

Skalni podori Stara gora pri Dvoru v občini Žužemberk

Rockfalls Stara gora near Dvor in municipality Žužemberk

Magda ČARMAN¹ & Tina PETERNEL²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana; e-mail: magda.carman@geo-zs.si

²Geoportal d.o.o., Brdo, Tehnološki park 21, SI-1000 Ljubljana; e-mail: tina@geoportal.si

Prejeto / Received 19. 10. 2010; Sprejeto / Accepted 1. 12. 2010

Ključne besede: podor, prevračanje in padanje, karta ogroženosti, karbonatne kamnine, Žužemberški prelom, Stara gora pri Dvoru, občina Žužemberk, Slovenija

Key words: rockfall, toppling, hazard map, carbonate rocks, Žužemberk fault, Stara gora pri Dvoru, municipality Žužemberk, Slovenia

Izvleček

V zadnjih letih v Sloveniji opažamo povečano podorno dejavnost, ki je povezana z vremenskimi ekstremi. Na območju Stara gora pri Dvoru v občini Žužemberk so porušeni karbonatni bloki že povzročili škodo na stanovanjskem objektu in ogrožajo imetje in življenje lastnikov. Izvorno območje podornih blokov se nahaja na območju Žužemberške prelomne cone. Zato so apnenci močno razpokani, kar povzroča njihovo hitro erodiranje in razpadanje. Podorni bloki nastajajo z erozijo skalnega grebena in se bodo pojavljali tudi v bodoče. S pomočjo detajlnega terenskega geološkega in inženirsko-geološkega kartiranja ter simuliranja padanja kamnov in blokov s programom RocFall smo ocenili stopnjo ogroženosti in oceno varovanja ter izdelali karto ogroženosti za obravnavano območje.

Abstract

In Slovenia, an increased number of rockfall events have been noticed in the last years. They were most likely in relation to weather extremes. At Stara gora near Dvor in municipality Žužemberk, fallen blocks of carbonate rock have already caused damage on a residential object and represent a danger to real property and human lives. The blocks source area is situated in the Žužemberk fault zone. The carbonate rocks in the fault zone are tectonically highly disturbed, which leads to their rapid erosion and disintegration. The rockfall events are a result of the ridge erosion and will also appear in the future. Hazard degree assessment and protection assessment were based on the results of detailed geological and engineering geological mapping and rock fall simulation with RocFall computer software. A rock fall hazard map was also produced.

Uvod

Podori so v karbonatnih kamninah pogost pojav, predvsem v gorskem svetu. Na njihovo pojavljanje vpliva več faktorjev. Prevladujoča so strma pobočja, sistemi prelomov in razpok, močna pretrtost kamnin ter intenzivno fizikalno prepevanje. Pojavljajo se predvsem v času velikih temperaturnih nihanj zaradi zmrzali v razpokah, v času dolgotrajnejšega deževja in ob potresih. Dogodka časovno ni mogoče vnaprej napovedati, vemo pa, da je pogostnost teh pojavov vezana na jesenska obdobja večjih padavin, zimsko-pomladna obdobja, za katera so značilna velika temperaturna nihanja ter na potresne in popotresne dogodke. Vsi naštetih dejavniki so značilni tudi za podore Stara gora. Do proženja blokov pa lahko pride tudi ob morebitnih človeških posegih v pobočje.

Značilnosti širšega območja lokacije

Tektonske razmere

Ozemlje okrog Žužemberka pripada tektonski enoti Zunanjih Dinaridov, ki obsega skoraj celotno južno Slovenijo. Strukturno je to območje zgrajeno iz vzdolžnih gub, prelomov in narivov, ki ozemlje razdelijo v večje tektonske bloke in grude. Nekateri prelomi s smerjo severozahod-jugovzhod, kot so Žužemberški, Dobropoljski in Ortniški imajo regionalni pomen. Žužemberški prelom je eden najdaljših in najbolj izrazitih prelomov v Zahodnodolenjskih mezozojskih grudah (BUSER, 1974). Prelom s tipično dinarsko smerjo vseskozi poteka po dolini reke Krke in je na svoji celotni dolžini pokrit. Domneva se, da na preiskovanem terenu vpada pod strmim kotom proti severovzhodu. Ob močni prelomni coni Žužemberškega preloma so kamnine tektonsko močno poškodovane.

