

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/193



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-2311
Naslov projekta	Optimizacija dimenzioniranja gramozne grede in ostalih nosilnih plasti pod njo, z in brez geomreže
Vodja projekta	21593 Stanislav Lenart
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4650
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	1502 Zavod za gradbeništvo Slovenije
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.01 Gradbeništvo 2.01.02 Geotehnika
Družbeno-ekonomski cilj	04. Prevoz, telekomunikacije in druga infrastruktura

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	2.01
- Veda	2 Tehniške in tehnološke vede
- Področje	2.01 Gradbeništvo

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

Namen raziskave je bil optimirati dimenzioniranje nasipa železniške proge, z glavnim poudarkom na optimizaciji debeline plasti gramozne grede in tampona. Raziskovalni projekt je bil razdeljen v med seboj povezane štiri delovne sklope, ki so se ukvarjali z razvojem modeliranja (WP1), razvojem novih materialov in izboljšavami obstoječih produktov (WP2),

raziskavami širjenja poškodb v temeljnih tleh (WP3) in vpeljavo rezultatov v železniško industrijo (WP4). Projekt je sofinanciral proizvajalec geosintetikov NAUE, v vlogi zainteresirane javnosti pa so v projektu sodelovale Slovenske železnice. Izvedene so bile obširne laboratorijske preiskave na posameznih materialih (različne vrste geosintetikov, zaščitni premazi, tolčenec iz naravnega gramoznega materiala in industrijski silikatni tolčenec - jeklarska žliindra kot nadomestek naravnega materiala), kot tudi preiskave na kompozitih materialov (gramozni material armiran z geosintetiki) in modelnih konstrukcijah. Izdelanih je bilo 15 modelov konstrukcije železniške proge dimenzij 2.5 m x 1.6 m z različnimi vrstami armiranja nosilnega tamponskega sloja. Rezultati so pokazali, da je vpliv armiranja nosilnega tamponskega sloja največji v primeru slabo nosilnih temeljnih tal. Za primer togosti planuma temeljnih tal < 5 MPa smo dosegli povečanje togosti od 25% do preko 40% glede na nearmiran nosilni tamponski sloj. Ciklični triosni testi so pokazali tudi, da je zmanjševanje vertikalne razdalje med sloji armaturnega geosintetika z namenom doseganja večje togosti kompozita smiselno do razdalje približno 10 cm.

Splošno napetostno deformacijsko stanje v zemljinah, ki vključuje rotiranje glavnih napetostnih osi, z običajnimi triosnimi preiskavami ni mogoče simulirati. Zato je bil uporabljen dinamični torzijski aparat s frekvenco obremenjevanja nad 50 Hz. Preiskave so pokazale uničujoč vpliv rotacije glavnih napetostnih osi zaradi železniškega prometa na temeljna tla pod nasipom železniške proge. Upravljalci železniške (in tudi cestne) infrastrukture bi v prihodnosti morali razmisliti o vključitvi tovrstnih preiskav temeljnih tal v postopek načrtovanja novih prometnic. V sklopu raziskovalnega projekta so bila vzpostavljena tri testna polja in sicer (1) z običajno gramozno gredo brez uporabe armiranja z geomrežami, (2) z gramozno gredo armirano z geomrežami in brez uporabe nosilne plasti pod gredo in (3) z gramozno gredo in nosilno plastjo pod njo armirano z geomrežami.

Izvajalci raziskovalnega projekta so skupaj s Slovenskimi železnicami v okviru 7.okvirnega programa EU uspešno prijaviли raziskovalni projekt SMART RAIL, v sklopu katerega bo omogočen nadaljni monitoring izvedenih testnih polj.

ANG

The research aimed to optimize the design of railway embankment, with the main stress laid upon the evaluation of ballast and sub-ballast layers, concerning the subgrade soil stress state. Research project composed of four inter-connected work packages, which dealt with improvements of modeling of geogrid reinforcement (WP1), development of new materials and improvements of existing products (WP2), research on damage propagation within subsoil (WP3) and application of results into railway industry. Project was co-funded by geosynthetics manufacturer NAUE. Slovenian Railways took a part in a project as an interested public.

An extensive laboratory tests were carried out on single materials (different kind of geosynthetics, protection measures, ballast made of natural gravel material, industrial ballast made of steel slag aggregate as a substitute of natural material), as well on composite materials (gravel material reinforced with geosynthetics) and model structures. There were 15 model structures of railway track with dimensions of 2.5 m x 1.6 m built by using different kind of bearing layer reinforcement. Results showed the effect of reinforcement being greatest in case of soft ground. For instance, if ground stiffness $E_{v2} < 5$ MPa, the stiffness at the top of bearing layer increased for 25% up to 40% compared to unreinforced bearing layer. Cyclic triaxial tests showed also that optimum vertical spacing between reinforcement layers should not be less than 10 cm.

The general stress-strain states of subgrade soils, which involves the rotation of principal stress axes, can not be simulated in routine triaxial laboratory tests. Thus hollow cylinder device with dynamic loading with frequency >50 Hz was used. Damaging effect of principal stress rotation on subgrade soil as a train passes was shown. The railway (as well as road) engineers should take into account this information and should test a response of ground soil upon the effect of principal stress rotation when new traffic routes are designed. Three field test sections on railway track were constructed within the scope of this research project: (1) test section with ballast without reinforcement, (2) test section with geogrid reinforced ballast without sub-ballast layer and (3) test section with ballast and sub-ballast layer, which is reinforced by geogrid.

Collaborating partners of this research project has won EU 7FP research project SMART RAIL founding in collaboration with Slovenian Railways. This will enable further monitoring of field test sections.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

V raziskovalnem projektu smo detajlno analizirali nekaj izmed korakov dimenzioniranja železniške proge, predvsem tiste vezane na njeno doseganje ustrezne nosilnosti in togosti. Glavnina raziskovalnega dela je bila vezana na zgornji ustroj železniške proge,

predvsem na gramozno gredo in tamponski sloj (nevezana nosilna plast) pod njo. Pri tem nas je zanimalo kako bi bilo mogoče z ustreznim armiranjem z geomrežami zmanjšati debelino tamponskega sloja in hkrati doseči čim boljši raznos napetosti v spodnjem ustroju železniške proge in spodaj ležečem terenu. Konstrukcija železniškega nasipa naj bi bila dimenzionirana tako, da prenese delovanje železniškega prometa in vplivov vremenskih dejavnikov brez večjih posledic za temeljna tla. Pri tem je pomembna tudi obstojnost posameznih materialov. Raziskovalni cilji so bili:

- Z laboratorijskimi preiskavami preučiti kakšen je vpliv rotiranja glavnih napetosti (do katerega pride zaradi prometne obtežbe) na razvoj deformacij v temeljnih tleh.
- Z laboratorijskimi preiskavami preučiti mehanizem armiranja gramoznega in tamponskega materiala z uporabo geomreže in osvojiti modeliranje le tega.
- Določiti način učinkovite sanacije in ojačitve gramozne grede z geomrežo, če se razvijejo prekomerne deformacije.

Raziskovalno delo je potekalo v štirih sklopih:

WP1: Razvoj modeliranja mehanizma armiranja z geomrežami

V prvi fazi raziskovalnega projekta smo v laboratoriju izvedli 21 triosnih testov na cilindričnih vzorcih višine 32 cm in premera 16 cm. Z njimi smo preizkušali vplivne parametre armiranja z geomrežami. Spreminjali smo različne vplivne parametre, pri čemer se je izkazalo, da na interakcijo geomreža-agregat najbolj vplivajo geometrija geomreže (velikost odprtin), togost mreže, oblika prečnega prereza reber in togost stikov med rebri. S podporo numeričnega modeliranja po metodi končnih elementov (ABAQUS, Plaxis in lastna koda) smo ugotovili, da modeliranje kontaktov na mikronivoju za študijo parametrov ni učinkovito in niti ni uporabno za praktične aplikacije. Zato smo v nadaljevanju vse vplivne parametre združili na nivo interakcije geomreža-agregat, opisan s trenjskim koeficientom stika. Za potrebe raziskav le-tega smo modificirali standardno direktno strižno preiskavo. Izdelali smo nov strižni aparat za preizkušanje vzorcev dimenzij 40 cm x 40 cm x 40 cm. Aparat smo opremili z dvema hidravličnima batoma za neodvisno ciklično obremenjevanje v vertikalni in horizontalni smeri. Matematično modeliranje v sklopu projekta smo nato temeljili na rezultatih modificiranega strižnega testa.

