

Ocena nevarnosti padajočega kamenja za odsek regionalne ceste v dolini Trente

Hazard assessment due to falling stones on a reach of the regional road in the Trenta valley, Slovenia

Urška PETJE¹, Matjaž MIKOŠ² & Mihael RIBIČIČ³

¹Urška Petje, Hidrosvet d.o.o., Lava 11, 3000 Celje, urska.petje@lj.hidrosvet.si

²Matjaž Mikoš, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova c. 2, 1000 Ljubljana, matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

³Mihael Ribičič, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 10, 1000 Ljubljana, mihael.ribicic@ntfgeo.uni-lj.si

Ključne besede: ocena nevarnosti, rizični menedžment, padajoče kamenje, podori, ceste, dolina Trente, Slovenija

Key words: hazard assessment, risk management, falling stones, rock falls, roads, Trenta valley, Slovenia

Kratka vsebina

V okviru izdelave nove slovenske metodologije za določanje ogroženih območij in način razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti zaradi zemeljskih plazov, se je pristopilo k izdelavi pilotnega projekta na območju regionalne ceste med Bovecem in Vrščem na območju doline Trente. Za ta nekaj več kot 20 km dolg odsek ceste v tipičnem alpskem prostoru, se je opravila ocena nevarnosti padajočega kamenja, čeprav je cesta sicer ogrožena tudi zaradi snežnih plazov. Izvedena ocena nevarnosti padajočega kamenja je zasnovana na ekspertnem znanju upoštevajoč terensko kartiranje in obravnavani odsek ceste deli v tri razrede nevarnosti. Tako je 9811 m ceste uvrščene v razred majhne nevarnosti, 7223 m v razred srednje nevarnosti in 1301 m v razred velike nevarnosti padajočega kamenja. Medtem ko je metodologija določanja nevarnosti pred zemljinskimi plazovi v Sloveniji že pogosto uporabljana, je nasprotno metodologija določanja nevarnosti pred hribinskimi zdrsi, podori in padanjem kamenja nedorečena. Članek ima namen prispevati k izboljšanju metodologije in njeni večji uporabi na območjih, kjer grozi nevarnost padanja skal in kamnov.

Abstract

In the framework of the new Slovenian methodology for determining hazard areas and the classification of land parcels into hazard classes due to land slides and rock falls, a pilot project was carried out on the regional road between Bovec and Vršč pass in the Trenta valley. For this around 20 km long road in a typical alpine environment, a hazard assessment of falling rocks was carried out, even though the road also passes through snow avalanches hazard areas. The performed hazard assessment of falling rocks is based on an expert knowledge taking into account the field mapping, and classifies the road into three hazard classes: 9811 m is classified into the low hazard class, 7223 m is classified into the medium hazard class, and 1301 m is classified into high hazard class of falling rocks.

Uvod

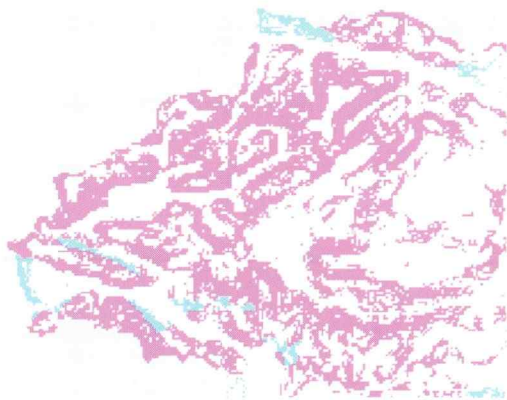
V Sloveniji javne ceste predstavljajo celotno javno omrežje. Deli se jih v državne ceste, ki so v lasti Republike Slovenije in v občinske ceste, ki so v lasti občin. Delitev temelji na pomenu javnih cest za povezovanje in odvijanje prometa v določenem prostoru. Kategorizacija javnih cest je bila narejena na podlagi uredbe o merilih za kategorizacijo javnih cest (Ur.l. RS, št. 49/97). Obstajajo naslednje kategorije: avtoceste, hitre ceste, glavne ceste I. in II. reda, regionalne ceste I., II. in III. reda, ki so državne ceste ter lokalne ceste in javne poti, ki spadajo k občinskim cestam.

Zakon o javnih cestah (Ur.l. RS, št. 29/97) določa pravila in strokovne podlage za graditev in vzdrževanje javnih cest, ureja upravljanje, graditev, vzdrževanje in varstvo državnih cest in prometa na njih. Javne ceste morajo biti grajene in vzdrževane tako, da jih lahko varno uporabljajo vsi uporabniki cest, ki so jim namenjene. Kadar zaradi različnih razlogov ne ustrezajo prvotnemu namenu ali vrstam prometa, morajo biti opremljena s prometno signalizacijo, ki udeležence v prometu pravočasno opozarja na spremembe razmere za varno odvijanje prometa (5. člen). Ob cestah je varovalni pas, v katerem je raba prostora omejena. Pri avtocestah je varovalni pas širok 40 m, pri regionalnih cestah 15 m (47. člen). Direkcija za ceste lahko pristojnemu upravnemu organu za gozdarstvo predlaga, da se gozd vzdolž državne ceste ali v njeni bližini, ki je pomemben zaradi njenega varovanja pred drsenjem zemljišča, bočnega vetra, snežnimi plazovi in podobnega, razglasi za varovalni gozd v skladu s predpisi o gozdovih (57. člen). Pri varovalnih gozdovih ekološka funkcija prevladuje nad gospodarsko (Ur. l. RS, št. 44, 2002).

V primeru nevarnosti padajočega kamnena, kar je predmet tega prispevka, mora torej biti nameščena ustrezna signalizacija (prometni znaki), izvedeni zaščitni ukrepi (mreže, pregrade, lovilni jarki, galerije,...) in opozorilni sistemi (npr. alarm, semafor). Kakšni zaščitni ukrepi so potrebni, se določi po različnih klasifikacijah, kot so npr. SMR, RHRS metoda in njene prirejene metode (Đurović et al., 2005). Prometna signalizacija opozarja voznike na predvidenjo vožnjo in zmanjšanje hitrosti. Hitrost mora biti

taka, da ima voznik še dovolj časa, da se izogne oviri na cesti in s tem prepreči nalet. Z opozorilnimi sistemi pa se lahko opazuje npr. spreminjanje razpok in meri pomike v skalnatem pobočju nad cestiščem. Kakšna je zahtevana varnost ceste, je odvisno od njene kategorije. Na avtocestah so višje varnostne zahteve kot na lokalnih ali gozdnih cestah, kjer voziš na lastno odgovornost. Kadar varnosti ne moremo zagotoviti, je mogoče smiselno cesto tudi zapreti, npr. v zimskem času, ko ni mogoče preprečiti snežnih plazov. Pri padajočem kamenju, ki se pojavlja večkrat letno (po večjih deževjih ali potresu) takšna rešitev seveda ne pride v poštev. Alpske doline v Sloveniji so ozke in večinoma se ne da urediti obvozov. Kadar obstaja nevarnost padajočega kamnena večjih dimenzij ali celo nevarnost podora in obenem ne zadoščajo običajni stabilizacijski in varstveni ukrepi, so lahko edina rešitev tuneli in galerije.

Največja nevarnost pred padanjem kamnov v Sloveniji (sl. 1) nastopa v Julijskih Alpah, Karavankah in Kamniških Alpah (Ribičič & Šinigoj, 1995). Drugje v Sloveniji nevarnost pred padanjem kamnov ogroža ceste, ki se prebijajo skozi soteske vodotokov s strmimi pobočji zgrajenimi iz trdnih kamnin, največkrat iz apnencev. Nevarnost se poveča tudi na območjih, kjer ce-



Sl. 1. Stabilitetna karta severozahodnega dela Slovenije s štiristopenjsko oceno možnosti nastanka podorov (legenda: velika (rdeča), srednja (temno modra), majhna (svetlo modra), ni možnosti (bela)).