Seizmičnost območja

Glede na Seizmološko karto Slovenije s 475-letno povratno dobo potresov se območje Stare gore pri Dvoru nahaja na območju z 8. potresno stopnjo (MORS, 2006). Tveganje nastanka podorov ob 8. ali višji potresni stopnji je zvečano in na podlagi dosedanjih opazovanj med potresno aktivnostjo in pojavljanjem podorov lahko trdimo, da bodo potresni sunki tudi v bodoče vplivali na pojave skalnih podorov (VIDRIH & RIBIČIČ, 1999).

Geografsko morfološki opis

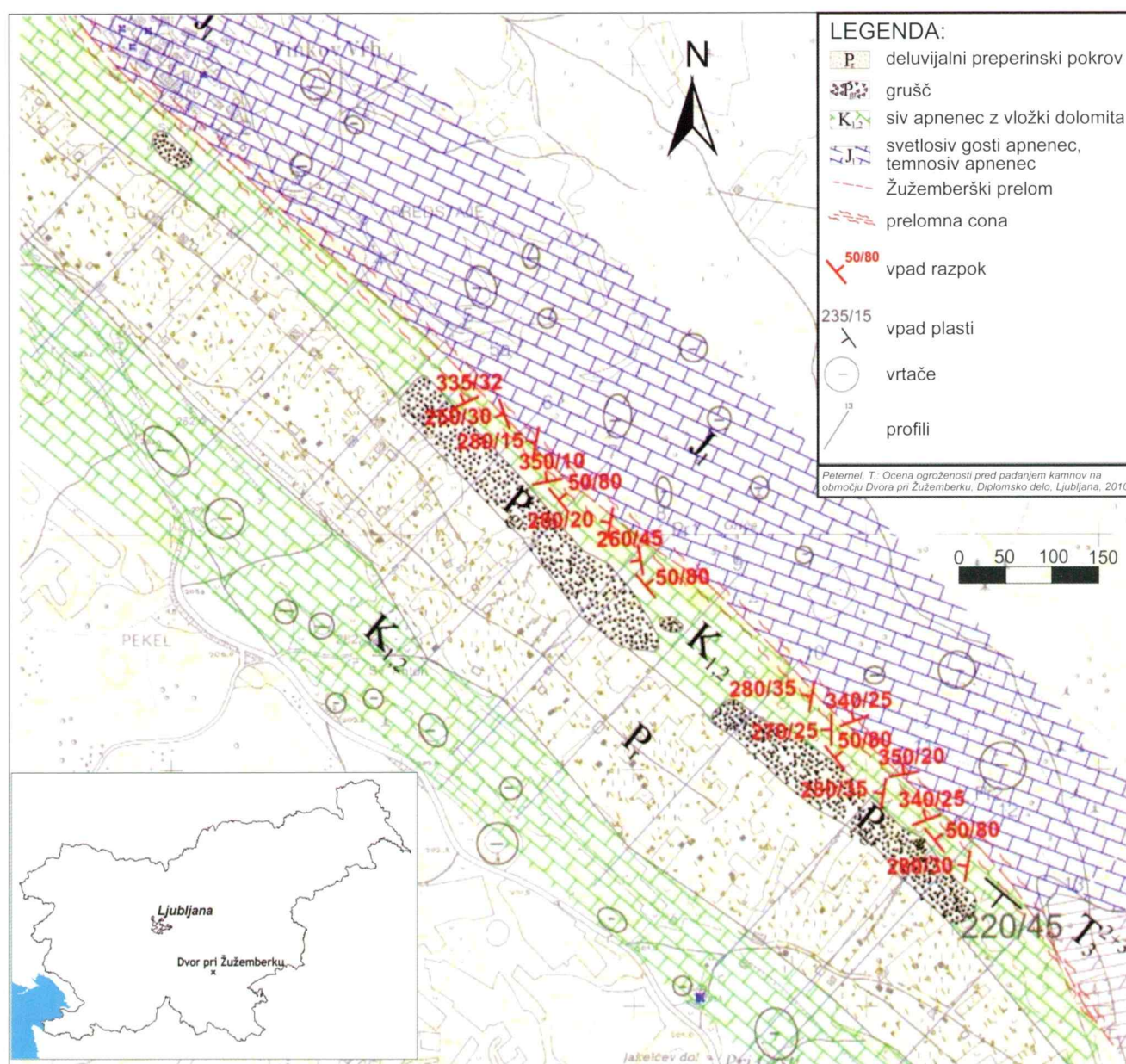
Obravnavano območje se nahaja v Suhi krajini, ki leži na severozahodnem delu Dolenjske, za katero so tako obsežna potencialna območja podorov redka. Izvorno področje podornih blokov se razteza vzdolž grebena Podšempavelske gore na dolžini okoli 1300 m. Strmo pobočje se naha-

