

IZDELAVA KART NEVARNOSTI, RANLJIVOSTI IN OGROŽENOSTI ZARADI SNEŽNIH PLAZOV IN PADAJOČEGA KAMENJA NA ODSEKU BOHINJSKE PROGE

Production of hazard, vulnerability and risk maps in the event of avalanches and rockfalls for a section of the Bohinj railway line

Gašper Rak*, Gašper Zupančič**, Jože Papež***, Daniel Kozelj****
UDK 551.578.48:912.43(497.4Bohinj)

Povzetek Abstract

Zagotovitev neprekinjenih prometnih povezav med gospodarskimi in družbenimi centri ter njihovim zaledjem je temelj gospodarskega razvoja in širše družbene blaginje. Te povezave lahko prekinjajo tako človeške dejavnosti kot naravni procesi, predvsem ekstremni dogodki, zato je gradnja prometnic na območjih, na katerih je naravna nevarnost najmanjša, najboljši pristop, da se izognemo škodljivim vplivom. V alpskem prostoru, ki ga tvorijo gore, hribovja in vmesne, ponekod izredno ozke doline, pa je pogosto mogoče postaviti prometno infrastrukturo le na prostorih, ki so bolj ali manj izpostavljeni naravnim nevarnostim. Zato prav alpski svet, kjer so zaradi topografskih in klimatskih značilnosti razmere za blaginjo že tako težje kot na ravninskih predelih, še dodatno hromijo prekinitve prometnih povezav. Povezati sedanje znanje s področja upravljanja naravnih nevarnosti in njegovo uvedbo na področje zagotavljanja varnosti prometne infrastrukture je bil cilj projekta EU z naslovom PARAmount. Projekt spada v program Cilj 3 - evropsko teritorialno sodelovanje 2007 - 2013 / operativni program 'Območje Alp', ki ga delno financira Evropski sklad za regionalni razvoj. V projekt je vključenih 13 partnerjev iz petih alpskih držav. Slovenska partnerja (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo - UL FGG in Podjetje za urejanje hudournikov - PUH) sta v okviru projekta med drugim izdelala tudi karte nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja na testnem območju, na odseku železniške proge Podbrdo - Most na Soči (Baška grapa).

Provision of continuous transport links between economic and social centres and their hinterland is the basis of economic development and broader social welfare. These links may be interrupted by human activities and natural processes, particularly extreme events. For this reason, in order to avoid adverse effects, the best approach is to build traffic routes in areas where the risk of natural disasters is the lowest. In the Alpine region, formed by mountains, hills and intermediate, sometimes very narrow, valleys, transport infrastructure can often only be built in more or less exposed areas. The Alpine world, in which, due to topographic and climatic characteristics, conditions for welfare and prosperity are already more difficult than in lowland areas, is additionally paralysed by the suspension of transport links. Integration of the existing knowledge on the management of natural hazards and its introduction into the field of transport infrastructure security was the goal of the EU PARAmount project. The project is part of the "Objective 3 European Territorial Cooperation 2007-2013 / Operational Programme 'Alpine Space'" and is partially funded by the European Regional Development Fund. The project includes 13 partners from five Alpine countries. As part of the project, the Slovenian partners (the Faculty of Civil and Geodetic Engineering of the University of Ljubljana and the Torrent and Erosion Control Service) produced hazard, vulnerability and risk maps for the event of avalanches and rockfalls in the test area: section of the Bohinj railway line Podbrdo - Most na Soči (Baška grapa).

Uvod

V sodobnem globaliziranem svetu sta nenehni dostopnost in povezljivost velikega pomena. Ne le, da so gospodarske dejavnosti močno odvisne od prometnih zmožnosti uvoza in izvoza, temveč je tudi potreba sodobnega človeka po mobilnosti velika, kar velja tudi za razvoj turističnih dejavnosti, ki imajo v alpskem prostoru pomembno gospodarsko vlogo. Vsaka prekinitev prometnih povezav pomeni neposredno in posredno škodo gospodarstvu in širši družbi. Ponavljanje prekinitev in s tem zamud dobave blaga, zmanjšanje turistične ponudbe ipd. pa imajo še dodaten negativen vpliv na ugled gospodarskih družb, prevoznih služb in celo regij. Izguba ugleda ima lahko dolgotrajne posledice, ki se čutijo še dolgo potem, ko so prevozne težave odpravljene, saj ga je težko znova pridobiti. Poleg vplivov na gospodarstvo pa ima prekinjena dostopnost tudi druge družbene vplive, saj lahko vodi v socialno izključenost posameznih skupnosti (Preston in Rajé, 2007).