Fig. 1. Stability map of the north-western part of Slovenia with a four classes of rock fall susceptibility (legend: high (red), medium (dark blue), low (light blue), none (white)).

ste potekajo pod strmimi naravnimi robovi apnencev na klastične kamnine. Osnovni dejavniki, ki povečujejo nevarnost padanja kamnov so vrsta kamnine (največja nevarnost je v trdnih kamninah – apnencih, dolomitih, tonalitetih, peščenjakih, gnajših in podobno), nagib pobočja (čim strmejši, večja nevarnost; pod nagibom 1:1 je nevarnost nizka), tektonska pretrtost kamnine (večja pretrtost večja nevarnost), poraščenost pobočij (rastlinstvo v veliki meri zmanjša nevarnost izpadanja kamnov in ublaži hitrost padanja).

Za prikaz, kako lahko za poljubni odsek ceste ocenimo nevarnost padajočega kamenja, smo si izbrali odsek regionalne ceste od Bovca do Kranjske gore in sicer odsek, ki poteka skozi ozko dolino Trente.

Območje obdelave

Množični turizem, velike prometne obremenitve in naravne katastrofe ogrožajo alpski prostor (Brilly et al., 1999). Z Alpsko konvencijo (2005) so države prevzele skupno odgovornost za varovanje in trajnostno gospodarjenje v Alpah.

Kot območje obdelave smo izbrali dolino Trente. Vzrokov za izbiro tega območja je bilo več. Posočje je znano po številnih potresih in z njimi povezanih podorih. V dolini Trente je znanih več skalnih podorov, največja sta podor s pobočja Osojnika nad kmetijo Plajer (Orožen Adamič, 1990; Pavšek, 1996) in podor Berebica (Pavšek, 1994a). Na tem testnem območju smo želeli ugotoviti uporabnost zaključkov tujih raziskav in razpoložljivih metod za napoved nevarnosti padajočega kamenja na cestah v alpskem prostoru ter na tej osnovi nujnost izvajanja preventivnih in zaščitnih ukrepov za zmanjšanje te nevarnosti. Izvedena pilotna raziskava je bila sestavni del priprave za Slovenijo primerne metodologije za določanje ogroženih območij zaradi zemeljskih plazov, med katere uvrščamo tudi nevarnost padajočega kamenja (Mikoš et al., 2004).

»Zgornje Posočje je z vidika ogroženosti zaradi naravnih nesreč eno najbolj ogroženih območij v Sloveniji. Starejši podorni vršaji so danes večinoma poraščeni z gozdom, a jih zaradi značilne oblike in kamninske zgradbe še vedno prepoznamo. Ponekod prekinjajo potek rečnih teras vzdolž vodotokov. Zaradi tega je bila marsikje ote-

žena gradnja prometnic, ki potekajo po višjih rečnih terasah alpskih dolin« (Pavšek, 1996, str. 67).

Cesta med Bovcem in Kranjsko goro poteka do naselja Na Logu v dolini Trente skozi ozko alpsko dolino. Terenska raziskava je bila opravljena na odseku ceste 206/1029 od km 22,5 (križišče ceste 203/1003 Predel-Bovec, pri vojaškem pokopališču) do km 3,5 (dolina Zadnjica), skupaj z zaledjem te ceste. Podor Berebica in podor Osojnik, ki sta tudi bila terensko obravnavana in nista posebej predstavljena v tem prispevku, se nahajata med km 8,0 in km 7,5.

Dolina reke Soče je tipična alpska dolina. Soča in njeni pritoki so urezali globoke struge v dachsteinski apnenec. Doline večinoma sledijo prelomnim conam. Doline so ozke, hiter višinski prehod iz dolin v strme bregove je lahko vzrok za nastanek različnih tipov zemeljskih plazov, ki pa imajo alpski značaj, kar pomeni, da so vezani na pojave porušitev v hribinah (hribinski planarni in klinasti zdrsi, hribinski podori, padanje skal in kamnov). Zgornje Posočje leži v geotektonski enoti Južne Alpe.

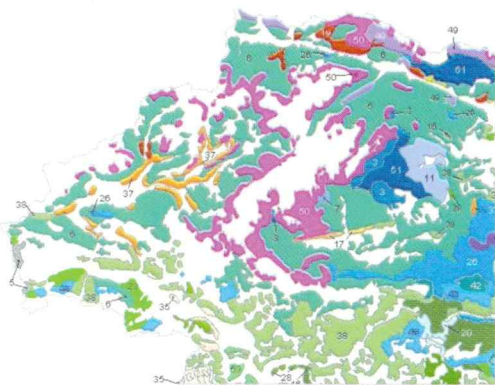
V Zgornjem Posočju je dokumentiranih tudi več starejših podorov, njihov pregled je podal Zorn (2001). Največji podor naj bi se sprožil med Srpenico in Trnovem ob Soči (podor Kuntri) in sicer naj bi se sprožil v pleistocenu (starost okoli 21.000 let) (Bavec, 2001). Za podorom je nastalo jezero, ki naj bi segalo do Bovca. Drugi večji podor je podor pri Magozdu. Podor se je sprožil izpod Krasjega vrha na Polovniku. Večji odlomi so zabeleženi tudi pri izviru Boke, na območju vasi Soča, zahodno od Lepene in pri Črči. Podor nad Črčo naj bi tudi zajezil Sočo in jezero naj bi segalo tudi v Lepeno. Za podore je značilno, da so se zgodili na južnih pobočjih, kjer so pobočja strma tudi v srednjih in nižjih legah zaradi velike erozijske moči Soče in njenih pritokov, ki so hitro in globoko vrezali struge.

Značilnosti območja obdelave

Vegetacija

V subalpskem in alpskem pasu Zgornjega Posočja prevladujejo alpske rastline, nekatere so endemične v Julijskih Alpah. Po ledeni dobi so se naselile tudi južnoevropske

rastline (črni gaber, mali jesen). Med gozdnimi združbami prevladuje bukove in smrekovje (sl. 2). Uspeva tudi ruševje, macesnovje, črno borovje. Združbe toploljubnih listavcev (črni gaber, mali jesen, puhasti hrast) uspevajo v pečevju in na strmih pobočjih do višine okoli 1100 m. V zgornjem Posočju se je v zadnjih 100 letih delež gozdov povečal za okoli 30 %, predvsem zaradi zaraščanja pašnikov. Novi gozdovi so večinoma slabe zasnove; 27 % gozdov v alpskem svetu ima samo varovalni pomen, gospodarskih gozdov je manj kot 50 % (Enciklopedija Slovenije, 1995, 167).



Sl. 2. Vegetacijska karta gozdnih združb severozahodnega dela Slovenije (ZRC SAZU, 2004).

Fig. 2. Vegetation map of forest communities in the north-western part of the Republic of Slovenia (ZRC SAZU, 2004).

Legenda k sl. 2

Explanation of Fig. 2

Legenda: **6** Anemono trifoliae-Fagetum gozd bukve in trlistne veternice; **19** Fraxino orni-Pinetum nigrae gozd črnega bora in malega jesena; **26** Homogyno sylvestris-Fagetum gozd bukve in gozdnega planinščka; **37** Ostrya carpinifoliae-Fraxinetum orni gozd malega jesena in črnega gabra; **50** Rhododhamno-Pinetum mugo grmišče rušja in navadnega slečnika. V legendi so označene samo tiste združbe, ki se nahajajo v Zgornjem Posočju.

Explanation: **6** Anemono trifoliae-Fagetum; **19** Fraxino orni-Pinetum nigrae; **26** Homogyno sylvestris-Fagetum; **37** Ostrya carpinifoliae-Fraxinetum; **50** Rhododhamno-Pinetum mugo. In the legend only communities from the Upper Soča valley are shown.

Geologija

Geološke karte je začela izdelovati že Avstro-Ogrska, kasneje se je območje obdelave kartiralo za potrebe rudnika v Rablju in za elektrarno Trnovo. V sedemdesetih in osemdesetih 20. stoletja je SFRJ za potrebe vojske izdelala karto OGK SFRJ v merilu 1 : 100.000. Kartiralo se je v merilu 1 : 25.000 in nato naredilo sintezo za merilo 1:100.000 (Jurkovšek, 1987b). Iz rokopisnih kart merila 1 : 25.000 se je za občino Bovec izdelala karta geološko pogojene ogroženosti GPO (Budkovič, 2002).

V formiranju strukturne zgradbe ozemlja so pomembno vlogo odigrali dinarski prelomi. Bovško občino sekajo naslednji prelomi: koritniški, ravenski, mojstrovski, trentarski, vratni, idrijski in številni manjši. Od teh je najizrazitejši idrijski, isti tip prelomov je prisoten, toda v manjši meri, tudi na območju Julijskih Alp. Zaradi tektonike se je kompaktna apnenčeva kamnina razkosala na bloke, ki so jih gorotvorne sile lahko postavile v labilen položaj.