Za potrebe raziskav togosti armiranega agregata smo izvedli 14 cikličnih in monotonih triosnih testov na vzorcih višine 50 cm in preseku 23 cm x 23 cm. Uporabili smo realne napetostne pogoje značilne za nosilni sloj železniške proge. S pomočjo doma izdelanih senzorjev deformacij smo le-te merili lokalno. Na ta način smo opazili dve značilnosti armiranih zemljin, ki jih do sedaj ni bilo zaslediti v tujih objavah. Z meritvami prehoda strižnega valovanja smo dokazali, da geomreže zmanjšujejo hitrost prehoda valovanj in posledično povzročajo nižje vrednosti izvrednotenih začetnih togosti kompozita. Ugotovili smo tudi, da so začetne togosti neposredno v in ob sloju armiranja nižje od tistih v nearmiranem delu. Šele z naraščanjem deformacij se razvije t.i. »interlocking effect«, ki povzroči višje trdnosti in togosti armiranih zemljin. Posledično smo ugotovili tudi pozitiven vpliv predhodne obremenitve/preobremenitve armirane zemljine na njene začetne togosti. Pri interpretaciji rezultatov preiskav smo sodelovali z raziskovalno skupino iz ISS Tokyo University pod vodstvom prof.J.Koseki in prof.F.Tatsuoka.

V sodelovanju z raziskovalno skupino BBG iz Nemčije in sofinancerjem NAUE smo izdelali 15 modelov konstrukcije železniške proge dimenzij 2.5 m x 1.6 m z različnimi vrstami armiranja nosilnega tamponskega sloja. Pri tem smo z uporabo posebnih elastičnih gum simulirali realne togosti različnih temeljnih tal. Potrdilo se je, da je vpliv armiranja nosilnega tamponskega sloja največji v primeru zelo slabo nosilnih temeljnih tal. Za primer E_{v2} temeljnih tal < 5 MPa smo dosegli povečanje togosti od 25% do preko 40% glede na nearmiran nosilni tamponski sloj. Rezultat je odvisen od strižnih lastnosti stika agregat-geomreža. Rezultate smo potrdili še s terenskimi meritvami, ki jih je iz svojih različnih projektov po svetu priskrbel sofinancer NAUE.

WP2: Izboljšava obstoječega produkta-geomreže

Rezultati preiskav med obremenjevanjem s prometno obtežbo so pokazali, da se v geomreži, s katero armiramo nosilni tamponski sloj, v vzdolžni in prečni smeri razvijejo deformacije podobnega velikostnega reda. Z merilnimi lističi pritrjenimi na rebra geomreže smo ugotovili, da se geomreža aktivira v nategu zgolj tik pod obtežbo. Na razdalji približno enaki debelini sloja nad mrežo pa v geomreži nastane celo manjši tlak.

Deformacijske in trdnostne lastnosti tamponskih slojev armiranih z geomrežo ali geokompozitom "Combigrid" (geomreža+geotekstil) so bile v 11 cikličnih triosnih preiskavah ugotovljene kot skoraj identične. Rezultati zavračajo hipotezo, da kombinacija geomreže in geotekstila zmanjša učinkovitost armiranja.

Na testnih poljih uporabljeni geomreži smo dodali različne vrste odbojnih trakov (Alu trakovi različnih debelin in širin). Med vgrajevanjem je bilo ugotovljena najbolj preprosta uporaba

samolepilnega Alu traka, ki je hkrati pokazal tudi zadovoljive rezultate z meritvami z GPR. Uporabnost teh meritev v procesu vzdrževanja železniške proge se bo pokazala z nadaljnjimi meritvami (bodo potekale v okviru projekta SMART RAIL)

V sodelovanju z raziskovalno skupino sofinancerja NAUE smo preko testiranja ugotovili, da obstoječi tolčenec karbonatnega izvora, ki ga za gramozno gredo uporabljajo Slovenske železnice, nima zadostne odpornosti proti drobljenju, da bi armiranje z geomrežami lahko bilo v polnosti učinkovito. Možen bi bil uvoz tolčenca silikatnega izvora (eruptivne kamnine). S testiranjem pa smo pokazali, da ima primerne lastnosti za uporabo tudi industrijski silikatni tolčenec (jeklarska žindra), ki nastaja pri proizvodnji jekla kot odpadek. Poleg boljših mehanskih lastnosti ima ta tudi boljšo odpornost na visoke temperature, kar je v nekaterih aplikacijah na železnici zelo pomembno. Skupaj z raziskovalci NAUE smo na osnovi boljših lastnosti tega tolčenca v kombinaciji z geomrežo razvili tri inovativne praktične aplikacije, od katerih je ena že patentno zaščitena, dve pa še čakata na podelitev patenta.

WP3: Raziskave širjenja poškodb v temeljnih tleh

S serijo dinamičnih torzijskih preiskav smo preiskali odzivanje temeljnih tal, ki so izpostavljena dinamični obremenitvi zaradi železniškega prometa (rotacije glavnih napetosti). Ugotovljeno je bilo, da se trajne deformacije med dolgotrajno prometno obtežbo, ki je manjša od mejne vrednosti, postopno povečujejo do asimptotične vrednosti, ki označuje stabilno stanje. Obtežba nad mejno vrednostjo pa povzroči povečevanje trajnih deformacij in posledično porušitev. Dinamični torzijski triosni aparat smo opremili tudi s senzorji za merjenje malih deformacij in senzorji za zaznavanje vibracij. Rezultati preizkušanj nearmiranih vzorcev so pokazali, da so togosti izmerjene s statično metodo (ciklično obremenjevanje pri zelo malih deformacijah) praviloma nekoliko nižje od togosti izračunanih iz hitrosti širjenja valov. Z meritvami malih deformacij na armiranih preizkušancih med laboratorijskimi testi in uporabo senzorjev za zaznavanje vibracij smo ugotovili kvaren vpliv prisotnosti geomreže na rezultate geofizikalnih meritev na železniških progah. Togosti izmerjene s statično metodo so v tem primeru natančnejše.

WP4: Vpeljava rezultatov v železniško industrijo

V sklopu projekta smo v sodelovanju s Slovenskimi železnicami opremili tri testna polja in sicer testno polje z običajno gramozno gredo brez uporabe armiranja z geomrežami, testno polje z gramozno gredo armirano z geomrežami in brez uporabe nosilne plasti pod gredo in testno polje z gramozno gredo in nosilno plastjo pod njo armirano z geomrežami. V vseh primerih smo gramozno gredo, nosilni tamponski sloj in geomrežo (kjer je bila) opremili z ustreznimi merilniki deformacij in napetosti. Meritve so pokazale občutno zmanjševanje učinkovitosti (izkoriščenosti) geomreže z naraščanjem globine njene vgradnje. Tako je geomreža najbolj optimalno izkoriščena, če je položena takoj pod gramozno gredo (na globini približno 30-40 cm).

Za Slovenske železnice so bila v sklopu projekta izdelana priporočila za dimenzioniranje gramozne grede ob uporabi geomreže.