V alpskem svetu se ljudje že dolgo zavedajo naravnih nevarnosti in njihovih vplivov na varnost ljudi in premoženja. Zato je tudi znanje o obvladovanju naravnih nevarnosti precejšnje, saj je človek želel zaščititi svoja bivališča in lastnino pred škodljivimi naravnimi procesi, kot so hudourniške poplave, drobirski tokovi, zemeljski plazovi, padajoče kamenje, snežni plazovi itn. Vendar pa znanje, ki ga imamo, ni uporabljeno enakomerno. Medtem ko so naselja alpskega sveta v glavnem dobro zaščitena z uporabo tako tehničnih kot upravnih in organizacijskih sredstev, ostajajo številne prometnice, ki naselja povezujejo, premalo zaščitene. Dolgo smo prometnice šteli le z varovalnimi objekti, kot so zaščitne ograje, mreže, snežni mostovi ter galerije. Ti objekti so sicer zelo učinkoviti, saj lahko povsem izničijo naravno nevarnost, po drugi strani pa zahtevajo precejšnja finančna sredstva za gradnjo in vzdrževanje. Ta sredstva so velika predvsem za zaščito pred snežnimi plazovi, saj traja nevarnost zanje le manjši del leta. Zato se danes za zaščito prometne infrastrukture predlaga uporaba tako imenovanih netehničnih sistemov zaščite, ki so bili razviti na drugih področjih upravljanja naravnih nevarnosti, kot je na primer uporaba kart nevarnosti in tveganja ter opozorilnih sistemov in sistemov za pomoč pri odločanju (Blattenberger in Fowles, 1994). Cilj projekta PARAMount je bil prenos znanja, ki je bilo zbrano in izpopolnjeno predvsem v procesih zaščite urbanih ter rekreacijsko-turističnih območij, na področje prometne infrastrukture.

PARAMount je kratica za »im**P**roved **A**ccessibility: **R**eliability and security of **A**lpine transport infrastructure

* Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KMTe, Jamova 2, Ljubljana, grak@fgg.uni-lj.si

** Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KMTe, Jamova 2, Ljubljana, gzupancic@fgg.uni-lj.si

*** mag., HIDROTEHNIK Vodnogospodarsko podjetje, d. d., Slovenčeva ulica 97, Ljubljana, joze.papez@hidrotehnik.si

**** Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KMTe, Jamova 2, Ljubljana, dkozelj@fgg.uni-lj.si

related to **mountainous hazards in a changing climate**« oziroma »izboljšana dostopnost: zanesljivost in varnost transportne infrastrukture v Alpah pred nevarnostmi v gorah, v spreminjajočem se podnebj« . Izvaja se v okviru operativnega programa mednarodnega sodelovanja *Območje Alp* in ga sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj. V projektu sodeluje 13 partnerjev in 25 uradnih opazovalcev iz petih držav. Med partnerji sta tudi Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ter Podjetje za urejanje hudournikov, med opazovalci pa Slovenske železnice, d. d. V petih delovnih sklopih so bili zastavljeni cilji:

- pregled trenutnega stanja pri zagotavljanju varnosti na odsekih prometnic, izpostavljenih naravnim nesrečam, kot so snežni plazovi, drobirski tokovi ter padajoče kamenje;
- ovrednotenje nevarnosti, škodnega potenciala in ogroženosti (tveganja) na testnih območjih projekta;
- uporaba orodij za upravljanje naravnih nevarnosti in njihova prilagoditev za zaščito transportne infrastrukture (sistemi napovedovanja);
- izdelava novih oziroma prilagoditev sedanjih orodij v podporo odločanju za zagotavljanje neprekinjenosti in varnosti prometa;
- predstavitev rezultatov projekta v obliki smernic oziroma primerov dobre prakse za razširitev izkušenj, pridobljenih na projektu, na območje vsega alpskega prostora.

V okviru ovrednotenja nevarnosti, škodnega potenciala in ogroženosti sta slovenska partnerja na slovenskem testnem območju izdelala karte nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti Bohinjske proge v Baški grapi, in sicer glede na nevarnosti snežnih plazov in padajočega kamenja.