ja na levem bregu reke Krke in mestoma prehaja v greben, kjer prihaja zaradi erozijskih procesov do odlamljanja kamninskih blokov. Na spodnjem delu jugozahodnega dela Podšempavelske gore so vinogradi z zidanicami, navzgor sledi gozd. V gozdu so na drevesih vidne sveže poškodbe zaradi udarcev že sproženih blokov. Vinogradi ležijo na debelejši glinasti preperini. Nagib terena znaša v spodnjem delu okoli 30°–35°, v območju gozda pa preide v nagib okoli 40°–45°. Skalni greben je subvertikalen.

Metodologija dela

Geološko in inženirsko-geološko kartiranje

Obravnavano območje, ki ga gradijo gradijo kamnine mezozojske starosti in sicer triasni dolomit, jurski in kredni apnenec ter kvartarni sedimenti (slika 1), smo podrobno litološko in



Slika 1. Inženirsko-geološka karta obravnavanega območja
Figure 1. Engineering geological map of the studied area

inženirsko-geološko kartirali (ČARMAN, 2009; PETERNEL, 2010). Spodnje triasni glavni dolomit se nahaja na vzhodnem delu kartiranega območja in sicer na severozahodnem delu Podšempavelske gore. Jurski apnenec spodnje in srednje liasne starosti se nahaja na severnem in severozahodnem delu kartiranega območja, natančneje na območju Vinkovega vrha in severnem delu Podšempavelske gore. Največji del kartiranega ozemlja sestavljajo spodnje kredni in cenomanijski apnenci, ki zavzemajo celoten osrednji in južni del kartiranega ozemlja. Pas melišča kvartarne starosti predstavlja material, ki je nakopičen pod vznožjem pretrtih krednih apnencev in oblikujejo pobočje pod njimi. Nevezano preperinsko gmoto sestavljajo predvsem kosi krednega apnenca, ki gradijo zgoraj ležečo močno preperelo hribino, in v manjši meri glinasto-meljno vezivo. Deluvijalni preperinski pokrov pliocensko- kvartarne starosti se pojavlja na območju zidanic in vinogradov, kjer so tla pokrita s približno 4 m debelo plastjo rdeče glinaste preperine, mestoma pomešane z apnenčevim gruščem.

Izvirno območje podornih blokov gradi kredni apnenec s tankimi kalcitnimi žilicami. Skladnat apnenec je svetlo siv, gost in trden, lokalno je lahko nekoliko dolomitiziran. Vzdolž lezik je zakrasel. V kamnini se neenakomerno pojavljajo kalcitne žilice, ki sekundarno cementirajo prvotne razpoke in korozijske votline. Primesi glinene in limonitne komponente se pojavljajo v obliki tankih prevlek. Apnenec je skladnat z zelo položnim (subhorizontalnim) vpadom plasti v ali iz pobočja ($230^{\circ}/5^{\circ}$) (slika 2). Kamnino sekata dva izrazita sistema subvertikalnih razpok, ki vpadajo proti jugozahodu in severovzhodu ter sistem položnejših razpok z vpadom proti severozahodu, ob katerih je apnenec pretrt v različno velike bloke (ČARMAN, 2009). Natezne razpoke so odprte, valovite, večinoma gladke (slabo izražena hrapavost je bolj korozivnega značaja) in široke od 0,5 cm do 15 cm. V odprte razpoke se vraščajo korenine dreves, kar še dodatno pospešuje razpadanje kamnine. Odprte razpoke kažejo na pojav nateznih sil v kamnini, kar nakazuje verjetnost oz.