Opisane strukturne deformacije so potekale skozi neogen, regionalni prelomi so po Buserju (1987) in Jurkovšku (1987) nastali v pliocenu. Vsekakor je bil relief bovške kotline pred začetkom identičen z njeno strukturno zgradbo, tj. s sinklinalo ali strukturnim bazenom, kar je omogočilo odložitev debele skladovnice glacialnih sedimentov. Današnji položaj le-teh, kjer so starejši sedimenti na robovih in mlajši v osrednjem delu kotline, je lahko posledica tektonskega stopničastega pogrezanja ali zniževanja erozijske baze v času njihovega nastanka.

Bovška kotlina ima edinstveno geološko zgradbo. Kamnine, ki so v podlagi v dnu kotline, pripadajo mehkejšim krednim flišem, medtem ko celotno gorato obrobje gradijo jurski in triasni apnenci. V bazi fliša je več deset metrov prehodnih plasti glinovca, peščenjakove plasti so redke. Navzgor je peščenjaka več, plasti so debelejšje in bolj grobozrnate. V cestnem useku pri mostu čez Koritnico je razgaljen fliš, v katerem se menjavajo plasti peščenjaka, meljastega laporja in konglomerata, t. i. divji fliš. Debelina flišne plasti v bovški kotlini je okoli 500 m. "Divjega fliša", tj. konglomerata, ki ga sledimo med vasjo Kal - Koritnica in izlivom Koritnice v Sočo, je okoli 300 m in leži v zgornjem delu flišnega zaporedja.

Karbonatne kamnine so sestavljene pretežno iz plastovitega dachsteinskega apnenca zgornjetriasne starosti. Na območju Rombona in Krna je teren zgrajen delno iz glavnega dolomita ravno tako triasne starosti. Dolomit leži v superpozicijskem smislu pod apnencem, zaradi prelomov pa je njihov prvotni položaj naknadno porušen. Med karbonatne kamnine spadajo tudi jurski (liasni) apnenci, ki so v litološkem smislu podobni dachsteinskemu apnencem. Jurski apnenci gradijo severni rob Polovnika in južno pobočje Kanina in Rombona. Pri Kalu - Koritnici gradijo manjše dele terena plastovite karbonatne breče jurske starosti. Tudi te so uvrščene v enotno skladovnico karbonatnih kamnin.

Klastične kamnine obsegajo v največji meri zgornjekredno flišno skladovnico. Ta je sestavljena iz kalkarenita in glinavca ali laporja. Pri Kalu - Koritnici je flišna serija sestavljena iz plastovitih konglomeratov, sestavljenih iz prodnikov z lapornato-peščenim vezivom. V klastično skladovnico uvrščamo tudi rdeče laporje in lapornate apnenice tipa "scaglia". Ti zavzemajo ozek pas na obrobjih Bovške kotline in vzdolž doline Soče od Žage do Kobarida. Tipičen fliš, torej kalkarenit, glinavec in lapor zavzema osrednji del Bovške kotline, vendar ga večinoma prekrivajo kvartarni sedimenti.

Kvartarni sedimenti so sestavljeni iz glacialnih, fluvialnih in koluvalnih sedimentov. V glacialne sedimente uvrščamo morenski material. Ta je v starejših delih sprijet v brečo in izdanja ponekod na severnem robu Bovške kotline. Mlajši deli so večinoma nesprijeti in delno pomešani s koluvalnim materialom. Ti sedimenti so prisotni v dolinah Soče in Koritnice, in sicer na njihovih pobočjih. Največjo površino pokriva morenski material na območju Drežnice, posamezne krpe morenskega materiala pa so tudi v visokogorskem svetu Kanina, Rombona in Krna. V fluvialne sedimente smo uvrstili rečno-ledeniške sedimente doline Soče in Koritnice ter rečne sedimente osrednjega dela Bovške kotline. Ti so odloženi v obliki rečnih teras, kjer je material deloma sprijet. Koluvalni sedimenti predstavljajo pobočni grušč, ki prekriva višja pobočja rečnih dolin kakor tudi nekatera strma pobočja v visokogorskem svetu. Material je sestavljen iz grušča različne granulacije in je praviloma nesprijet.

Naštete kamnine so narinjene in razlomljene s tektonskimi strukturami – narivi in prelomi. Narivni rob Julijskih Alp na slovenski bazen označuje krnski nariv, ki ga sledimo od doline Učje, preko bovške kotline do krnskega pogorja. V narivnem kontaktu so v glavnem karbonatne kamnine na klastičnih. Narivni rob je najbolj izrazit v kaninskem in krnskem pogorju, medtem ko je v bovški kotlini v največji meri prekrit s kvartarnimi sedimenti. Tektonska zgradba je sestavljena iz regionalnih prelomov v smeri SZ–JV in SV–JZ. V skupini dinarskih prelomov je najizrazitejši idrijski, ki ga sledimo po dolini Soče od Žage do Kobarida. Naslednja skupina dinarskih prelomov se razteza od krnskega pogorja do bovške kotline. Prelomne, zdrobljene in milotizirane cone so dobro vidne v karbonatnem kamninskem kompleksu krnskega kakor tudi kaninskega in rombonskega pogorja, medtem ko so v bovški kotlini prelomi prekriti s kvartarnimi sedimenti. V drugi skupini so prelomi v smeri SV–JZ. Od teh sta najbolj izrazita preloma vzdolž reke Soče (Trenta – Bovec) in prelom ob severnem pobočju Svinjaka. Prelomi naj ne bi vplivali na najmlajše rečne sedimente, ki gradijo njen osrednji del. Rečni sedimenti so horizontalni z blagim strmecem proti jugozahodu in imajo po tekočih geofizikalnih podatkih dokaj enotno debelino. Izrazito povečanje debeline kvartarnih sedimentov v Bovški kotlini je na delu od Čezsoče proti jugozahodu.

Formacije, ki se pojavljajo na Bovškem, je opisal Budkovič (2002). Na obravnavanem območju se najpogosteje pojavljajo naslednje formacije (Osnovna geološka karta):

- skladnati dachsteinski apnenec s plastmi dolomita (norič, retič) T_3^{2+3} ;
- skladnati mikritni in oolitni apnenec (lias) J_1 ;
- masivni in skladnati dolomit in apnenec (karnij) T_3^1 ;
- ploščasti mikritni apnenec z rožencem, kalkarenit in lapor (titon – berriasij) J, K ;
- sprijeti fluvio-glacialni sedimenti (konglomerat, prod, pesek);
- peščenjak, lapor, glinovec, konglomerat – flišne plasti (senon) K_2^3 ;
- aluvij.

Formacije so nestabilne, če plasti padajo vzporedno s pobočjem in je preperina zaglijena oziroma formacija vsebuje plasti la-

porja in glinovca. Do skalnih podorov lahko pride v formacijah, kjer so plasti in razpoke v primerni legi.

Skalni podori se zaradi geološke zgradbe pojavljajo:

- v plastovitih karbonatnih kamninah, kjer plasti padajo v isti smeri kot pobočje (Bavški Grintavec, Javoršček, Črni vrh);
- v strmih skalnih stenah izpadajo ob prelomih ali razpokah omejeni bloki kamnine;
- na območjih naravnih robov, kjer je trdna kamnina narinjena na mehkejšo (južno obrobje Rombona);
- vzdolž aktivnih prelomov (južno pobočje Polovnika).

Seizmične lastnosti

Obravnavano območje spada v gorenjsko-ljubljansko seizmološko področje, ki ga na jugozahodni strani omejuje globok seizmično aktiven idrijski prelom, na severovzhodni strani pa savski prelom. Pri podrobnejši delitvi spada območje v gorenjski seizmogeni blok. Največja potresna magnituda naj bi bila 6,2, največja možna intenziteta IX. stopnje po EMS-lestvici. Območje spada k najbolj aktivnim predelom v Sloveniji.