Problematika izdelave kart

Ker v Sloveniji ni zakonodaje oziroma smernic za določitev nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti prometnic zaradi nevarnosti snežnih plazov in padajočega kamenja, je bilo treba pred določitvijo kart osnovati metodo za njihovo določitev. Da bi bila metoda čim bolj uporabna, so bili najprej proučeni različni postopki, uporabljeni v tujini. V literaturi je mogoče najti precej primerov različnih pristopov k reševanju podobnih vprašanj o naravnih nevarnostih (Kristensen in Harbitz, 2003; Jaiswal in sod., 2010; Wilhelm, 1998; Abbot in sod., 1998) in že izdelane smernice (Bündl in sod., 2009). Sledi kratek opis nekaterih metod za določanje ogroženosti in tveganja:

- natančna določitev: določita se verjetnost pojava in pripadajoča intenziteta nevarnega dogodka. Ta se navadno meri z izbranim parametrom – na primer sila trka ali strižna napetost ob podlago. Obe komponenti skupaj opišeta obseg nevarnosti. Nato se določita škodni potencial (npr. kot monetarno vrednost elementov ogroženosti in oceno neposredne škode) ter ranljivost (neodpornost) elementov glede na intenziteto pojava. Ranljivost je navadno

definirana kot odvisnost povzročene škode oziroma deleža škodnega potenciala od intenzitete pojava). Z upoštevanjem nevarnosti, škodnega potenciala ter ranljivosti se določi ogroženost (če je upoštevana še izpostavljenost elementov ogroženosti, pa tveganje) za vsak mogoč naravni dogodek. Z integriranjem ogroženosti (ali tveganja) posameznih dogodkov po celotnem intervalu mogočih dogodkov se določi končna ogroženost (ali tveganje). Tak pristop je zelo zapleten in se uporablja navadno le v najzahtevnejših študijah tveganja, predvsem za oceno gospodarske upravičenosti velikih zaščitnih sistemov. Prav zaradi zapletenosti je bila ta metoda izključena iz nadaljnje obravnave;

- b) metoda scenarijev: podobno kot prejšnja metoda tudi ta vključuje verjetnostno oceno nevarnosti, oceno intenzitete, škodnega potenciala, ranljivosti ter končno določitev stopnje ogroženosti. Razlika je v tem, da se vnaprej predvidi verjeten potek dogodkov, ki se analizira in za vsakega določi tveganje. Metoda je nekoliko preprostejša, tako da je število scenarijev navadno manjše (navadno do 50), zato je uporabna tudi v študijah manjšega obsega. Vendar pa sta za takšno obravnavo še vedno potrebna velika količina vhodnih podatkov ter velik računski napor. Zaradi pomanjkanja podatkov in želje po preprostejši oceni ogroženosti tudi ta metoda ni bila izbrana;
- c) metoda klasifikacije nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti: po tej metodi se na obravnavanem območju določijo razredi nevarnosti glede na oceno verjetnosti in intenzitete pojava ter razredi ranljivosti glede na morebitno povzročeno škodo. Iz obojih se po postavljenem pogoju določijo razredi ogroženosti. Zaradi boljše preglednosti in možnosti preproste izdelave kart ter preprostosti metode je bila v našem primeru izbrana ta metoda. Poleg omenjenega je bilo med pomembnimi razlogi za izbiro tudi dejstvo, da je tak pristop pri nas že v uporabi pri določanju poplavne ogroženosti, za katerega imamo tudi pravila v slovenskem pravnem redu (Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti, Uradni list RS, št. 60/2007, v nadaljevanju Pravilnik 2007). Pristop, opisan z omenjenim pravilnikom, je bil tudi podlaga za izpeljavo metode v našem primeru.



Slika 1: Bohinjska proga v Baški grapi, obdana s strmimi pobočji (foto: G. Rak)
 Figure 1: Bohinj railway line in Baška grapa, surrounded by steep slopes (photo: G. Rak).

ščema v Trstu in Kopru. Pomembnost proge, zgrajene leta 1906, je z mednarodnimi spremembami (nove države in spremembe mej) po prvi in drugi svetovni vojni precej upadla. Danes je Bohinjska proga klasificirana kot regionalna in je nekoliko zapostavljena. Vendar pa je v zadnjih letih le viden napredek, katerega znanilec je tudi turistična ponudba muzejskega vlaka. Prihodnost pa ponuja možnosti nadaljnega razvoja znotraj Evropske unije, v kateri meddržavne meje niso več tolikšna ovira. Vendar pa je treba z večanjem pomembnosti proge poudariti tudi skrb za njeno varnost, ki jo ogrožajo naravni procesi.