Slika 2. Nestabilni bloki z odprtimi razpokami na vrhu grebena (foto: M. Grčar)

Figure 2. Unstable blocks of limestone with opened fractures on a ridge

nevarnost nadaljnjega rušenja in padanja kamninskih blokov. Zaradi neugodne medsebojne lege plastnatosti in razpok prihaja do drsenja blokov po plastnatosti in njihovega prevračanja oz. izpadanja iz prvotne lege.

Pregled pobočja in grebena kaže na intenziven in stalen proces denudacije kamninske mase, ki se izraža v odlamljanju različno velikih blokov in kosov apnenca. Neposredno pod grebenom so na večji površini razkriti podorni bloki in kamenje, ki so se z grebena samo prevrnili in obstali pod njim in tvorijo melišče (slika 3). Do večjih premikov prosto ležečih blokov in kamenja lahko pride pri sprožitvi novih blokov z grebena, ki ob udarcu v že premaknjene bloke, le-te spravijo v ponovno gibanje po pobočju.



Slika 3. Podorni bloki in kamenje neposredno pod grebenom (foto: M. Čarman)

Figure 3. Rockfall blocks and gravel under the ridge

V manjši meri pa se na pobočju pojavljajo tudi posamezni prosto ležeči, že premaknjeni bloki (slika 4). Ocenjujemo, da volumen prosto ležečih skalnih blokov ne presega 3 m^3 , prevladujejo pa



Slika 4. Prosto ležeč že premaknjen blok (foto: M. Čarman)

Figure 4. Detached block

kosi s prostornino, manjšo od $0,3 \text{ m}^3$. Možen in verjeten je pojav posameznih blokov, ki presegajo volumen 3 m^3 .

Simuliranje padanja kamninskih blokov

V izvornem območju podora, ki predstavlja neposredno nevarnost za spodaj živeče ljudi in objekte, ločimo (ČARMAN, 2009):

- razpokan skalni greben, s katerega bi se lahko ob močnejših potresnih sunkih sprožili različno veliki bloki. Diskontinuite (razpoke in plastnatost) delijo kamnino v večje bloke, ti pa lahko razpadejo v manjše prizmatične kose oz. bloke;
- prosto ležeče kamenje velikosti do $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ nastopa na celotnem pregledanem območju; kosi nepravilne do ploščaste oblike večinoma ležijo tako, da se ne morejo zakotaliti, na večjem delu pobočja se lahko le neznatno premaknejo;
- prosto ležeči skalni bloki dimenzij do $3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$.

Kamninski blok, ki se je sprožil leta 2005, se je kotalil in odbijal po pobočju do ravnine. Drugi večji kamninski blok se je sprožil leta 2008 in je poškodoval bivalni objekt ter se pri tem ustavil. Oba bloka sta se sprožila v jesenskem času, ko je več padavin. Na območju Žužemberka in v njegovi okolici v času sproženja blokov ni bil zabeležen noben potres, tako da njune sprožitve ne moremo povezati s potresom (ARSO, 2007, 2009).

S pomočjo računalniškega programa RocFall, verzije 4.048, podjetja Rocscience Inc., Kanada, smo za obravnavano območje ocenili doseg podornih blokov ter stopnjo ogroženosti posameznih delov znotraj obravnavanega območja (PETERNEL, 2010). Simulacija s programom RocFall temelji na zakonih gibanja ter teoriji trkov, hkrati pa omogoča prikaz ter interpretacijo trajektorije gibanja enega do 10.000 kamnov. Pri izračunu trajektorij gibanja je tako upoštevano drsenje, kotaljenje, prevračanje, prosti pad in poševni met premikajočega telesa (kamninskega bloka) ter sprememba vrtilne količine med trki. Simulacija poteka do zaustavitve kamninskega bloka, ko le ta trči v oviro (npr. hiša ali zaščitna pregrada) oziroma se zaradi izgube momenta zaustavi na položnem pobočju.