Učinki potresa so odvisni od lokalne sestave tal, saj se lahko v slabih tleh povečajo. Intenziteta se lahko poveča za eno do dve stopnji. Zgornje Posočje gradijo predvsem karbonatne kamnine (apnenci in dolomiti), ki ponekod prehajajo v laporje. Karbonatne kamnine predstavljajo seizmično ugodna tla, laporji pa nekoliko slabša. V seizmološkem smislu predstavljajo najslabšo podlago rečni nanosi, pobočni grušči in morenski pobočni zasipi. Nanosi reke Soče in pritokov gradijo terase, ki jih sestavljajo prod, pesek in redkeje konglomerat. Nevarni pa so tudi na pobočjih odloženi materiali. Za seizmično srednja tla se lahko vzamejo na ravnini odložene soške prode in pobočne ledeniške grušče. Seizmični prirastki ali pojemki v tleh so lahko okoli ene stopnje po EMS. Na apnencih, ki gradijo celotno obrobje Bovške kotline in Julijske Alpe, so razmere potresno ugodnejše (Vidrih, 2004).

V potresni preteklosti Zgornjega Posočja ni bilo veliko potresov, ki bi tu imeli žarišče, večinoma je bilo žarišče v Italiji. Zanimiv pregled potresov od leta 1279 do velikočnega potresa leta 1998 je opisal Vidrih (2004).

Metode dela

Pri izdelavi ocene nevarnosti padajočega kamenja smo uporabili splošno tristopenjsko lestvico za oceno nevarnosti pred zemeljskimi plazovi za območja poselitve, kakor jih predlaga metodologija (Mikoš et al., 2004) in so prikazani drugje (Đurovič et al., 2005). Ocena tveganja upošteva izpostavljenost ljudi in imetja ob znani intenziteti nevarnosti (tabela 1). Pri veliki intenziteti nevarnosti so ljudje in živali močno ogroženi zunaj in tudi znotraj objektov (območje prepovedi). Nastanejo lahko poškodbe nosilne konstrukcije. Pri srednji intenziteti so ljudje in živali zunaj objektov močno ogroženi, znotraj objektov pa malo (območje zapovedi). Objekti so lahko poškodovani, vendar se sanacije lahko izvede s sprejemljivimi vlaganji. Pri majhni intenziteti so ljudje in živali tudi zunaj objektov komaj ogroženi, razen pri padajočem kamenju, škoda na objektih ni velika (območje opozoril). Za primer nevarnosti padajočega kamenja velja, da so ljudje ogroženi tudi pri majhni intenziteti in ne samo pri večjih intenzitetah (tabela 1).

Če pogledamo obravnavani odsek ceste, vidimo, da kjer obstaja možnost proženja kamenja in skal, vedno obstaja tudi ogroženost ljudi, ki niso v objektih, ki jih lahko ščitijo pred majhno in srednjo stopnjo intenzivnih dogodkov. Čeprav so kamni, ki se prožijo v cestnih usekih, manjših dimenzij, je verjetnost proženja velika, posledice kamenja, ki zadane vozilo, so lahko hude.

V Švici je v kartah nevarnost prikazana z rdečo, modro in rumeno barvo ter rumenobeloz za preostalo nevarnost. Tako intenziteta kot nevarnost sta razdeljeni na tri stopnje. Definirana pa je tudi preostala nevarnost. V Švici so takšna območja označena z rumenobeloz barvo in predstavljajo območja opozarjanja na preostalo nevarnost. Na teh območjih se pričakuje izjemne dogodke, ki imajo povratno dobo večjo od 300 let (glej tabelo 2). Za primer podora pomeni rdeča barva pričakovano energijo ob trku, ki je večja od 300 kJ. V območje modre barve pridejo podori z energijo med 30 in 300 kJ. V območje majhne stopnje ogroženosti spada podori z energijo manjšo od 30 kJ (tabela 2).

Nevarnost cestnega odseka se lahko določi na podlagi terenskega kartiranja. Na karti nevarnosti se prikaže območja z različno

stopnjo nevarnosti nastanka podorov in padanja kamenja. Nevarnost se določa glede na geomorfologijo pobočij in inženirsko geološke karakteristike. Osnova za izdelavo karte so terenski ogledi tako samega cestišča kot tudi zaledja, od koder lahko pričakuje mo padajoče kamenje.

Ocena nevarnosti regionalne ceste Bovec – Trenta

Podorni procesi se večinoma zgodijo nenadoma in nepričakovano. Zato so pomembne karte iz katerih so razvidna območja nevarnosti. Komac (2005) je preučil več

Tabela 1. Stopnje nevarnosti zaradi padajočega kamenja in skalnih podorov.

Table 1. Hazard levels due to stone falls and rock falls.

<i>Nevarnost</i>	<i>oznaka</i>	<i>Kriteriji</i>	<i>Skupni pomen za območja ter potrebni ukrepi</i>
velika	roza rdeča	Obstaja velika nevarnost padajočega kamenja in podorov. Sem prištevamo dogodke šibke intenzitete in velike verjetnosti (cestni useki), velike intenzitete in manjše verjetnosti (npr. podor Berebica) ter velike intenzitete in velike verjetnosti. Ogroženi so ljudje tako zunaj kot znotraj stavb. Uničenje objektov je zelo verjetno. V primeru dogodkov šibke intenzitete in velike verjetnosti nastopa so ogrožene predvsem osebe zunaj stavb oziroma udeleženci v prometu, (kjer poteka cesta v useku in je proženje kamnov zelo pogosto).	Območje prepovedi. Na odsekih ceste, ki so močno ogroženi, je treba izvesti varstvene ukrepe. V primerih cestnih usekov so to mreže, sidranja in betonski obrizgi. Ker poteka cesta tik ob skalni steni, večinoma ni prostora za ustrezne dimenzije obcestnih jarkov in postavitev masivnih pregrad in sten. Priporoča se redno letno (ročno) odstranjevanje nestabilnih delov skal (otrkavanje) zaradi preperevanja in pogostih potresov. Na odsekih ceste, ki so močno ogroženi zaradi skal, ki priletijo iz zelo strmega zaledja (tj. ni cestnega useka) predstavljajo ustrezen varovalni ukrep dinamične pregrade, ki zaustavijo padajoče skale še v zaledju. Večinoma je potres glavni sprožitelj skal. Največjo nevarnost na obravnavanem odseku je predstavljal podor Berebica, kjer pa je bila že zgrajena galerija
srednja	modra modra	Ljudje znotraj stavb niso ogroženi, zunaj stavb ter na cesti so ogroženi. Zelo verjetna je škoda na objektih, vendar se ob upoštevanju pravil varne gradnje ne pričakuje hipnega uničenja stavb. Cestna infrastruktura je lahko močno poškodovana (asfalt, obcestne ograje, podporni zidovi).	Območje zapovedi. Cestni odseki so ogroženi zaradi skal, ki pridejo iz (strmega) zaledja. Proženje skal je v glavnem pogojeno s potresi. Z izvedbo varovalnih ukrepov se izognemo velikim škodam. Primerni ukrep je postavitve dinamičnih pregrad, ki zadržijo padajoče skale v zaledju. Zaradi pomanjkanja prostora ob cesti večinoma lovilni jarki s stenami ali pregradami niso izvedljivi.
majhna	rumena	Ljudje so komajda ogroženi. Verjetnost in intenziteta dogodkov je majhna. Računati je treba z neznatno škodo na objektih oz. ovirah. Lahko nastopi znatna škoda na stvareh (kot pri npr. poplavih)	Območje opozoril. Tu obstaja obveza opozarjanja na nevarnost. Lastnike zemljišč je treba opozoriti na obstoječo ogroženost in na možne ukrepe za preprečitev škod. Nujno je posebno planiranje ukrepov za občutljive objekte.
preostala	rumenobela	Ljudje so ogroženi tako znotraj kot zunaj stavb. Pričakuje se uničenje objektov.	Območje opozarjanja na preostalo ogroženost. Na območjih se pričakuje dogodke s povratno dobo izjemnega dogodka večjo od 300 let. Za občutljive objekte je nujno planiranje ukrepov v sili in posebnih ukrepov. Izogibati se moramo napravam z zelo velikim škodnim potencialom.

Tabela 2. Intenziteta različnih nevarnih procesov ob nastanku podoru.