V zadnjem pol leta izvajanja je bilo težišče raziskovalnega projekta na dokončanju načrtovanih testnih polj in aktivnostih, ki bodo omogočile nadaljevanje raziskovalnega dela na problematiki optimalnega dimenzioniranja gramozne grede železniške proge ob uporabi armaturne geomreže. Ob izvajanju projekta in interpretiranju rezultatov smo sodelovali s številnimi raziskovalci iz tujine (University of Nottingham, University College Dublin, Technical University Muenchen). Rezultat tega sodelovanja je bila tudi pobuda za prijavo raziskovalnega projekta SMART RAIL v okviru 7.okvirnega programa EU. Z njegovo uspešno prijavo smo dobili finančno podlago za nadaljnji monitoring vzpostavljenih testnih polj. Poleg monitoringa pa nam bo projekt SMART RAIL omogočil tudi nadaljevanje preiskave treh področij, ki so rezultirale iz raziskovalnega projekta, ki je predmet tega poročila. Ta tri področja so:

- Armiranje gramozne grede na prehodih med različno togimi podlagami
- Uporaba umetnega silikatnega tolčenca v gramozni gredi
- Izvedba opornikov mostnih konstrukcij iz armirane zemljine

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Raziskovalni projekt je bil organiziran v delovnih sklopih, ki so imeli vsak svoje naloge.

WP1: Razvoj modeliranja mehanizma armiranja z geomrežami

Naloga 1.1 (Preizkušanje vplivnih parametrov) je bila s cikličnimi triosnimi testi v večini narejena v prvem letu trajanja projekta. Na njeni osnovi smo se lotili izdelave novega strižnega aparata za preiskave bistvenih vplivnih parametrov. Izdelava se je zavlekla vse do tretjega leta. Sočasno je že v prvem letu stekla **Naloga 1.2** (Parametrična študija interakcije

geomreža-agregat), kjer smo razvijali matematično modeliranje. Zaključeno je bilo v tretjem letu v interakciji z **Nalogo 1.5** (Izboljšava matematičnega modeliranja). Za to nalogo so bili uporabljeni rezultati vzorcev realnih dimenzij z realnimi napetostnimi pogoji in lokalnim merjenjem deformacij. S temi preiskavami je bil raziskan »interlocking effect«, z njimi pa smo nadomestili načrtovan Pospešen obremenjevalni test (**Naloga 1.4**). V drugem letu projekta je bila realizirana **Naloga 1.3** (Priprava modelov konstrukcije žel.proge) z izvedenimi modelnimi preizkusi. Tudi ti rezultati so bili uporabljeni v **Nalogi 1.5**.

WP2: Izboljšava obstoječega produkta-geomreže

S tem sklopom smo začeli šele konec prvega leta projekta, ko smo z laboratorijskimi meritvami izvedli optimizacijo geomreže in nakazali nekaj možnih novosti pri uporabljenih materialih (**Naloga 2.1**). V drugem letu smo začeli tudi z vpeljavo novih funkcij geomreže (**Naloga 2.2**). Testirali smo »Combigrid« in odbojne trakove, ki so bili v tretjem letu uporabljeni na testnem polju. **Naloga 2.2** je bila v drugem in tretjem letu na željo sofinancerja razširjena na raziskave industrijskega silikatnega tolčenca armiranega z geomrežo. Rezultati delovnega sklopa WP2 so bili ali pa so v postopku patentne zaščite.

WP3: Raziskave širjenja poškodb v temeljnih tleh

V prvem in drugem letu smo izvedli testiranje vpliva rotacije glavnih napetosti (**Naloga 3.2**) in ugotovili njihov vpliv na razvoj trajnih deformacij. V drugem letu smo opravili načrtovano nadgradnjo obstoječe laboratorijske opreme z vpeljavo nedestruktivnih metod merjenja (**Naloga 3.1**). V tretjem letu smo s to opremo prišli do zanimivih ugotovitev vezanih na meritve togosti železniške proge z uporabo geofizikalnih metod.

WP4: Vpeljava rezultatov v železniško industrijo

S precejšnjo zamudo glede na plan smo šele proti koncu tretjega leta uspeli dokončati načrtovana testna polja (**Naloga 4.1**). Zaradi tega smo za vrednotenje predlaganega modela (**Naloga 4.2**) uporabili rezultate laboratorijskega testiranja. To je bilo izvedeno v tretjem letu v sodelovanju z Nalogo 1.5. Izven načrtovanega dela pa smo v sklopu raziskovalnega projekta v drugem letu za Slovenske železnice pripravili Priporočila za dimenzioniranje gramozne grede ob uporabi geomreže, uspeli pa smo tudi s prijavo evropskega projekta SMART RAIL, ki bo omogočal nadaljevanje začete raziskovalnega dela in monitoringa na testnih poljih.

Ocenjujemo, da je bil program dela (razen manjših modifikacij) v celoti realiziran.

6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

Bistvenih odstopanj od programa raziskovalnega projekta ni bilo.

Največje odstopanje se je pojavilo pri Nalogi 1.4, kjer smo načrtovan Pospešen obremenjevalni test modela celotne konstrukcije zamenjali s preiskavami večih "segmentov" konstrukcije. Še vedno so bile preiskave v merilu 1:1 in uporabljeni so bili realni napetostni pogoji značilni za železniško progo (vključno z dinamičnim obremenjevanjem). Prednost te zamenjave pa je bila, da smo s tem dobili možnost natančnega lokalnega merjenja deformacij, kar nam je predstavljalo prednost pri Izboljšavi matematičnega modeliranja (Naloga 1.5). Potrebne podatke o odzivanju celotne konstrukcije smo dobili z izvedbo večjega števila statično izvedenih modelnih testov konstrukcije.

Manjša odstopanja so se pojavila pri časovnem redosledu izvajanja nalog (npr. zamuda pri začetku izvajanja nalog iz WP2, zamuda pri vzpostavitvi testnih polj v Nalogi 4.1, prehitavanje izvajanja nalog iz WP3, ipd.). Zaradi finančnih težav na Slovenskih železnicah in posledično zamude pri vzpostavljanju testnih polj smo za vrednotenje matematičnega modela uporabili zgolj laboratorijske rezultate. Računamo, da bomo z nadaljevanjem raziskovalnega dela v sklopu projekta SMART RAIL uspeli uporabiti tudi podatke iz testnih polj.

Pri izvajanju projekta smo sodelovali z bistveno večjim številom tujih raziskovalnih skupin, kot je bilo predvideno. Vzpostavili smo sodelovanje z IIS University of Tokyo, University of Nottingham (UN), University College Dublin (UCD) in Technical University Muenchen (TUM). IIS je bila vključena predvsem v zasnovo in interpretacijo rezultatov preiskav, TUM je sodeloval pri modeliranju, UN in UCD pa sta pomagala s svojimi izkušnjami pri testiranjih.

Z izjemo IIS smo z vsemi naštetimi skupinami in Slovenskimi železnicami skupaj vključeni v izvajanje evropskega raziskovalnega projekta SMART RAIL.