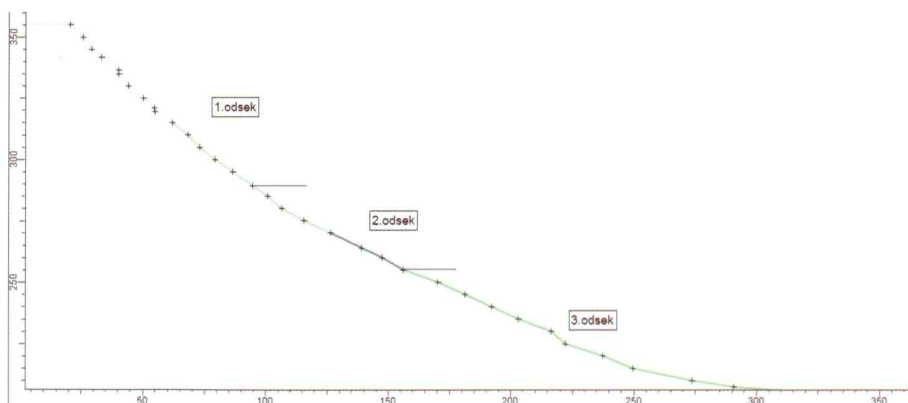
Za simulacijo v programu RocFall je potrebno določiti vhodne podatke z oceno katerih se poskušamo približati dejanskim razmeram. Simulacija temelji na geometriji pobočja, ki smo jo določili glede na temeljni topografski načrt merila $1 : 5.000$ (TTN5) in je v programu prikazana z dvodimenzionalnim profilom. S preostalimi vhodnimi parametri moramo določiti lastnosti pobočja, kot so normalni odbojni koeficient R_n , tangencialni odbojni koeficient R_t , kot trenja Φ in hrapavost območja. Ocenjene vhodne vrednosti teh parametrov smo določili s povratno analizo. Za simulacijo je potrebno določiti še fizikalne lastnosti padajočih blokov, kot so njegova masa, ocenjeno vertikalno in horizontalno hitrost padajočega bloka ter nadmorsko višino lokacije odloma. Program poda rezultate v obliki grafičnega prikaza ovojníc trajektorij gibanja po izhodiščnem dvodimenzionalnem profilu in prikaže statistične rezultate izračuna kinetične, translacijske in rotacijske energije ter odbojno višino in hitrost gibanja za katerokoli izbrano točko na profilu v obliki grafov in histogramov. Za obravnavano območje so bile s pomočjo programa RocFall izvedene simulacije za območja z dokumentiranimi padlimi bloki in za potencialno ogrožena območja (PETERNEL, 2010). Na osnovi rezultatov simulacij smo podali predlog zaščite s podajnimi zaščitnimi ograjami.

Rezultati in razprava

Simulacija za območje z dokumentiranim padcem bloka

Predstavljamo simulacijo, ki je bila izvedena na območju dokumentiranega padca prvega bloka z dimenzijami $1,5 \times 1,3 \times 1 \text{ m}^3$. Tu poteka profil od nadmorske višine 355 m n.m. , do nadmorske višine 205 m n.m. (slika 5). Višinska razlika znaša 150 m . Na podlagi geometrije pobočja in terenskih podatkov je dani profil razdeljen na tri odseke, ki se med seboj razlikujejo po naklonu ter po lastnostih pobočja, ki so bile določene s povratno analizo.