Table 2. Intensity of different hazardous processes at a rockfall.

vrsta podome nevarnosti	količina možnega učinka	intenziteta nevarnosti		
		velika	rednja	majhna
padajoče kamenje	kinetična energija	$E > 300 \text{ kJ}$	$300 \text{ kJ} > E > 30 \text{ kJ}$	$E < 30 \text{ kJ}$
odlom skal	(translacija + rotacija)			
skalni podor	kinetična energija	$E > 300 \text{ kJ}$	—	—
gorski podor	(masa in volumen)			

modelov za napoved potencialno plazljivih območij v Sloveniji. Za ceste je ugotovil, da jih je na zelo ogroženih območjih do 3,5 % in na ogroženih kar okoli 50 %. Resničnost opisanih razmer dokazujejo vodne ujme, zadnji primer je bilo veliko število zemeljskih plazov (predvsem plitvih plazov in manjših usadov), ki so sprožili v vzhodni Sloveniji ob močnem deževju v juliju in predvsem v avgustu 2005.

Poškodbe na cesti

Vplive, ki lahko povzročajo poškodbe na cestah, se razvrsti v naslednje skupine (Žmavc, 1987):

- prometna obremenitev;
- klimatska obremenitev;
- pomanjkljivosti izvedbe;
- pomanjkljivosti vzdrževanja;
- neprimerna uporaba.

Poškodbe asfaltnih vozišč se razvršča glede na njihovo značilno obliko v štiri skupine (Žmavc, 1987):

- deformacije (prečne, vzdolžne, nepravilno oblikovane); vzrok je preokračitev strižnih in tlačnih trdnosti vgrajenih materialov;
- razpoke (posamezne, mrežaste); zaradi preokračitve nateznih trdnosti vgrajenih materialov;
- razgraditve (obrava, krušenje, luščenje, ostale izgube asfaltne zmesi); zaradi preokračitev sil vezanja;
- poškodbe površine (zmanjšanje sposobnosti trenja, zmanjšanje stabilnosti, ostale poškodbe).

Poškodbe, ki so posledica padajočega kamenja (sl. 3), bi lahko razvrstili v zadnjo skupino, čeprav lahko udarci povzročijo tudi večje poškodbe (sl. 4). V diplomski nalogi "Poškodbe na asfaltnih voziščih" (Rok, 2004) je navedeno, da so najpogostejši vzroki nastanka poškodb zaradi mehanskih vplivov neprimerna uporaba vozišča, pomanjkljivo urejena vozila, neustrezno opremljeni



Sl. 3. Poškodba na vozišču (dolžine približno 30 cm), ki jo je povzročila padajoča skala.

Fig. 3. Road surface damage (the approx. length is 30 cm), caused by a falling stone.



Sl. 4. Poškodba vozišča, kjer so bila nujna obsežnejša vzdrževalna dela (pri žičnici Golobar).

Fig. 4. Road surface damage, where larger maintenance works were needed (at Golobar cable).

gradbeni stroji in priključki vozil za izvajanje zimske službe. V literaturi (Žmavc, 2004 osebni kontakt) in tudi na svetovnem spletu ni nikakršnih podatkov ali informacij o poškodbah, ki so posledica padajočega kamenja in skal na asfaltna vozišča. Obstajajo le študije o vplivu trkov skal na peščeno podlago (Pichler et al., 2005) ter trkov projektila v beton (Li & Chen, 2003) ali v jeklene plošče (Li et al., 2004).

Če želimo na nekem območju določiti ali obstaja nevarnost padajočega kamenja, je prvi korak, da poiščemo »neme priče«. Neme

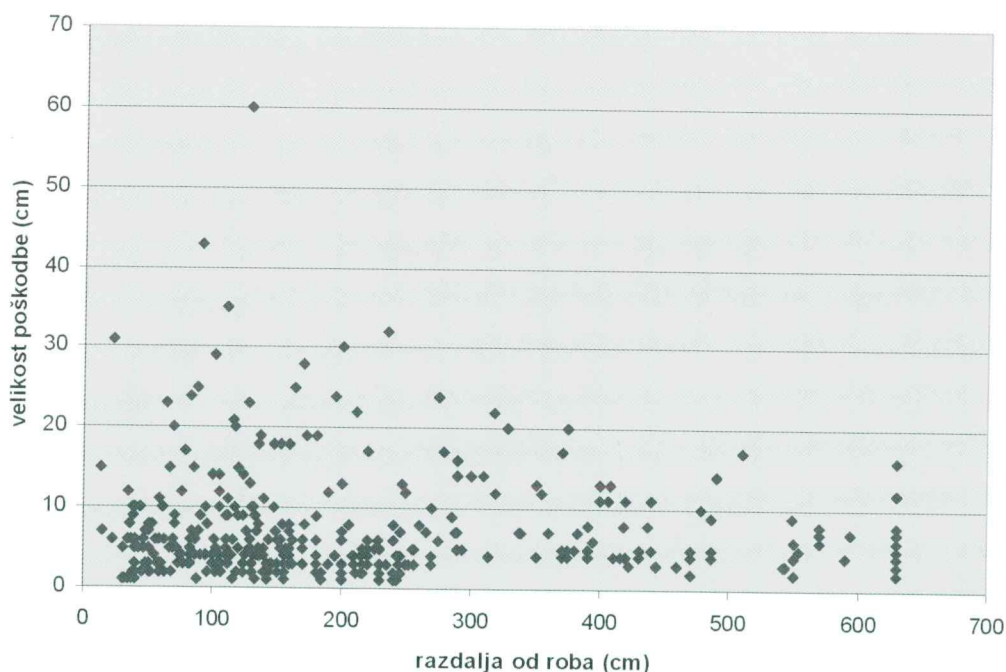
priče lahko predstavljajo poškodbe na drevesih, ki so jih naredile padajoče skale ali kamenje, lahko so to spremembe površja, poškodbe na infrastrukturi ali kamenje, ki leži v obcestnih jarkih ali za cesto. Sčasoma se sledi nemih prič zabrišejo. Poškodovana debela se zacelijo in na površini debel ni vidnih nobenih znakov več (Perret et al., 2004 a,b), naredijo se preplastitve asfaltne površine, polomljeno drevje se odstrani in zraste nova vegetacija. Velikokrat je tudi težko ločiti med nemo pričo in skalami, ki so še ostanek morenskega materiala.

Na celotnem obravnavanem odseku v dolžini 19,0 km so bile popisane poškodbe na asfaltu zaradi trka kamenja in skal. Poškodbe imajo ostre robove, lahko so podolgovate ali okrogle in konkavne oblike. Zaradi teh karakteristik se jih lahko loči od ostalih vrst poškodb. Za vsako poškodbo je bila izmerjena maksimalna dimenzija, oddaljenost od roba ceste ter globina. Večina poškodb je plitvih (sl. 3), nekaj poškodb je tako globokih, da je prebit asfaltni sloj. Na mestih, kjer so padle na cesto večje skale, so luknje zakrpane. Pri žičnici Golobar je bilo cestišče moč-

neje poškodovano (sl. 4) in jeseni l. 2004 so opravili obsežnejša dela.