Na željo sofinancerja in tudi Slovenskih železnic smo razširili raziskave materialov na industrijski silikatni tolčenec (jeklarsko žlindro). Do tega je prišlo zaradi ugotovitve, da obstoječi tolčenec karbonatnega izvora, ki ga za gramozno gredo uporabljajo Slovenske železnice, nima zadostne odpornosti proti drobljenju, da bi armiranje z geomrežami lahko bilo v polnosti učinkovito. Uvoz eruptivnega materiala v Slovenijo ne bi bil finančno izvedljiv, zato smo preiskali uporabo nadomestnega materiala v železniški infrastrukturi.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	4546401	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Prilagodljivo modeliranje ploskovnih konstrukcij po metodi končnih elementov z metodo uravnoveženja robnih obtežb
		ANG	Model adaptivity for finite element analysis of thin or thick plates based on equilibrated boundary stress resultants
	Opis	SLO	Članek predstavlja metodo za prilagodljivo modeliranje ploskovnih konstrukcij s končnimi elementi, ki temelji na uravnoveženju robnih obtežb. Tak način omogoča zanesljivo določitev tako diskretizacijske kot tudi modelske napake.
		ANG	Paper presents an adaptive method of modeling of thin and thick plates using the method of equilibrated boundary stress resultants to estimate both discretisation and model error.
	Objavljeno v	Pineridge Press; Engineering computations; 2009; Letn. 26, št. 1/2; str. 69-99; Impact Factor: 0.651; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.918; WoS: EV, IF, PO, PU; Avtorji / Authors: Bohinc Uroš, Ibrahimbegović Adnan, Brank Boštjan	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	1696615	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Požarna odpornost betona iz agregata jeklarske žlindre
		ANG	Fire resistance of steel slag aggregates concrete
	Opis	SLO	Agregat jeklarske žlindre je v članku predviden kot agregat, ki bi lahko izboljšal požarno odpornost betona. Trije vzorci tovrstnega betona so bili postavljeni vplivu visokih temperatur. Po ohlavitvi vzorcev so bile preizkušene njihove ostale mehanske lastnosti. Doseženi rezultati in analiza mikrostrukture zagovarjajo teorijo uporabe jeklarske žlindre kot požarno odpornega agregata. Ta lastnost je pomembna predvsem pri uporabi materiala v železniških predorih.
		ANG	In this paper steel slag is considered as an aggregate which could improve fire resistance of concrete due to the fact that it is a material that occurs at high temperatures. Three concrete mixtures were exposed to high temperatures impact. Upon cooling of the specimens, their residual mechanical properties were tested. Achieved results and microstructural analysis promote the theory that steel slags could be used as fire resistant aggregates. This characteristic of material is important in case of use in railway tunnels.
	Objavljeno v	Freund Pub. House.; High-temperature materials and processes; 2010; Vol. 29, no. 1/2; str. 77-87; Impact Factor: 0.333; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.13; WoS: PM; Avtorji / Authors: Netinger Ivanka, Bjegović Dubravka, Mladenović Ana	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	1753959	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba jeklarske žlindre za ognjevzdržni beton
		ANG	The potential use of steel slag in refractory concrete
	Opis	SLO	Žlindra iz jeklarske industrije je odpadek pri proizvodnji jekla in se lahko uporabi v različne namene, npr. kot agregat v betonu. Je termično nestabilna in izpostavljena volumskim spremembam med segrevanjem. Pri žarjenju nad 800 °C se wustite pretvori v magnetite, kar je spremljajo volumske spremembe, ki povzročijo razpoke v . Ta transformacija je ireverzibilna in če žlindro žgemo do 1000C , postane termično stabilna in ne povzroča težav pri visokotemperaturni uporabi.
			Steel slags are by-products in the steel production industry and can be

		used for different purposes; e.g. as aggregates in concrete. It is thermally unstable, and upon heating it undergoes volume changes. Upon heating above 800 °C wustite decomposes into magnetite and this transformation is being accompanied by volumetric expansion, which introduces cracks in the the refractory concrete and drastically worsens its mechanical properties. If slag is heated up to a temperature of 1000 °C, slag become thermally stable in become suitable for use at elevated temperature.
	Objavljeno v	Elsevier; Materials characterization; 2011; Vol. 62, no. 7; str. 716-723; Impact Factor: 1.572; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.894; A': 1; WoS: QF; Avtorji / Authors: Ducman Vilma, Mladenovič Ana
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	5780321 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Vpliv anizotropnega napetostnega stanja na deformacijske lastnosti peščenih zemljin
		ANG The effect of anisotropic stress state upon the deformation properties of sandy soil
	Opis	SLO Napetosti, ki delujejo na vzorec zemljine med standardnim triosnim preizkusom, lahko simulirajo razmere, ki vladajo na določeni globini v temeljnih tleh na sredini simetrične obtežbe, npr. v osi objekta. S tovrstnimi preiskavami pa ni mogoče ustvariti splošnega napetostnega stanja, ki je značilno za temeljna tla izven sredinske osi objekta. Za primer takšnih anizotropnih napetostnih pogojev je bil razvit torzijski triosni aparat, v katerem se preiskuje votle vzorce zemljin. V članku so predstavljene raziskave dveh različnih peščenih materialov pri uporabi različnih začetnih učinkovitih napetostih v obročni smeri. Vse preiskave so bile vodene deformacijsko po japonskem standardu za določitev deformacijskih lastnosti zemljin s pomočjo torzijskih triosnih preiskav votlih vzorcev. Preiskave so bile izvedene na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (ZAG) v Ljubljani. Rezultati kažejo na velik vpliv anizotropne konsolidacije na strižno togost zemljin.
		ANG Stresses, that can be applied on soil sample tested in standard triaxial test, can simulate conditions at certain depth of foundation soil at central axis of load, eg. central axis of building. This kind of tests can not reproduce general stress state, typical for foundation soil outside of central axis of building. Triaxial torsional apparatus was developed to enable such tests at anisotropic stress state. Hollow cylindrical specimens are tested in this case. Paper presents tests made in two different sandy materials with different initial effective circumferential stresses. All tests were run in strain controlled mode like prescribed in Japanese standard for determination of deformation properties of soil with hollow cylinder apparatus. Tests were conducted at Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG) in Ljubljana. Results show a great impact of anisotropic consolidation upon the shear stiffness of soil.
	Objavljeno v	Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije; Gradbeni vestnik; 2012; Letn. 61; Str. 61-67; Avtorji / Authors: Likar Barbara, Lenart Stanislav, Majes Bojan
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	1856615 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Zaščita organskih pigmentov pred fotokatalizo
		ANG Protection of organic pigments against photocatalysis by encapsulation
		Model organskega barvila (b bakrovega ftalocianina) je bil zaščiteno z ovojem silicijevega dioksida. Pokazalo se je, da sta debelina in poroznost premaza silicijevega dioksida okoli posamičnega delca pigmenta pomembno

Opis	SLO	odvisni od pH in temperature sinteze. Nadalje je bilo dokazano, da lahko takšen premaz služi kot učinkovita zaščita pred fotokatalizo. Stopnja zaščite je odvisna ne le od debeline zaščitnega ovoja, temveč tudi od njegove poroznosti.
	ANG	A model organic pigment (b copper phthalocyanine) was encapsulated by silica using water glass as a precursor. It is shown that the thickness, porosity and uniformity of silica shells (coatings) around individual pigment particles depend significantly on pH and temperature of synthesis. It is further demonstrated that the obtained silica shells can serve as an efficient protection against the highly reactive products of photocatalysis. The degree of protection depends not only on the thickness of silica shells but also on their porosity.
Objavljeno v	Kluwer Academic Publishers; Journal of sol-gel science and technology; 2012; Vol. 68, no. 1; str. 65-74; Impact Factor: 1.632; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.774; A': 1; WoS: PK; Avtorji / Authors: Švara Fabjan Erika, Sever Škapin Andrijana, Škrlep Luka, Živec Petra, Čeh Miran, Gabersček Miran	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	1691495	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Železniški nasipi na mehkih tleh armirani z geomrežami: izkušnje iz terenskih meritev	
	ANG	Geogrid reinforced railway embankments on soft soil: experiences from field measurements	
Opis	SLO	Iz ekonomskih razlogov pri obnovah obstoječih železniških prog se uspešno uporablja armiranje z geomrežami. Armiranje z geomrežo preko striga preprečuje razvoj horizontalnih deformacij v plasteh pod njo, kar posledično zmanjšuje tudi razvoj trajnih horizontalnih deformacij in vertikalnih napetosti v temeljnih tleh. Članek predstavi rezultate terenskih meritev izvedenih na z geomrežo armiranem nasipu železniške proge na mehkih tleh.	
	ANG	As an economic measure for the rehabilitation and/or upgrading of existing railway lines, geogrids for reinforcement have successfully been installed. The geogrid reinforcement restrains lateral deformations of the sub-base through shear interaction, which reduces permanent horizontal strains and vertical stresses in the long run. The paper presents results from field measurements of a geogrid reinforced railway embankment on soft soil.	
Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci		
Objavljeno v	Slovak University of Technology, Faculty of Civil Engineering; From research to design in European practice; 2010; [7] str.; Avtorji / Authors: Klompaker Jörg, Lenart Stanislav, Copek Gorazd		
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
2.	COBISS ID	1488231	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Terenske in laboratorijske preiskave plazu Slano blato	
	ANG	Site and laboratory investigation of the Slano blato landslide	
Opis	SLO	Predstavljene so laboratorijske preiskave relevantne za raziskovalni projekt. Znanstvena spoznanja, ki se uporabljajo v tekočem raziskovalnem projektu, so omogočila analizo obnašanja zemljine in modeliranje njenega odziva v določenih obtežnih pogojih.	

