
Peru | Portugal | Španjolska | Švedska | Urugvaj

www.comsa.com