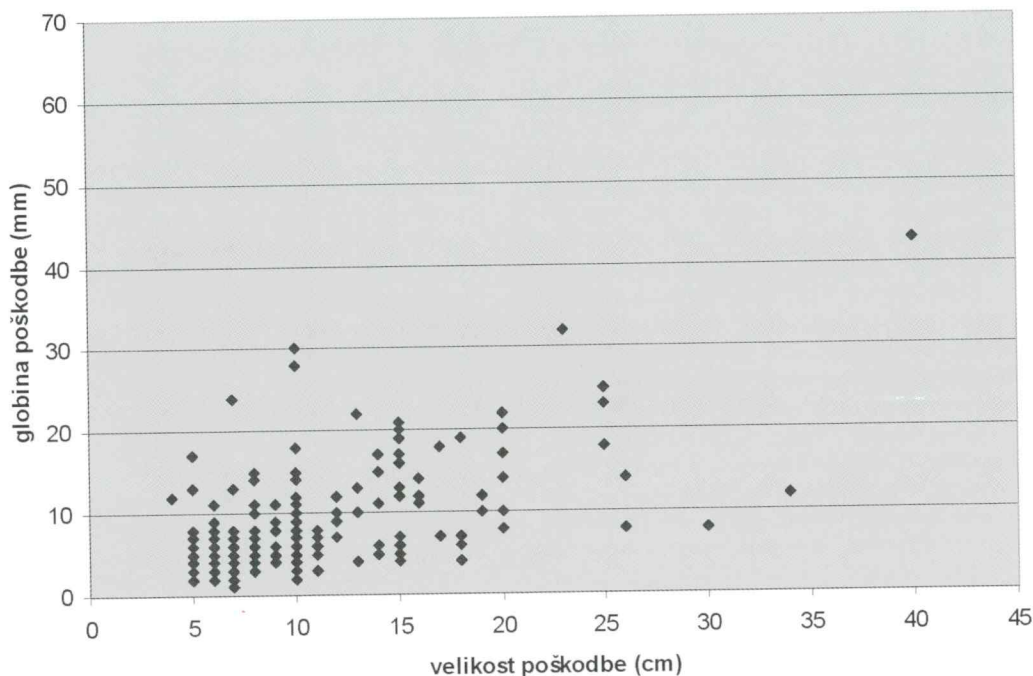
Obravnavali smo odvisnost med velikostjo poškodb in razdaljo do roba ceste in globino poškodb. Poškodbe so skoncentrirane v bližini roba ceste, ki je bližje pobočju (sl. 5). Vendar pa je kljub temu doseg kamnov tudi večji in lahko padejo tudi na drugi vozni pas oziroma je doseg še večji. Skale se lahko ustavijo šele v reki Soči. Podobno so ugotovili, tudi Bunce in ostali (1997), da z naraščanjem razdalje od vznožja stene število skal, ki doseže cesto (in s tem število poškodb), drastično upade. Iz tega sledi, kako pomembni so jarki ustreznih dimenzij. Odvisnost med velikostjo poškodb in njihovo globino (sl. 6) pokaže, da ne obstaja kakšna značilna odvisnost, vseeno pa je največ poškodb velikosti do 20 cm in globine do 20 mm.

Takšno kartiranje se lahko uporabi za oceno števila dogodkov, ki lahko poškodujejo vozila. Kinetična energija trka skale v premikajoče vozilo je zaradi premikanja vozila do 1,4-krat večja od energije trka skale ob cesto (Bunce et al., 1997).



Sl. 5. Odvisnost med velikostjo poškodbe v cm in razdaljo od roba cestišča v cm.

Fig. 5. The relation between the damage size in cm and the distance from the road edge in cm.



Sl. 6. Odvisnost med globino poškodbe v mm in velikostjo poškodbe v cm.

Fig. 6. Relationship between damage depth in mm and damage length in cm.

Opis posameznih odsekov ceste

Na podlagi ogleda zaledja, od koder se sproščajo skale in padajoče kamenje, ter na podlagi poškodb cestišča, je bila narejena karta nevarnosti padajočega kamenja za obravnavani odsek ceste (sl. 7). V karti je ločena nevarnost zaradi useka in nevarnost padajočega kamenja iz zaledja. V tabeli 3 je podana legenda karte. V primeru, da gre za kombinacijo useka in zaledja, se barve med seboj prelivajo. Podrobni opisi odsekov obravnavane ceste so podani v tabeli 4.

Nakloni pobočij so bili dobljeni iz karte naklonov, narejene na osnovi InSAR DMV z velikostjo celic 20 m. InSAR DMV 20 je narejen iz InSAR DMV 25, ki smo ga dobili od Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, in je bil izdelan po naročilu Geodetske uprave Republike Slovenije s tehniko radarske interferometrije (Oštir et al., 2000). Za izdelavo so bili uporabljeni radarski posnetki Evropske vesoljske agencije (ESA). Izdelani interferometrični model višin (InSAR DMV 25) se naslanja na najnovejša dognanja na področ-

ju radarskega daljinskega zaznavanja. Model višin nudi trenutno najkakovostnejše podatke o reliefu za območje vse Slovenije. Za razliko od dosedanjih modelov so podatki interferometričnega modela homogeni in neodvisni, saj so izdelek enega izvajalca in se ne opirajo na klasične tehnike zajema podatkov višin. Interferometrični model z ločljivostjo 25 m in povprečno višinsko natančnostjo pod 5 m nudi trenutno najkakovostnejše podatke višin za območje celotne Slovenije. Natančnost za gorata območja je okoli 13 m.

Če odštejemo odsek, kjer je bila zgrajena galerija Berebica, je še vedno dolžina ceste, kjer lahko pričakujemo pogosto padanje kamenja in skal, kar 1300 m. Na odsekih, ki so v usekih, je veliko poškodb asfalta, kar kaže na pogoste dogodke, vendar pa so to večinoma skale manjših dimenzij. Skale večjih dimenzij pa pogosteje priletijo iz strmega pobočja iz zaledja. Pobočja nad cesto so strma (nakloni nad 30°), gozd je redek in večinoma so povsod vidne večje skale, ki pa se v določenih situacijah premaknejo in lahko priletijo na cesto. Večinoma so ti dogodki redki,



Sl. 7. Ocena nevarnosti padajočega kamenja za regionalno cesto Bovec – Trenta, prikazana za odseke od 1 do 31 (za legendo glej tabelo 3 in za podroben opis odsekov glej tabelo 4).

Fig. 7. Falling stone hazard for the regional road Bovec – Trenta, shown for the road reaches No. 1 to No. 31 (for legend see Table 3, and for detailed description of reaches see Table 4).

LEGENDA:

	NEVARNOST			
	VELIKA	SREDNJA	MAJHNA	PREOSTALA
USEK	Red line	Orange line	Yellow line	Blue line
ZALEDJE	Red line	Orange line	Yellow line	Blue line
KOMBINACIJA	Red line	Orange line	Yellow line	Blue line

ST. FOTOGRAFIJE

ST. ODSEKA

Tabela 3. Legenda barv, s katero so označeni posamezni odseki ceste.

Table 3. Legend of colours, used for labeling different road reaches.

Table 4. Description of single road reaches of the regional road in the Trenta valley.