Prvi obravnavani odsek se nahaja med nadmorskima višinama 335 m n.m. , do 305 m n.m. z naklonom 45° in je sestavljen iz nizkih subvertikalnih sten. Teren pa je pokrit z izpadlimi kamninskimi bloki, gruči in z organskim materialom. Za dru-



Slika 5. Profil trase dokumentiranega padlega bloka
Figure 5. Profile with the route of the fallen block

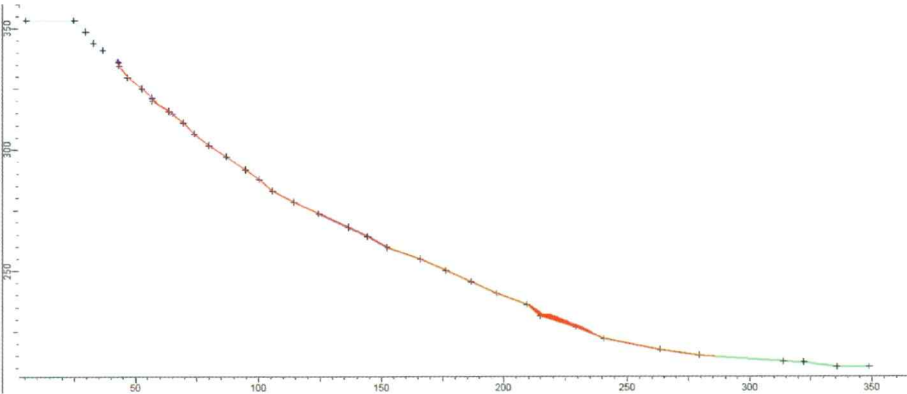
gi odsek smo upoštevali del med 305 m n.m. in 255 m n.m. z naklonom 31°. Na obravnavanem delu je pas melišča, ki najverjetneje upočasnjuje hitrost in energijo padlih kamninskih gmot, zato je na tem delu višji kotalni upor. Zadnji izbrani odsek poteka od višine 255 m n.m., do najnižje točke profila na nadmorski višini 205 m. Naklon odseka znaša 16°. Ta del pobočja je popolnoma neporaščen in brez gruča, zato je na tem delu kotalni upor najnižji. Privzeti vhodni podatki za blok so sledeči: ocenjena masa znaša 4860 kg, horizontalna hitrost 1,5 m/s in vertikalna hitrost 0,5 m/s.

V preglednici 1 so prikazane lastnosti pobočja, določene na podlagi povratne analize.

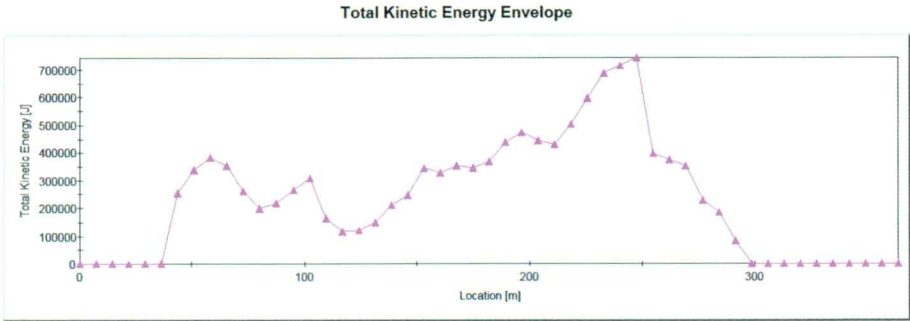
Preglednica 1. Lastnosti pobočja na območju dokumentiranega padca bloka

	Prvi odsek	Drugi odsek	Tretji odsek
odbojni koeficient R_n	0,3	0,32	0,35
tangencialni odbojni koeficient R_t	0,85	0,8	0,81
kot trenja Φ	15	25	10

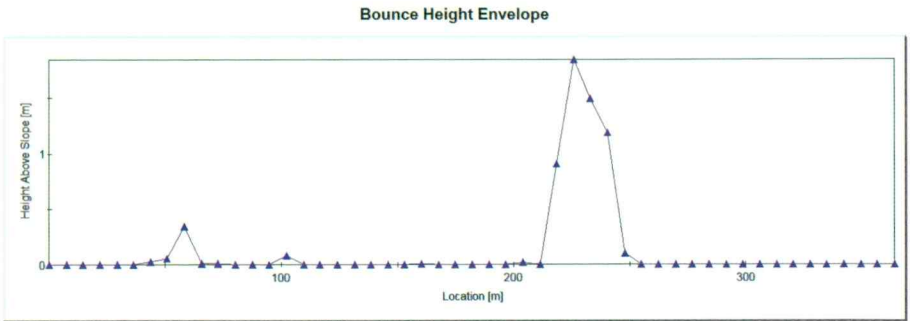
Rezultat simulacije je grafični prikaz trajektorij gibanja padlega dokumentiranega bloka (slika 6), kjer so z rdečo barvo prikazane možne poti