Testno območje Baške grape

Baška grapa je ozka dolina med Spodnjimi Bohinjskimi gorami in Cerkljanskim hribovjem. Njena povezanost prek dolin Idrijce in Soče z Jadransko obalo je razlog za njeno strateško vrednost, ki se kaže z nekoč nadvse pomembno železniško povezavo Jesenice–Gorica–Trst ali tako imenovano Bohinjsko progo (imenovano tudi *Wocheinerbahn*, *Ferrovía Transalpina*), in specifično mikroklimo. Bohinjska proga je del 717 kilometrov dolge povezave Praga–Trst, ki povezuje srednjeevropske predele Avstrije, Češke in Slovenije z najbližjima pristani-

Glavni viri nevarnosti padajočega kamenja in snežnih plazov, ki ogrožajo železniški promet v Baški grapi, so:

- a) topografija terena: ozka dolina s strmimi pobočji, po kateri je trasa železnice večji del speljana v delnem vkopu v levi breg doline;
- b) geološka zgradba: breča in konglomerat v spodnjem in dolomit ter apnenec v zgornjem delu pobočij doline;
- c) podnebne razmere: v ponavljajočih se ostrih zimah z znatno količino zapadlega snega je proženje suhih sprijetih snežnih plazov povsem mogoče. Še bolj verjetno pa je proženje mokrih snežnih plazov, saj majhne nadmorske višine pobočij in topli vremenski

vplivi v spomladanskih mesecih ustvarijo ugodne razmere zanje (Sirk, 2011);

d) poleg tega na manjšo stabilnost pobočij vplivata tudi precejšnja populacija gamsov in dejstvo, da sta bili

proga in brežina nad njo v prvi in drugi svetovni vojni cilj bombardiranja, saj je bila železnica pomembna strateška vojaška pot.

Omeniti velja še, da poleg omenjenih naravnih nevarnosti ogrožajo Bohinjsko progo v Baški grapi tudi hudourniški izbruhi in zemeljski plazovi, ki v tem projektu niso bili obravnavani. S slik 3 in 4 so razvidne deformacije rastlinja kot posledice delovanja procesov naravnih nevarnosti.

Zavedanje o nevarnostih, ki pretijo proggi, je staro verjetno toliko kot proga. Nekdanja vlaganja v večjo varnost je mogoče videti že s proge, saj je ob 20-kilometrskem



Slika 2: Terenski ogled in izmera zaščitnih objektov in večjih skal z opremo GPS (foto: G. Novak)
Figure 2: Site survey and measurement of protective structures and large rocks with GPS equipment (photo: G. Novak).



Slika 3: Neme pričje – število, velikost in svežina poškodb zaradi udarcev padajočega kamenja na drevesnih debljih so lahko v pomoč pri presoji nevarnosti. (foto: J. Papež)
Figure 3: Silent witnesses – number, size and freshness of injuries caused by rockfalls on tree trunks may be helpful in assessing the risk (photo: J. Papež).



Slika 4: Značilna deformirana rast dreves varovalnega gozda zaradi pritiskov plazovite snežne odeje (foto: J. Papež)
Figure 4: Typical malformed growth of protective forest trees due to the pressures of a sliding snowpack (photo: J. Papež).



Slika 5: Padajoče kamenje predstavlja resno grožnjo varnosti železniškega prometa. (foto: arhiv SŽ)

Figure 5: Rockfalls present a serious threat to the safety of railway transport (photo: SŽ (Slovenian Railways) archives).

odseku proge več kot 70 zaščitnih objektov. S terenskim popisom objektov in izmero z GPS-opremo (Leica Geosystem, 2009) je bilo zabeleženo, da gre večinoma za toge lesene palisade – ograje iz železniških pragov, ki jih ponekod dopolnjujejo lahke zaščitne ograje iz žičnate mreže (tako imenovane palvis mreže) (slika 6).



Slika 6: Značilna vrsta in stanje sedanjih zaščitnih objektov (foto: G. Novak)

Figure 6: Characteristic type and condition of existing protective structures (photo: G. Novak).

Starost lesenih objektov ni znana, lahko pa trdimo, da več desetletij, saj so nekatere palisade tako dotrajane (slika 2), da ne služijo več svojemu namenu. Trenutno stanje marsikaterega zaščitnega objekta ni zadovoljivo in objekt ne opravlja več svoje funkcije, zaradi česar je vse več dogodkov, ko padajoče kamenje doseže progo (slika 5).