Št.	Opis odseka	Dolžina odseka	Število poškodb	Stopnja nevarnosti
1	od km 22,5 do mostu čez Koritnico – Cesta poteka po travniku z blagim naklonom (do 15°)	458 m		majhna
2	območje mostu čez Koritnico – Pred mostom čez Koritnico je cesta v useku (fliš). Ob močnejšem dežju lahko opazimo kamenje dimenzij okoli 30 cm na cesti. Vidne so poškodbe na asfaltu.	52 m	18 (0,35/m ²)	velika
3	od mostu do ostrega desnega ovinka – Na desni strani je cesta v useku, vendar je višina useka nizka	197 m		majhna
4	od ostrega desnega ovinka do km 21,5 – Cesta je speljana v fišnem useku. Ob cesti je narejen jarek, kamor se padajoče kamenje ujame in zaustavi, zato je cesta srednje močno ogrožena.	120 m		srednja
5	do mostu na koncu vasi Kal – Koritnica – Ta odsek ceste spada med manj nevarne, čeprav se pod hribom Koritnica, ki deli vas na dva dela, lahko opazi tudi večje skale, ki ležijo na travniku	1113 m		majhna
6	od mostu do vodovodnega zajetja – Na levi strani ceste je usek, brežina je strma in deloma poraščena z grmovjem in manjšimi drevesi. Na asfaltu so vidne poškodbe	295 m	109 (0,37/m ²)	velika
7	desni ovinek – Nad cesto je raven plato (travniki), kjer se kamenje iz zaledja ustavi	132 m		majhna
8	od ovinka, mimo Žičnice Golobar do konec useka – Cesta poteka v useku. Do Žičnice Golobar je ob cesti približno en meter visok kamnit zid, ki podpira strmo brežino. Brežina je porasla z gozdom, vidne so večje skale. Pri Žičnici je naklon stene okoli 50°. Na asfaltu so vidne številne manjše poškodbe asfaltnega sloja in tudi večje poškodbe voziščne konstrukcije	323 m	84 (0,26/m ²)	velika
9	od km 19,5 do konca kamnitega podpornega zidu – Cesta poteka v nižjem useku, nad usekom je strm gozd, ki se nadaljuje v skalno steno (naklon do 45°), ki je izredno krhka. Ta tem odseku je vidnih največ poškodb, številne skale ležijo tudi pod cesto.	184 m	67 (0,36/m ²)	velika
10	do mostu čez reko Sočo – Nad cesto je položen gozd, ki prehaja v strm gozd in skalne stene. V gozdu so vidne številne velike skale in poškodovano dreve. Zaradi položnejšega terena ob cesti, se večina skal ustavi še pred cesto, čeprav so vidne tudi skale, ki so se odkotalile preko ceste.	430 m	9 (0,02/m ²)	srednja
11	od mostu do stare brvi – Nad cesto je strma naravna skalna stena z naklonom nad 40°, na manjšem delu do 55°. Pobočje je deloma poraslo z gozdom. Na asfaltu so vidne številne poškodbe	210 m	77 (0,37/m ²)	velika
12	od brvi do km 18,0 – Pobočje nad cesto postaja čedalje bolj strmo, vendar je naklon še vedno majhen (pod 25°). Nad pobočjem je raven plato (Malnik).	607 m		majhna
13	od km 18,0 do km 17,5 – Nad cesto je raven plato (Malnik). Ob cesti je kamnit zid višine približno en meter. Brežina, ki sega do platoja ima naklon okoli 30°. V gozdu so vidne poškodbe drevev in večje skale. Brežina je že dovolj strma, da prihaja ob potresih do proženja skal. Na asfaltu so vidne poškodbe	579 m	48 (0,08/m ²)	srednja
14	ovinek pri prepuštu hudournika iz Zleba – Od ceste do vhoda v Zleb je dobrih 300 m. Naklon pobočja se postopoma povečuje od 10 do 25°, sledi pobočje z naklonom nad 45°	194 m		majhna
15	cesta pod Črčlo – Nad cesto je redek gozd, v katerem so vidne večje skale. Naklon pobočja je med 20 in 30°. Verjetnost proženja skal je majhna, vendar se ob potresih (ki je večinoma glavni sprožitelj) skale lahko skotalijo na cesto. Razdalja od ceste do vznožja sten je okoli 200 m.	898 m	17 (0,02/m ²)	srednja
16	območje melišča nad grapo Širokac – Melišče je deloma poraslo z grmovjem in nižjimi drevesi. Naklon melišča je med 20 in 30°, na manjšem delu tudi nekaj stopinj nad 30°	247 m		majhna
17	pred km 16,0 – Krajiš odsek, kjer je zaradi bolj strmega pobočja večja nevarnost	76 m		srednja
18	km 16,0 do prepušta pred km 14,5 – Odsek dolžine 1,5 km, ki je malo ogrožen. Naklon terena nad cesto je pod 30°, bolj strm naklon pobočja je od ceste oddaljen več kot 200 m.	1425 m		majhna
19	km 14,6 do 14,1 – Odsek dolžine ca. 500 m ob Velikih Karih. Naklon pobočja je med 30 in 35°. Pobočje je gozdno, tik nad cesto so večje skale. Cesta je razpokana, nekaj je asfaltnih krp. Zaščitna pločevnasta ograja je bila porušena, ko so se skale ob potresu skotalile na cesto. V dolžini 20 m je bilo cestišče zaradi večjih poškodb na novo asfaltirano.	422 m	8 (0,02/m ²)	srednja
20	travniki ob domačiji Monkež – V zaledju so strme stene, kjer prihaja do planarnih zdrsov. Na travniku ležijo posamezne večje skale.	226 m		majhna
21	Pobočje Meli – V zaledju je melišče z naklonom med 25 in 30°. Cesta je tu definirana kot srednje ogrožena, čeprav je morda manj ogrožena kot nekateri drugi odseki, ki so določeni kot srednje ogroženi. Brežina nad cesto ima naklon 20 do 30°, nad to brežino je položnejši del, ki prehaja v melišče.	439 m		srednja
22	vas Soča – Vas Soča leži na položnejšem terenu, do pobočja z večjimi nakloni (nad 30°) je okoli 300 m.	839 m		majhna
23	pod Krajnim robom in Hribom – Cesta se zopet približa pobočju Krajni rob, kjer naklon doseže vrednost 55°. Pod Hribom, v vasi V klancu, so se skale ustavile na travniku v neposredni bližini ceste.	903 m		srednja
24	od km 11,7 do 11,2 – Cesta poteka ob vznožju gozdnatega Hriba. Pri km 11,7 se prične položnejši travnik v pasu širine ca. 80 do 100 m. Nad travnikom se prične teren dvigati, naklon doseže vrednosti nad 40°.	476 m		majhna
25	pod domačijama Serovc in Repnik – Cesta se približa strmejšim pobočjem. Domačiji Serovc in Repnik ležita pod skalnimi stenami z naklonom med 45 in 50°.	633 m		srednja
26	km 10,6 do domačije Martin – Ob cesti je podporni betonski zid, nad njim pa travnik, na katerem je domačija Martin. Nad travnikom se prične strmejši gozd.	404 m		majhna
27	km 10,2 do km 9,15 – Nad cesto je gozd z naklonom pobočja med 20 in 35°. V zaledju so skalne stene z naklonom nad 50°. V gozdu so vidne skale, ki so se odkrušile iz sten.	1084 m		srednja
28	območje mostu – Cesta je speljana čez hudournik. Hudournik je bil v območju križanja urejen.	123 m		majhna
29	pri km 9,0 – Odsek ceste v dolžini ca. 170 m je srednje ogrožen, kljub temu da na karti naklonov ni vidnih strmih pobočij, brežina ob cesti pa je dovolj strma, da se skale ob potresih lahko skotalijo na cesto.	175 m		srednja
30	km 8,77 do km 8,5 – Cesta poteka čez travnik	277 m		majhna
31	Ob cesti je kamniti podporni zid, nad zidom gozd z naklonom 25 do 30°	377 m		srednja
32	km 8,22 do galerije – Ovinek, kjer se cesta nekoliko bolj oddalji od skalnih sten in je zato manj ogrožena.	241 m		majhna
33	območje galerije – Galerija je bila zgrajena leta 2001 zaradi stalne nevarnosti, da se sprožijo nestabilni skalni bloki. Dolžina galerije je 276 m.	276 m		preostala
34	od galerije do useka – Cesta poteka po travniku mimo domačije Fačer	241 m		majhna
35	območje cestnega useka – Cesta je speljana v useku, kjer je Soča v neposredni bližini ceste. Na asfaltu so vidne številne poškodbe zaradi padajočega kamenja	237 m	34 (0,14/m ²)	velika
36	Cesta poteka po travniku, nevarnost je zato majhna.	237 m		majhna
37	do km 6,5 – Nad cesto je naklon pobočja nad 40°.	403 m		srednja
38	do hudournika Zleb – Ob cesti je travnik, nato sledi pobočje z naklonom 30 do 35°	340 m		majhna
39	Cesta se približa pobočjem z naklonom nad 40°, zato se nevarnost poveča	319 m		srednja
40	Cesta je speljana čez most na levi breg reke Soče. Dolina je širša, pobočje nad cesto je položnejše.	693 m		majhna
41	Zadnji del obravnavanega odseka, kjer je srednje velika nevarnost. Cesta je speljana ob pobočju, katerega naklon se postopoma povečuje od 25 do 50°. Na travniku ob cesti so vidne vneমে প্রিচৈ.	365 m		srednja
42	do km 3,5 – Obravnavni odsek ceste se konča na koncu vasi Na Logu, na križišču s cesto, ki poteka po dolini Zadnjice	1065 m		majhna

Tabela 4. Opis posameznih odsekov regionalne ceste v dolini Trente.

najpogostejše pa jih sproži potres. Ker je dolina ozka, pobočja pa strma in visoka, si skoraj nikjer ne bi upali trditi, da je cesta absolutno varna. V dolini reke Soče, ki je ozka dolina, s strmimi in visokimi pobočji (Svinjak 1653 m. n. v., Stador 1726 m. n. v., Srebrnjak 2099 m. n. v., Bavški Grintavec 2344 m. n. v. ...) bi težko našli območja, kjer bi z veliko verjetnostjo trdili, da so popolnoma varna.