		ANG	Some laboratory test methods are presented, which are relevant to research project. Knowledge used in a research project has helped to analyze soil behavior and to model its response upon certain loading condition.
	Šifra	F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Objavljeno v		Elsevier; Engineering geology; 2009; Vol. 105, Nos. 3-4; str. 171-185; Impact Factor: 1.212; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.03; WoS: IX, LE; Avtorji / Authors: Fifer Bizjak Karmen, Zupančič-Valant Andreja
	Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	1739623	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uničujoč vpliv rotacij glavnih napetosti na temeljna tla in tamponske plasti pod prometno obtežbo
		ANG	Damaging impact of the principal stress rotation to the subsoil and unbound layers loaded by traffic
	Opis	SLO	Med dolgotrajno prometno obtežbo, ki je manjša od mejne vrednosti, se trajne deformacije temeljnih tal in tamponov postopno povečujejo do neke asimptotične vrednosti (vpliv zgoščanja), ki označuje stabilno stanje. Obtežba nad mejno vrednostjo pa povzroči povečevanje trajnih deformacij in posledično porušitev. V prispevku so prikazani primeri laboratorijskih preiskav s torzijskim triosnim aparatom s kombiniranim vertikalnim in torzijskim obremenjevanjem in cikličnim triosnim aparatom s kombiniranim vertikalnim in bočnim obremenjevanjem, ki omogočajo rotiranje glavnih napetosti.
		ANG	During long term lasting traffic load below threshold load, due to densification of underlying soil and unbound layer, their residual strain incrementally increases up to a certain asymptotic value, which presents a stable state. When load is over that threshold value, residual strain continue to increase up to failure. Laboratory testing procedures on cyclic hollow cylinder apparatus and cyclic triaxial apparatus with vertical and lateral cyclic loading, which can model the rotation of principal stresses, are presented in the paper.
	Šifra	F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
	Objavljeno v		DRC - Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije; Zbornik referatov; 2010; Str. 997-1004; Avtorji / Authors: Lenart Stanislav, Likar Barbara
	Tipologija	1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
4.	COBISS ID	1867111	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Postopek za pripravo temperaturno obstojnega agregata iz črne žindre in temperaturno obstojen agregat dobljen po tem postopku
		ANG	Procedure for the production of thermally resisting aggregate from the steel black slag
	Opis	SLO	Gradbeništvo je idealno področje za uporabo različnih odpadkov kot kvalitetnih alternativnih materialov. Za to sta predvsem dva razloga: možno je porabiti velike količine teh materialov; v primerih nevarnih odpadkov je z različnimi vezivi ali postopki možno toksične komponente dolgoročno imobilizirati ter tako izdelati okoljsko in tehnološko sprejemljive kompozite. Razvili smo postopek za predelavo odpadne jeklarske žindre, ki smo ga tudi patentirali. Glede na to, da je samo v Sloveniji prek 100.000 ton črne jeklarske žindre in da še vedno nastaja kot stranski produkt proizvodnje jekla, pričakujemo, da bodo rezultati naloge iz okoljskega in ekonomskega vidika odlični.
			Construction industry is an optimal area for use of waste products.

		ANG	There are two main reasons for this: it is possible to consume high volumes of these products; toxic substances can be immobilized, and therefore the production of environmentally acceptable composites is possible. We developed technological procedure for the reuse of steel black slag, where the final product is thermally and environmentally stable. This procedure is already patented. Since, in Slovenia is more than 100.000 tons of steel black slag and it is still permanently produced, it can be expected that environmental and economic results of this technology will be excellent.
Šifra	F.33		Patent v Sloveniji
Objavljeno v	Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino; 2011; 9 str.; Avtorji / Authors: Ducman Vilma, Mladenovič Ana, Pugelj Tomislav		
Tipologija	2.24		Patent
5.	COBISS ID	1840743	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Deformacijske lastnosti gruščnatega materiala v napetostnem stanju, ki je posledica delovanja prometne obtežbe	
	ANG	Deformation properties of gravel material subjected to traffic type stress states	
Opis	SLO	Napetostni pogoji z zelo nizkimi efektivnimi napetostmi so bili uporabljeni za simulacijo razmer v cestnem in železniškem telesu. Posebna pozornost se je posvetila robnim motnjam na vrhu in dnu preizkušanca ter pritrditvam merilnikov na membrano. Preučeval se je vpliv velikega števila ciklov obtežbe in preobremenjevanja preizkušanca.	
	ANG	Stress conditions with very low confining pressure were used to simulate specific conditions at road and railway embankments. Particular attention was paid on bedding error at the top and bottom ends of specimen and on fixing the transducers on membrane to be used under low confining pressure. The effects of large number of preloading cycles and specimen overloading are investigated.	
Šifra	B.05		Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
Objavljeno v	2011; Avtorji / Authors: Lenart Stanislav		
Tipologija	3.14		Predavanje na tuji univerzi

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Prijavljen patent:

LENART, S. Gradnja oporne konstrukcije iz armirane zemljine brez uporabe začasnih ali trajnih podpornih ukrepov, št. P-201300052 (brez vpisa v COBISS)

Nove tehnologije:

LENART, S., TATSUOKA, F., KOSEKI, J. Use of reinforced soil as a natural disaster countermeasure, World Engineering Forum, Ljubljana, Sustainable construction for people, IZS, 2012, 231-243 [COBISS.SI-ID 1934439]

LENART, S. Poročilo o priporočilih za dimenzioniranje nosilnih plasti pod gramozno gredo železnice ob uporabi armiranja z geosintetiki. Ljubljana: ZAG, 2011. [COBISS.SI-ID 1946983]

Analize posledic potresa na Japonskem 2011:

LENART, S., KOSEKI, J., MIYASHITA, Y. Soil liquefaction in the Tone river basin during the 2011 earthquake off the Pacific coast of Tohoku, Acta geotech. Slov., 2012, vol. 9, 1, str. 4-15. [COBISS.SI-ID 1935207]

TOMAŽEVIČ, M., GAMS, M. Shaking table study and modelling of seismic behaviour of confined AAC masonry buildings. Bulletin of earthquake engineering, jun. 2012, vol. 10 (3), str. 863-893 [COBISS.SI-ID 1837927]

Novi materiali in postopki:

TOBALDI, D. M., SEVER ŠKAPIN, A., PULLAR, R.C., SEABRA, M. P., LABRINCHA, J. A. Titanium dioxide modified with transition metals and rare earth elements: phase composition, optical properties, and photocatalytic activity. Ceram. int., 2013, vol.39 (3), 2619-2629 [COBISS.SI-ID 1911143]

BENČAN, A., BERNARD, J., TELLIER, J., MALIČ, B., KOSEC, M. The influence of alkaline germanate based liquid phase sintering aid on microstructure and phase composition of $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$ ceramics. Microsc. microanal., 2009, vol.15(2), 786-787. [COBISS.SI-ID 22807335]

EU raziskovalni projekt:

TUŠAR, M., RAVNIKAR TURK, M. WIMAN, L.G., KOKOT, D., LENART, S., KEMPERLE, E.. Guidelines for selection the most convenient upgrading systems based on results of heavy vehicle simulator tests and cost-benefit analyses of field trials, Brussels, EC, 2011 [COBISS.SI-ID 4609050]

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Čeprav se geomreže uporabljajo že več kot 20 let, ostaja še vedno veliko odprtih vprašanj o mehanizmu utrjevanja materiala. Raziskovalni projekt se je zato v veliki meri ukvarjal z medsebojnim vplivom geomreže in nasipnega materiala in z njunim sodelovanjem v s prometno obtežbo obremenjenem kompozitu. Izsledki projekta pomembno pomagajo k razumevanju mehanizma armiranih zemljin, posebno še vključenih v železniške konstrukcije. Raziskan je bil odnos med togostmi pri zelo majhnih deformacijah izmerjenimi s statično metodo in togostmi izvrednotenimi iz hitrosti širjenja valov. Laboratorijske preiskave armiranih zemljin so tudi odgovorile na vprašanje vzpostavitve mehanizma prečne ojačitve, ki ga v kompozit armirane zemljine vnaša geomreža. Za potrebe projekta in testiranja ključnih vplivnih parametrov deformacijskega odzivanja armirane zemljine je bil izpopolnjen direktni strižni aparat velikih dimenzij, ki omogoča realno testiranje materialov, njihovih kompozitov in posameznih segmentov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge.

Za simuliranje visoke frekvenčne obremenitve ob rotiranju glavnih napetosti je bila uporabljena triaksialna ciklična preiskava s katero smo proučevali mehanizem porušitve železniškega nasipa, ob različnih vplivih rotacije glavnih napetosti. Ugotovljeno je bilo, da se trajne deformacije med dolgotrajno prometno obtežbo, ki je manjša od mejne vrednosti, postopno povečujejo do asimptotične vrednosti, ki označuje stabilno stanje. Če je obtežba večja od te mejne vrednosti, povzroči povečevanje trajnih deformacij in posledično porušitev.

V Laboratoriju za konstrukcije (ZAG) je bilo izdelanih 15 modelov konstrukcije železniške proge z različnimi vrstami armiranja nosilnega tamponskega sloja. Empirično ugotovljene relacije med debelino tamponskega sloja, načinom armiranja in vrsto temeljnih tal bodo imele veliko uporabno vrednost za optimalno projektiranje železniških prog.

Za simulacijo obnašanja železniške proge je bila uporabljena numerična metoda končnih elementov. V sklopu razvoja modeliranja je bila razvita metoda za prilagodljivo modeliranje ploskovnih konstrukcij s končnimi elementi, ki temelji na uravnoveženju robnih obtežb. Tak način omogoča zanesljivo določitev tako diskretizacijske kot tudi modelske napake.

Raziskovalni projekt je pokazal na problem slabega gramoznega materiala, ki se uporablja za balast na železniških progah. V iskanju nadomestnega materiala je bil prepoznani kot primeren industrijski silikatni tolčenec (jeklarska žindra), ki nastaja kot odpadki pri proizvodnji jekla. Raziskave so pokazale, da je jeklarska žindra zelo temperaturno obstojna in bi jo bilo mogoče

uporabiti tudi kot agregat, ki bi lahko izboljšal požarno odpornost betona. Analiza mikrostrukture ohlajene jeklarske žindre po izpostavljenosti visokim temperaturam zagovarja teorijo uporabe jeklarske žindre kot požarno odpornega agregata. Ta lastnost je pomembna predvsem pri uporabi materiala v železniških predorih.

ANG

In spite of the fact that geogrids have been used for more than 20 years already, there are still a lot of unknown things related to reinforcement mechanism. Thus research project dealt with geogrid – gravel material interaction and their behaviour in reinforced soil composite, which is subjected to traffic loading. Research conclusions help importantly to understand reinforced soil mechanism when such material is built into the railway track. Relationships between small strain stiffness measured by static method (small strain load cycles) and the one evaluated from propagation of shear and longitudinal waves, were researched within the research project. Laboratory tests of geosynthetic reinforced soil have explained the mechanism of lateral confinement, which is caused by geogrid in reinforced soil composite.

A large-scale direct shear test apparatus was modified for the purpose of research work and testing of crucial impact parameters in the scope of presented research project. A real scale testing of single materials, their composites and parts of railway track is enabled by this improvement.

Dynamic hollow cylinder device has been used to perform high frequency tests with principal stress rotation. Damaging effect of principal stress rotation on the subgrade soil has been defined based on the test results.

The experimental facilities of The Laboratory for Structure (ZAG Ljubljana) have been used to build in laboratory 15 models of railway track structure, with and without geogrid reinforcement.

Empirically defined relations between gravel material thickness, type of reinforcement and type of subsoil will enable optimum construction of railway pavement.

FEM tools have been used to model railway track structure. In the scope of model development an adaptive method of modelling of plates using the method of equilibrated boundary stress resultants was developed. It enables to estimate both discretisation and model error.

Research project pointed out improper characteristics of gravel material which is used on Slovenian railway tracks. Searching for proper substitute, a steel slag as a waste from steel production was recognized as possible choice. Research pointed out high temperature resistance of steel slag, which could be used as an aggregate for fire resistant concrete.

Microstructural analysis of samples exposed to high temperatures impact promotes the theory that steel slags could be used as fire resistant aggregates. This characteristic of material is important in case of use in railway tunnels.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Učinkovitost gospodarstva vsake razvite družbe je odvisna predvsem od delovanja njenega prometnega sistema, saj je promet dejavnik, ki neposredno vpliva na pospeševanje ali omejevanje in zaviranje razvoja družbe kot celote. Železniška infrastruktura je pomemben del tega sistema. Njena posodobitev je prvi pogoj za ustrežnejše vključevanje Slovenije v evropsko prometno mrežo in za ugodnejši pretok potnikov, blaga in storitev med nami in z drugimi evropskimi državami. Zaradi značilne prometne lege Slovenije in naraščanja cestnega tranzitnega prometa je razvoj železniške infrastrukture hkrati pomemben dejavnik ohranitve okolja in prostora ter je lahko ena od primerjalnih prednosti Slovenije v evropskem prometnem okolju. Obstoječe železniške proge, pretežno zgrajene še v prejšnjem stoletju ne ustrezajo več sodobnim prevoznim potrebam. Te potrebe se kažejo v višjih hitrostih, večji pogostosti vlakov in večji zanesljivosti. Nacionalni program (NPRSZI) med drugim zajema tudi dolgoročnejshe projekte kot so hitra proga Trst - Ljubljana - Zagreb s priključki na Koper in Reko, drugi tir Ljubljana – Jesenice.

Zaradi zemljepisnega položaja je Slovenija neposredno povezana s prometnim sistemom Evropske unije (EU). Usmeritve v prometni politiki EU nujno zahtevajo prilagoditev našega prometnega gospodarstva novim razmeram, saj je ta po eni strani pogoj za najugodnejše ovrednotenje našega zemljepisnega položaja, po drugi strani pa pogoj za enakopravno vključitev našega prometnega sistema v evropski prometni sistem.

Strategija razvoja evropske železniške infrastrukture, katere del so tudi glavne proge slovenskih železnic, je zelo natančno opredeljena v sledečih evropskih dokumentih:

- UIC; Mednarodna železniška zveza: »Perspektivni načrt razvoja evropske železniške infrastrukture«, Pariz, 1974, novelacija 1990,
- GEB; Skupnost evropskih železnic: »Evropska mreža prog za visoke hitrosti«, Bruselj, 1991,
- UN – ECE; Ekonomska komisija Združenih narodov: »Evropski sporazum o najpomembnejših mednarodnih železniških progah – AGC«, Ženeva 1985.

Iz navedenih dokumentov je razvidno, da je mednarodnega pomena celoten prometni križ slovenskih železnic Jesenice - Dobova in Koper - Šentilj, vključno s programi Divača - Sežana in Pragersko - Središče.