Metodologija ocenjevanja in izdelava kart





Želja po široki uporabnosti in čim večji preprostosti ter še zadovoljivi natančnosti je bila določiti merilo pri oblikovanju metod za določitev kart nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti železniške infrastrukture zaradi padajočega kamenja in snežnih plazov. Za temelj je bil izbran pristop, ki je pri nas s Pravilnikom 2007 uradno veljaven za določanje poplavne ogroženosti. Izdelava kart je bila predvidena le za območje železniške infrastrukture. Približno 20 kilometrov dolg odsek Podbrdo–Most na Soči je bil razrezan na desetmetrske dele, za katere so se določili razredi nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti. Razredi so na kartah prikazani z oznakami, podobnimi, kot so v uporabi za poplave in jih ureja Pravilnik 2007 (preglednica 1, preglednica 2, preglednica 3). Za projekt PARAMount je bilo opravljeno aerofoto snemanje območja Baške grape, in sicer od postaje Podbrdo v km 35 + 000 do postaje Hudajužna v km 42 + 500 in od km 53 + 200 do km 55 + 300. Narejen je bil digitalni model terena (DMR) z resolucijo 2 m, ki je služil kot podlaga za 3D-modeliranje nevarnosti padajočega kamenja in proženja snežnih plazov.

Najprej so bili z različnimi inženirskimi orodji določeni štirje razredi nevarnosti (velika, srednja, majhna in preostala nevarnost), prikazani na karti nevarnosti zaradi snežnih plazov in ločeno za padajoče kamenje (torej 2 karti), in sicer na podlagi naslednjih virov podatkov:





- pri določanju nevarnosti snežnih plazov so bili obravnavani podatki Katastra snežnih plazov, podatki iz operativnega načrta za zavarovanje prometa pozimi SVP Postojna (vir SŽ) in rezultati analize z matematičnimi modelom AVAL 1D (Sirk, 2011). Poleg teh podatkov so bili upoštevani še rezultati analiz, opravljenih na digitalnem modelu višin, zajetem za ta projekt, ki jih je opravil francoski projektni partner Irstea (glej www.paramount-project.eu);
- pri določanju nevarnosti padajočega kamenja so bili upoštevani podatki iz dosedanjih geološko-geomorfoloških poročil, v katerih so bili določeni kritični odseki, podatki iz evidence SŽ o nevarnih skalnatih pobočjih, iz različne dokumentacije in uradne evidence o preteklih nevarnih dogodkih v obdobju 1995–2010 (kamenje in skale na progi ali ob progi, podrta drevesa itn.), iz katastra objektov, inženirskega pregleda pobočij ter ugotovitev analize nemih prič (sledí na območju proženja, gibanja, odlaganja, npr. zaustavljeno kamenje za debli, sledí poškodb zaradi udarcev na tleh in na deblih idr. (slika 3, slika 4).

Določeni so bili štiri razredi ranljivosti (velika, srednja, majhna in zelo majhna ranljivost), ki tvorijo karto ranljivosti. Zaradi podobnosti (ne)odpornosti objektov na obremenitve zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja zadošča ena karta. Lastnosti so določene na podlagi podatkov:





- a) iz popisa železniške infrastrukture (vir Slovenske železnice): glede na te podatke, je bila proga razvrščena v štiri razrede ranljivosti železniške infrastrukture:
 - a) viadukti, mostovi in predori so uvrščeni v razred zelo majhne ranljivosti,
 - b) večina proge v razred majhne ranljivosti,
 - c) lokacije postavljalnic in čuvajnic so bile uvrščene v razred srednje ranljivosti,
 - d) lokacije postaj in postajališč pa v razred velike ranljivosti;
- b) o okolju: območja Natura 2000, ekološko pomembna območja, območja iz registra naravnih vrednot. Zaščitena je predvsem struga vodotoka Bača, in

	razred velike nevarnosti
	razred srednje nevarnosti
	razred majhne nevarnosti
	razred preostale nevarnosti

Preglednica 1: Oznake na kartah nevarnosti zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja
 Table 1: Hazard map symbols for avalanches and rockfalls.

	razred velike ranljivosti
	razred srednje ranljivosti
	razred majhne ranljivosti
	razred zelo majhne ranljivosti

Preglednica 2: Oznake na karti ranljivosti zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja
 Table 2: Vulnerability map symbols for avalanches and rockfalls.

	razred velike ogroženosti
	razred srednje ogroženosti
	razred majhne ogroženosti
	razred preostale ogroženosti

Preglednica 3: Oznake na kartah ogroženosti zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja
 Table 3: Risk map symbols for avalanches and rockfalls.

sicer zgornji del kot ekološko pomembno območje, spodnji del pa kot območje Nature 2000. Del kanjona Bače je označen tudi v registru naravnih vrednot državnega pomena. In ker obstaja ob morebitni železniški nesreči možnost onesnaženja okolja, je bila železnica razdeljena na štiri razrede ranljivosti glede na posledice za okolje:

- a) razred velike ranljivosti je bil določen na območjih prečkanja ali neposredne bližine območja, zaščitnega po Naturi 2000 ali označenega v registru naravnih vrednot,
- b) razred srednje ranljivosti je bil določen na območju prečkanja ali neposredne bližine ekološko pomembnega območja,
- c) na vseh preostalih delih proge je bil določen razred zelo majhne ranljivosti;
- c) o preglednosti trase proge, določene iz ortofoto posnetkov in digitalnega modela reliefa: za odseke proge je bila ocenjena zavorna razdalja za vlake, potujoče v obe smeri, na podlagi katere je bila določena vidljivost na progi. Proga je bila razvrščena v tri razrede: dobra vidljivost (vidljivost večja od zaustavitvene razdalje za vlake, potujoče v obe smeri), srednja vidljivost (vidljivost večja od zaustavitvene razdalje za vlake, potujoče v eno smer), slaba vidljivost (vidljivost manjša od zaustavitvene razdalje za vlake, potujoče v obe smeri);
- d) o zavojih na progi: glede na potovalno hitrost in radije zavojev je bil izračunan radialni pospešek, delujoč na vlak v zavoj. Ker je zaradi delovanja centrifugalne sile v zavoju večja nevarnost iztirjenja vlaka ob morebitnem trku ob oviro na progi, je bila železniška proga razdeljena na dva razreda – razred znatnega vpliva radialnih sil in razred neznatnega vpliva radialnih sil.

S temi pogoji je bila v treh korakih določena sinteza ranljivosti odsekov železniške proge, in sicer:

- a) maksimum (oz. unija) razredov ranljivosti infrastrukture in okolja: izmed obeh ranljivosti je za vsakih 10 metrov proge upoštevan višji razred;
- b) vpliv preglednosti je upoštevan tako, da je: slaba preglednost – zvišanje ranljivosti za en razred (razen, če je že dosežen najvišji), dobra preglednost – znižanje ranljivosti za en razred (razen, če je že dosežen najnižji);
- c) iz tako določene ranljivosti je bila glede na upoštevanje krivin določena končna ocena ranljivosti: znaten vpliv radialnih sil – zvišanje ranljivosti za en razred (če že ni dosežen najvišji razred).

V oceno ranljivosti ni bil neposredno vključen vpliv posredne škode na gospodarske in druge dejavnosti, ki bi nastale kot posledica zaprtja prometa. Lahko pa upoštevamo, da je vpliv vključen posredno, saj se celotna proga (razen tako rekoč neranljivih odsekov, kot so predori, mostovi in viadukti) razume kot občutljiv objekt in je zato v razredu vsaj majhne ranljivosti. Poleg tega pa merilo posredne škode samo po sebi ne omogoča delitve delov proge v različne razrede ranljivosti, saj je v tem pogledu ocena celotne proge enaka. Določitev različne ranljivosti delov proge in s tem tudi odsekov različne ogroženosti pa

je bil cilj, saj se lahko le tako ločijo bolj ogroženi odseki od manj ogroženih.

Ob poznavanju razredov nevarnosti in razredov ranljivosti je bilo treba le še določiti razrede ogroženosti zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja. Ta določitev je bila izdelana po podobni matriki kot v Pravilniku 2007. Oblikovano je bilo nekoliko drugačno merilo določitve razredov ogroženosti, tj. »obarvanje« celic matrike, kot je v veljavi za določanje poplavne ogroženosti (slika 7).

Rezultati in predlog metodologije

Rezultat dela so karte nevarnosti in predvsem karte ogroženosti zaradi padajočega kamenja in snežnih plazov za železniški odsek Podbrdo–Most na Soči. Karte ogroženosti so dobro izhodišče za nadgradnjo sedanjih in načrtovanje dodatnih zaščitnih objektov, saj po odsekih nakazujejo spreminjajočo se ogroženost proge, na podlagi katere se lahko določijo prioritete zaščitnih objektov.

Metodologija je uporabna v slovenskih razmerah, saj je prilagojena podatkom, ki so na voljo, in uporablja inženirska orodja, ki jih imamo v Sloveniji. Zato je dobra strokovna podlaga za predpis na tem področju.

Sklepne misli

V okviru projekta PARAMount so bile za slovensko testno območje na Bohinjski progi narejene karte nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti železniške infrastrukture zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja. Zaradi odsotnosti primerov dobre prakse ali smernic v našem prostoru je bila na podlagi zgledov iz tujine in domače prakse s področja poplavne nevarnosti za projekt razvita tudi metodologija za določitev teh kart. Metodologija je bila oblikovana tako, da bi bila čim preprostejša, zato je njen potencial velik, saj bi jo lahko uporabili na širšem območju, morda za celotno mrežo slovenske železniške infrastrukture.