Pri območjih, ki so označena z modro ali rdečo barvo (sl. 7), je treba postaviti prometno signalizacijo (prometni znaki), ki opozarja voznike na padajoče kamenje in previdnejšo vožnjo. Z izvedbo varovalnih ukrepov se varnost izboljša. Za ustavitvev padajočega kamenja iz zaledja predstavljajo dinamične pregrade primeren ukrep. Pri usekih, kjer ni možnosti izgradnje lovilnih jarkov zaradi pomanjkanja prostora, je treba položiti mreže, ki se jih sidra in s tem prepreči, da se kamenje sploh sproži. Območje galerije Berebica je označeno kot preostala ogroženost. Območja, ki so varna, vendar pa so varna zaradi zaščitnih ukrepov, je treba označiti. Če se varovalnih objektov ne vzdržuje, lahko ta območja zopet predstavljajo nevarnost. V primeru galerije se verjetno kljub opustitvi vzdrževanja ne bi mogla varnost bistveno zmanjšati, mreže, zavesa, dinamične pregrade in drugi objekti ter lovilnih jarki, pa bi kmalu pričeli izgubljati varovalne zmožnosti.

Kateri varovalni ukrep bomo izbrali, je odvisno od pričakovane energije padajočega kamenja in lokalnih danosti (npr. prostora). Poleg prometne signalizacije in varovalnih ukrepov obstajajo še opozorilni sistemi. Preden je bila zgrajena galerija Berebica, je bil postavljen začasni opozorilni (alarmni) sistem. Semafor je bil povezan s sistemom, ki je beležil premikanje kamenja in povečevanje razpok. Kadar sistem zazna premike, se vključi semafor, ki zapre odsek ceste. V primeru podora Berebica je bil opozorilni sistem le začasen ukrep. Ker obstajajo v skalni steni še vedno labilni deli, ki se lahko ponovno sprožijo, predstavlja le galerija varno in trajno rešitev.

Zaključki

V svetu ugotavljajo, da padanje skal in kamnov v celoti povzroči več nesreč in smrtnih žrtev kot večji dogodki porušitev narav-

nega ravnotežja, npr. obsežnejši podori. Zato je smiselno za potencialno ogrožena območja oceniti stopnjo nevarnosti in temu ustrezno predvideti varovalne ukrepe. Najbolj ogroženi so linijski objekti kot npr. ceste, ki se v ozkih dolinah in soteskah ne morejo izogniti območjem povečane nevarnosti hribinskih zdrsov, podorov ter padanja skal in kamnov. V zadnjem desetletju se je tehnologija napovedi nevarnosti pred hribinskimi nestabilnimi pojavi dodobra razvila. Tako imamo orodja za izdelavo kart nevarnosti in ogroženosti (npr. GIS skupaj s STONE programom), orodja za izračun stabilnosti potencialnih labilnih blokov (stabilnostne analize ravninskih in klinastih zdrsov) in orodja za izračune trajektorije padanja skal in kamnov (npr. program Rock-Fall – dr. Spang). V okviru opredelitve ogroženih območij in ustrezno s predlaganim načinom razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti zaradi zemeljskih plazov, kakor je predlagano v ustrezni metodologiji (Mikoš et al., 2004), bi bilo smiselno za vsa bolj ogrožena območja Slovenije izvesti tudi oceno nevarnosti pred pojavi porušitve ravnotežja v hribinah s podobnimi pristopi, kot jih prikazuje ta članek. Še posebej bi bilo potrebno oceno nevarnosti pred padanjem skal in kamnov izvesti za ceste. Z metodologijo kot je RHRS metoda bi lahko opredelili stopnjo ogroženosti cest in temu ustrezno izvajali opozarjanje in zaščito.

Zahvala

V prispevku opisana terenska raziskava je potekala v okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Metodologija za določitev ogroženih območij in delitev zemljišč v razrede ogroženosti zaradi zemeljskih plazov«, ki so jo financirala naslednja ministrstva: Ministrstvo za obrambo RS, Ministrstvo za okolje in prostor RS ter Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport RS.

Literatura

Alpska konvencija 2005: http://www.sigov.si/tnp/s/jus/alp_inf.htm.

Bavec, M. 2001: Kvartarni sedimenti Zgornjega Posočja. Doktorska disertacija. Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo. Ljubljana.

- Brilly, M., Mikoš, M. & Šraj, M. 1999: Vodne ujme - Varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi. - Univerza v Ljubljani, FGG, 186 str., Ljubljana.
- Budkovič, T. 2002: Karta geološko pogojene ogroženosti na primeru občine Bovec. - *Ujma*, 16, 141-145, Ljubljana.
- Bunce, C.M., Cruden, D.M. & Morgenstern, N.R. 1997: Assessment of the hazard from rock fall on a highway. - *Canadian Geotechnical Journal*, 34, 344 - 356.
- Buser, S. 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Tolmin in Videm (Udine). Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Đurovič, B., Ribičič, M. & Mikoš, M. 2005: RHDM postopek analize potencialne ogroženosti zaradi odlomne nevarnosti = RHDM procedure for analysis of the potential specific risk due to a rockfall hazard. - *Geologija*, 48/1, 33-51, Ljubljana.
- Enciklopedija Slovenije, 1995: 9. zvezek, Plo-Ps. - Mladinska knjiga, Ljubljana.
- Jurkovšek, B. 1987a: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Beljak in Ponteba. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Jurkovšek, B. 1987b: Tolmač za list Beljak in Ponteba. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Komac, M. 2005: Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov. Geološki zavod Slovenije, 231 pp., Ljubljana.
- Li, Q.M. & Chen, X.W., 2003: Dimensionless formulae for penetration depth of concrete target impacted by a non-deformable projectile. - *International Journal of Impact Engineering*, 28, 93 - 116.
- Li, Q.M., Weng, H.J. & Chen, X.W. 2004: A modified model for the penetration into moderately thick plates by a rigid, sharp-nosed projectile. - *International Journal of Impact Engineering*, 30, 193 - 204.
- Mikoš, M., Batistič, P., Đurovič, B., Humar, N., Janža, M., Komac, M., Petje, U., Ribičič, M. & Vilfan, M. 2004: Metodologija za določanje ogroženih območij in način razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti zaradi zemeljskih plazov: končno poročilo. - Univerza v Ljubljani, FGG, 165 str., Ljubljana.
- Orožen Adamič, M. 1990: Podor v Trenti. - *Ujma*, 4, 18, Ljubljana.
- Oštir, K., Podobnikar, T., Stančič, Z. & Mlinar, J. 2000: Digitalni model višin Slovenije InSAR 25. - *Geodetski vestnik*, 4, 374 - 383, Ljubljana.
- Pavšek, M. 1994: Skalni podor v Trenti. - *Ujma*, 8, 24 - 29, Ljubljana.
- Pavšek, M. 1996: Skalni podor na Velikem Mangartu. - *Ujma*, 10, 67 - 69, Ljubljana.
- Pichler, B., Hellmich, Ch., Mang, H.A. 2005: Impact of rocks onto gravel, Design and Evaluation of experiments. *International Journal of Impact Engineering*, 31, 559-578.
- Perret, S., Baumgartner, M. & Kienholz, H. 2004a: Steinschlagschäden in Bergwäldern - eine methode zur Erhebung und analyse. V: Mikoš, M. (ed.), Gutknecht, D.(ed.), Proceedings of the 10th International Symposium Interpraevent 2004 - Riva / Trento. Band 2: V/ 87 - 98.
- Perret, S., Dolf, F. & Kienholz, H. 2004b: Rockfalls into forests: Analysis and simulation of rockfall trajectories - considerations with respect to mountainous forests in Switzerland. - *Landslides*, 1, 123 - 130.
- Petje, U. 2005: Analiza nevarnosti padajočega kamenja na cestah v alpskem prostoru. - Magistrska naloga št.184. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 242 str.
- Rok, B.A. 2004: Poškodbe na asfaltnih voziščih. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, diplomska naloga 78 str.
- Uradni list Republike Slovenije, št. 29/1997, 18/2002, 50/2002, Zakon o javnih cestah.
- Uradni list Republike Slovenije, št. 44/2002, Nacionalni program varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami.
- Vidrih, R. 2004: Potresna dejavnost Zgornje-ga Posočja. - EPIcenter, Glasilo Posoškega razvojnega centra, V, št. 9, 6 - 13.
- Zorn, M. 2001: Gorski relief kot posledica skalnih podorov. - Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana.
- ZRC SAZU, 2004: <http://gis.zrc-sazu.si/zrcgis/> ali <http://www.zrc-sazu.si/www/bi/vkarta/>
- Zmavc, J. 1987: Poškodbe na asfaltnih voziščih. - Skupnost za ceste Slovenije, Društvo za ceste, 142 str., Ljubljana.