Večja togost planuma železniških prog, ki je nujna za doseganje hitrosti 160 km/h je torej eden od pogojev, ki ga države podpisnice navedenih dokumentov, torej tudi Slovenija, morajo upoštevati ob večjih rekonstrukcijah in novogradnjah glavnih železniških prog. Visoke tehnične zahteve nemalokrat predstavljajo zaradi zelo heterogenih geoloških pogojev in raznolike topografije visoke finančne investicije.

Uporaba novih materialov in tehnologij, ki sta bili predmet raziskovanja v tem projektu, bosta pripomogli znižanju stroškov investicij. Proizvajalci geosintetičnih materialov bodo lahko rezultate naloge koristno aplicirali v prakso. Pri tem bodo njim in upravljalcem železniške infrastrukture pomagala referenčna testna polja, ki so bila zgrajena v sklopu tega projekta. ZAG je kot akreditiran organ, s priznano usposobljenostjo za preiskovanje in potrjevanje skladnosti gradbenih materialov z evropskimi standardi, zavezan tudi za razvoj novih metod in preiskav ter hiter prenos novih dognanj v prakso. Ta prenos je za Slovenske železnice dodatno podprt z izdelavo priporočil za dimenzioniranje gramozne grede ob uporabi geomrež, ki so nastala v okviru tega projekta. V času trajanja projekta je bil tudi ob pomoči teh priporočil že noveliran pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, medtem ko je noveliran pravilnik o spodnjem ustroju tik pred potrditvijo.

ANG

An efficiency of economy of every developed society strongly depends upon an activity of its traffic system, because it directly influences on promoting or limiting and even braking of development of society as a whole. The railway infrastructure is an important part of this system. Its modernization is prerequisite for more suitable including of Slovenia to European traffic net, for more favourable flux of passengers, goods and service between Slovenia and other European states. An characteristic traffic position of Slovenia and an increasing of a road transit traffic at the same time, is an important factor of preservation of the environment and the place. It can be one of the comparative advantages of Slovenia in European traffic environment. The existent railway lines, mostly built in a former century aren't suiting any more for the contemporary transport needs. These needs are higher speed, higher frequency of trains and bigger reliability. National program (NPRSZI), among other things, includes also new projects like a rapid railway line Trieste - Ljubljana - Zagreb with connections to Koper and Rijeka and second track Ljubljana – Jesenice.

Due to its geographic position, Slovenia is directly connected with a traffic system of European Union. Orientations in traffic EU policy request adaption of our traffic economy urgently, as this is one of the conditions for most favourable estimation of geographical position and in the same time condition for equally participation of Slovenian traffic system in the European traffic system.

Strategy of the development of the European railway infrastructure, of which part are also the main lines of Slovene railway system, is determined in details in following European documents:

- UIC; International railway association: "Perspective plan of development of European railway infrastructure", Paris, 1974, 1990
- GEB; Community of European railways: "European net of lines for high speeds", Brussel, 1991,
- UN – ECE; Economic committee of United Nations: "European agreement about the most important international railway lines – ACG" Geneva, 1985.

It is evident from presented papers that an entire traffic cross of the Slovene railways Jesenice-Dobova and Koper – Šentilj including programs Divača – Sežana and Pragersko - Središče, are of an international importance.

Higher stiffness of railway tracks, which are essential for managing train speed of 160 km/h, is one of the conditions that the states which signed those documents, among them also Slovenia, have to consider for the larger reconstructions and new constructions of the main railway lines.

High technical demands in combination with very heterogeneous geological conditions and stirring topography quite often causes significant increase of costs. The use of new materials and technologies, which were researched within this research project, will contribute to reducing the costs of investments. Geosynthetic manufacturer will implement research project results into practice. In fulfilling this task, they as well as railway managers will be assisted by reference field test sections build in the scope of this research project. ZAG as an accreditation body with recognized qualification for testing and confirming of geosynthetic material to the European standards, is required also to implement new testing procedures and to develop new technologies as well as enable their quick transfer into practice. Recommendations and guidelines for design of ballast railway track reinforced with geogrids, which were written within this research project, additionally help Slovenian Railways to achieve the transfer of knowledge into practice. Novel regulations for upper layers of railway track design were completed with a help of this recommendations for the time of project duration, while novel regulations for lower layers of railway track design are still in preparation.

11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen

	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16 Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17 Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso		
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
F.18 Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)		
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Uporabljen bo v naslednjih 3 letih"/>
F.19 Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20 Ustanovitev novega podjetja ("spin off")		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21 Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22 Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23 Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

Večina zastavljenih ciljev je bila skoraj v celoti realizirana. Še največje težave so pri uvajanju tehnologije v praksu in dejanski dvig tehnoloske ravni, ki sta vezana na konzervativno politiko Slovenskih železnic pri uvajanju novosti. Iz tega razloga bodo celotni rezultati vidni šele na dalji rok.

Nismo še uspeli realizirati cilja zaščite mednarodnega patenta. Razlog za to je predvsem v povezanih visokih stroških zaščite. Poleg tega še razčiščujemo vloge posameznih raziskovalcev in sofinancerja.

12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
 Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	

G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

Rezultati projekta imajo največji vpliv na dvig tehnološke ravni gradnje železniških prog. Posledično so pomembni za razvoj prometne infrastrukture. Njihovo apliciranje v prakso in uporaba novih rešitev bosta prinesla s sabo tudi vpliv na gospodarski razvoj - predvsem zaradi nižanja stroškov izgradnje in vzdrževanje železniških prog, kar se bo odražalo na konkurenčni prednosti in (upajmo, da tudi) večjem dobičku upravljalca železniške infrastrukture.

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer	
1.	Naziv	NAUE GmbH & Co KG

Naslov	Gewerbestrasse 2, 32339 Espelkamp-Fiestel, Germany	
Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	54.600	EUR
Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25	%
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
1.	Results from field tests bring us data about material performance in real structures and ideas about new applications.	F.01
2.	New informations on reinforced soil deformation properties were achieved. Laboratory test results explain the effect of geogrid on small strain stiffness and geophysical measurements.	F.02
3.	Recommendations of geogrid used in ballast railway track was prepared for Railway authority.	F.17
4.	A new type of application of reinforced soil in railway track was applied for patent.	F.33
5.	A project leader held an invited lecture at Tokyo University in which he promote research work done within this project as well as geogrid applications in railway industry.	B.05
Komentar	<p>F.01 LENART, Stanislav, TATSUOKA, Fumio, KOSEKI, Junichi. Use of reinforced soil as a natural disaster countermeasure. V: World Engineering Forum, 17-21 September 2012, Ljubljana, Slovenia. Sustainable construction for people. Ljubljana: Inženirska zbornica Slovenije, 2012, 231-243</p> <p>KLOMPMAKER, Jörg, LENART, Stanislav, COPEK, Gorazd. Geogrid reinforced railway embankments on soft soil : experiences from field measurements. V: FRANKOVSKÁ, Jana (ur.). XIVth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, Bratislava, Slovak Republic, 2nd - 4th June 2010. From research to design in European practice : proceedings of the XIVth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, Bratislava, Slovak Republic, 2nd - 4th June 2010. Bratislava: Slovak University of Technology, Faculty of Civil Engineering, 2010</p> <p>F.02 VAN THANG, Ho, LENART, Stanislav, KOSEKI, Junichi, SATO, Takeshi. Mechanical properties of geogrid-reinforced gravel in triaxial tests. V: Proceedings of the Fourteenth international summer symposium : 5 - 6 september 2012, Nagoya, Japan. Tokyo: Japan Society of Civil Engineers, 2012, 85-86</p> <p>LENART, Stanislav, LIKAR, Barbara. Uničujoč vpliv rotacij glavnih napetosti na temeljna tla in tamponske plasti pod prometno obtežbo. 10. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, 20.-22. oktober, DRC - Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, 2010, 997-1004</p> <p>NETINGER, Ivanka, BJEGOVIĆ, Dubravka, MLADENOVIC, Ana. Fire resistance of steel slag aggregates concrete. High temp. mater. process., 2010, vol. 29, no. 1/2, 77-87</p> <p>F.17 LENART, Stanislav. Poročilo o priporočilih za dimenzioniranje nosilnih plasti pod gramozno gredo železnice ob uporabi armiranja z geosintetiki. Ljubljana: Zavod za gradbeništvo Slovenije, 2011</p> <p>F.33 in F.32 LENART, Stanislav. Gradnja oporne konstrukcije iz armirane zemljine brez</p>	