Rezultati imajo, tako kot vse presoje, določeno stopnjo negotovosti, ki pa jo je težko oceniti. Če so bili razredi nevarnosti preverjeni z numeričnim modelom simuliranja proženja padajočega kamenja in snežnih plazov, kar je nakazovalo dobro ujemanje s terenskimi podatki, pa to ne velja za končni rezultat, za razrede ogroženosti. Zato bi veljalo na obravnavanem odseku preveriti še drug, natančnejši pristop k določanju ogroženosti in primerjati tako dobljene rezultate s sedanjimi. To bi pomenilo dobrodošlo verifikacijo končnih rezultatov in deloma tudi metode. Vendar pa takšna verifikacija presega obseg dela znotraj projekta.

V nalogo spada tudi oblikovanje priporočil za uspešno obvladovanje ogroženosti zaradi padajočega kamenja

KRITERIJ DOLOČITVE RAZREDOV OGRÖZENOSTI		NEVARNOST:			
		velika	srednja	majhna	preostala
RANLIVOST:	velika	velika ogroženost	velika ogroženost	srednja ogroženost	preostala ogroženost
	srednja	velika ogroženost	srednja ogroženost	srednja ogroženost	preostala ogroženost
	majhna	srednja ogroženost	srednja ogroženost	majhna ogroženost	preostala ogroženost
	zelo majhna	srednja ogroženost	majhna ogroženost	majhna ogroženost	preostala ogroženost

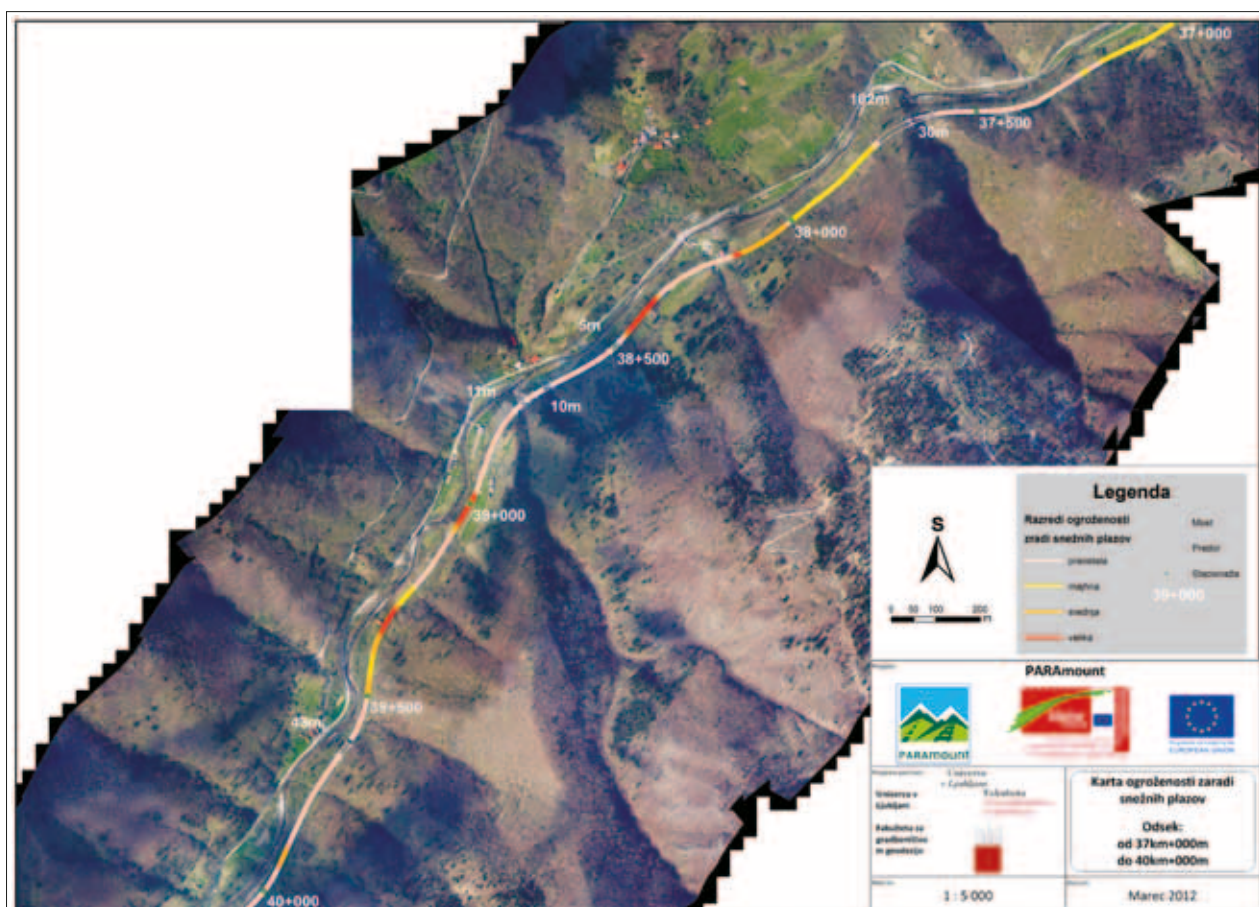
Slika 7: Merila za določitev razredov ogroženosti, uporabljena za določitev kart ogroženosti zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja

Figure 7: Criteria for determining hazard classes for avalanche and rockfall risk maps.

in snežnih plazov. Kot prednostni koncept reševanja bi bilo koristno poskusiti aktivno primarno varovanje pobočja. S tem so mišljeni čiščenje brežine, podzidava nestabilnih predelov skalnih sten, uporaba posebnih prilagojenih globoko sidranih varovalnih mrež različnih dimenzij, sidranje večjih skal z jeklenimi pletenicami ali posebnimi globoko sidranimi mrežami in postavitve preprostih objektov za povečevanje hrapavosti površja. Sekundarno varovanje pa uporabljamo za primere, ko so se skalne gmote že sprožile in jih skušamo zaustaviti pred ogroženim objektom oziroma prometnico. V tem primeru pridejo v poštev zlasti sodobni varovalni sistemi – podajne lovilne varovalne ograje, ki lahko zadržijo padajoče kamenje oziroma skale. Takšne ograje so sposobne varovanja do deklarirane kinetične energije padajočega kamenja, ustrezajo tudi uradnim notnim evropskim standardom s tega področja (ETAG 27) in imajo evropsko tehnično soglasje ter oznako CE. Postavitve takšnih sistemov pa mora biti podprta z ustrezno projektno dokumentacijo.

Viri in literatura

1. Abbot, B., Bruce, I., Savigny, W., Keegan, T., Oboni, F., 1998. Application of a new methodology for the management of rockfall risk along a railway. Proceedings of the 8th International IAEG congress, Rotterdam, Nizozemska, 1201–1208.
2. Blattenberger, G., in Fowles, R., 1994. The Road Closure Decision in Little Cottonwood Canyon. Proceedings of the 1994 International Snow Science Workshop, Snowbird, Utah, ZDA.
3. Bündl, M., Romang, H. E., Bishof, N., in Rheinberger, C. M., 2009. The risk concept and its application in natural hazard risk management in Switzerland.



Slika 8: Karta ogroženosti Bohinjske proge zaradi snežnih plazov na odseku od 37 km + 000 m do 40 km + 000 m
 Figure 8: Avalanche risk map of the Bohinj railway line for the section from 37km+000m to 40km+000m.

- Natural Hazards and Earth System Sciences, zvezek 9, 801–813.
4. Jaiswal, P., van Westen, C. J., in Jetten, V., 2010. Quantitative assessment of direct and indirect landslide risk along transportation lines in southern India. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, zvezek 10, 1253–1267.
 5. Kristensen, K., in Harbitz, C. B., 2003. Road Traffic and Avalanches – Methods for Risk Evaluation and Risk Management. *Surveys in Geophysics*, 24 (5–6), 603–616.
 6. Leica Geosystem, 2009. Leica Zeno CS 15, merilna oprema GPS.
 7. Papež, J., Steinman, F., Rak, G., 2010. 10. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, 509–515.
 8. Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Uradni list RS, št. 60/2007).
 9. Preston, J., Rajé, F., 2007. Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. *Journal of Transport Geography* 15, 151–160.
 10. Proceedings of 25 Years of Snow Avalanche Research at NGI, Voss, Norveška, 288–293.
 11. Projekt PARAmount – izboljšanje preventivnega upravljanja tveganj pred naravnimi nevarnostmi na področju železniškega in cestnega prometa na območju Alp <http://www.paramount-project.eu/>.
 12. Sirk, K., 2011. Ocena nevarnosti snežnih plazov na železniškem odseku Podbrdo–Hudajužna. Diplomsko naloga, mentor: F. Steinman, somentor: G. Rak, UL FGG, Ljubljana.
 13. Wilhelm, C., 1998. Quantitative risk analysis for evaluation of avalanche protection projects.