		<p>uporabe začasnih ali trajnih podpornih ukrepov, št. P-201300052 (brez vpisa v COBISS)</p> <p>DUCMAN, Vilma, MLADENVIČ, Ana, PUGELJ, Tomislav. Postopek za pripravo temperaturno obstojnega agregata iz črne žindre in temperaturno obstojen agregat dobljen po tem postopku : patent : SI 23340 (A), 2011-10-28. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, 2011. 9 str.</p> <p>B.05</p> <p>LENART, Stanislav. Deformation properties of gravel material subjected to traffic type stress states : predavanje v okviru predmeta Frontier in Geotechnical Engineering, prof. Junichi Koseki, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, June 16, 2011. Tokyo, 2011.</p>
Ocena		<p>Application of geogrids for the reinforcement of ballast and sub-ballast layers becomes topical subject in nowadays railway practice. The use of geogrids can significantly reduce maintenance cost for railway tracks. To achieve optimal behavior of such reinforced layers it is essential to understand reinforcement mechanism and key parameters that influence it. The research work done in the scope of this project has highlighted the importance of friction characteristics of geogrid-aggregate contact. It has been realized that a certain deformation of geogrid is needed to achieve better performance of reinforced soil. Field tests showed as well that laying of geogrid in a depth near 1 m below the surface of railway track is too deep to achieve optimal performance of reinforced formation protection layer. Thus a geogrid reinforcement of ballast layer was suggested. Research work done within the project highlighted the problem of ballast degradation (local non-eruptive material is used in case of Slovenian Railways) when geogrid reinforcement increases stiffness. Thus new idea of using steel slag aggregate as ballast material was born. The characterization of steel slag material has been done in the project. Real scale laboratory tests showed 25% up to 40% increase (depends upon type of reinforcement and layer thickness) of bearing capacity of reinforced layer compared to bearing capacity of unreinforced layer. Different vertical spacings between geogrid layers has been tested with cyclic triaxial tests and resulted in optimum spacing equal to approximately 10 cm. Further, large-scale cyclic and monotonic triaxial tests on specimens of reinforced gravel material highlighted stiffness properties of reinforced soil composite. Lower values of shear wave velocities were measured and thus lower stiffnesses were evaluated in case of reinforced soil when geophysical techniques were used. It was found that layer of geogrid reinforcement presents a kind of local weakness in reinforced soil composite at very small strain range. The interlocking effect strengthened when strain increases and thus geogrid reinforced soil at large strain range. Those findings put a question on shear stiffness characteristics obtained by geophysical techniques. Besides new knowledge from field tests and laboratory tests, research work has resulted also in two patent proposals (one is realized already) and written recommendations for use of geogrid in ballast railway track. The latter was prepared for Slovenian railway authority with an intention to promote proper use of geogrid reinforcement in railway structures. Effective promotion of our company and applications of our products was achieved also by scientific cooperation with other research groups from EU and Japan, who helped in interpretation of results. Additional promotion was achieved by invited lecture at Tokyo University.</p> <p>Thus project results fully met our expectations and will cause positive effect on our future work.</p>

14. Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

Izvedene so bile preiskave armiranih zemljin v naravni velikosti in v realnih napetostnih pogojih, ki so značilni za nosilni sloj železniške proge. Uporabljeno je bilo lokalno merjenje deformacij. Opaženi sta bili dve do sedaj manj poznani lastnosti armiranih zemljin. Z meritvami prehoda strižnega valovanja je bilo dokazano, da geomreže zmanjšujejo hitrost prehoda valovanj in posledično povzročajo nižje vrednosti izvrednotenih začetnih togosti kompozita. Začetne togosti neposredno v in ob sloju armiranja so bile spoznane kot nižje od tistih v nearmiranem delu. Šele z naraščanjem deformacij se razvije t.i. »interlocking effect«, ki povzroči višje trdnosti in togosti armiranih zemljin. Posledično je bil ugotovljen tudi pozitiven vpliv predhodne obremenitve/preobremenitve armirane zemljine na njene začetne togosti.

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Z razvojem opreme, ki omogoča preiskave mehanskih lastnosti armiranih zemljin (in drugih grobozrnatih zemeljskih materialov) smo ustvarili pogoje za cenovno dostopno laboratorijsko preizkušanje sklopa železniških nosilnih konstrukcij in interakcij med sodelujočimi materiali v naravni velikosti. Vpeljava omenjenega preizkušanja je pomembna predvsem s stališča racionalizacije razvoja novih konstrukcijskih zasnov prometnic in njihovega laboratorijskega preizkušanja. Omogoča pa tudi manj kompleksne teste, kot so preiskave trenjskih lastnosti med različnimi vrstami materialov in deformacijsko obnašanje materialov v napetostnih pogojih prometne obtežbe z možnostjo kontroliranja pogojev in lokalnega merjenja deformacij. Poleg direktnih rezultatov raziskovalnega projekta (delno povzeti v obliki priporočil za armiranje z geosintetiki za Slovenske železnice) razvit postopek preiskav omogoča tudi sprotno preverjanje tehničnih pogojev za gradnjo in rekonstrukcijo železniških prog v prihodnje.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Zavod za gradbeništvo Slovenije

Stanislav Lenart

ŽIG

Kraj in datum:

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/193

¹ Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s

tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁵ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁹ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹² Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priložitev/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00
1F-9B-6A-02-E7-6C-DB-08-77-D3-E1-75-BE-38-1D-C2-24-28-DD-62

TEHNIKA

Področje: 2.01 - Gradbeništvo

Dosežek 1: Preiskave mehanskih lastnosti armiranih zemljin v naravni velikosti

Vir: S.Lenart, F.Tatsuoka, J.Koseki (2012). Use of reinforced soil as a natural disaster countermeasure, World Engineering Forum, *Sustainable construction for people*, 231-243

K. Fifer Bizjak, A. Zupančič-Valant (2009). Site and laboratory investigation of the Slano blato landslide, *Engineering Geology.*, 105 (3-4), 171-185

S.Lenart, B.Cerut, L.Petkovič, M.Brodnik (2012). Tests of friction characteristics of geosynthetics and large grain size unbound granular material, *Razprave, SloGed*, 191-198



Na Zavodu za gradbeništvo Slovenije je bil za potrebe raziskovalnega projekta izdelan velik strižni aparat za preizkušanje vzorcev dimenzij 40 cm x 40 cm x 40 cm. Aparat smo opremili z dvema hidravličnima batoma za neodvisno ciklično obremenjevanje v vertikalni in horizontalni smeri. Omogočeno je ciklično horizontalno in vertikalno obremenjevanje, kar daje možnost simuliranja napetostnih pogojev v železniškem/cestnem telesu pod vplivom prometne obtežbe. Vpeljane so bile lokalne meritve deformacij. Dimenzije vzorcev omogočajo izvedbo preiskav v naravnem merilu in interakcije med posameznimi materiali (npr. zaklinjanje delcev v primeru stika geomreža-agregat).

Razvita oprema in postopki preiskav omogočajo načrtovalcem (projektantom) in upravljalcem prometne infrastrukture cenovno dostopno preskušanje različnih tehnoloških rešitev in njihovo optimizacijo pred dejansko praktično uporabo.