Slika 6. Grafični prikaz trajektorij gibanja dokumentiranega bloka v programu RocFall
Figure 6. Diagram of movement trajectories of the block drawn with the RocFall software



Slika 7. Graf kinetične energije bloka
Figure 7. Graph showing kinetic energy of the block



Slika 8. Graf odbojne višine bloka
Figure 8. Graph showing repulsion height of the block

gibanja padajočega bloka. Iz slike 6 je razviden skok bloka na »smučarski skakalnici« na nadmorski višini 230 m.

Izračuna simulacije, prikazana v obliki grafa kinetične energije in odbojne višine kažeta, da najvišjo vrednost kinetične energije ter odbojne višine blok doseže na nadmorski višini 230 m n.m., kjer je pobočje oblikovano v »smučarsko skakalnico«. Na tem delu blok doseže vrednost kinetične energije do 700 kJ (slika 7) in odbojno višino 1,75 m (slika 8). Najnižje vrednosti kinetične energije in odbojne višine so v zgornjem delu pobočja, kjer je zaradi poraščenosti in z gručem pokritega terena, relativno visok kotalni upor.

Simulacija padanja potencialnih blokov

Naslednji primer simulacije je bil izveden na potencialno ogroženemu območju. Potencialno ogrožena območja so bila določena na podlagi terenskega ogleda, kjer smo na izvornem območju padanja podornih blokov določili lokacije in dimenzije labilnih podornih blokov. Simulacija je bila izvedena za blok dimenzije 3 x 3 x 0,75 m³, ki se nahaja na nadmorski višini 335 m n.m. in ogroža stanovanjsko hišo, katero je v preteklosti

padajoči blok že poškodoval. V tem primeru nas je predvsem zanimalo s kakšno kinetično energijo bi udaril blok v ogrožen stanovanjski objekt in ali bi lahko odbojna ograja, ki je postavljena na nadmorski višini 245 m n.m., zadržala padajoči blok.

Iz spodnjega histograma je razvidno, da postavljena odbojna ograja ne bi zadržala niti enega bloka, saj bi se 60 % primerov zaustavilo šele ob trku v stanovanjsko hišo, medtem ko bi se ostali zaustavili na pasu melišča, kjer je visok kotalni upor (slika 9).

V primeru trka kamninskega bloka v stanovanjsko hišo, ki je v preteklosti že bila poškodovana, bi kinetična energija lahko dosegla vrednost 584 kJ (slika 10).

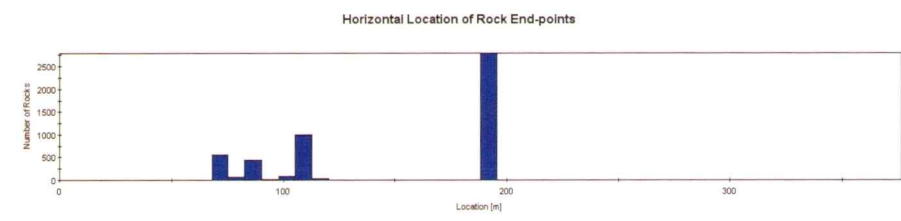
Karta ogroženosti

Na osnovi detajlnega terenskega pregleda, inženirsko-geološkega kartiranja, morfologije terena in nemih prič ter analize s programom RocFall

smo za obravnavano območje izdelali karto ogroženosti, ki prikazuje stopnjo nevarnosti nastanka podorov in padanja kamnov (PETERNEL, 2010). Pri kategorizaciji ogroženosti smo upoštevali tudi stalno in občasno naseljenost objektov.

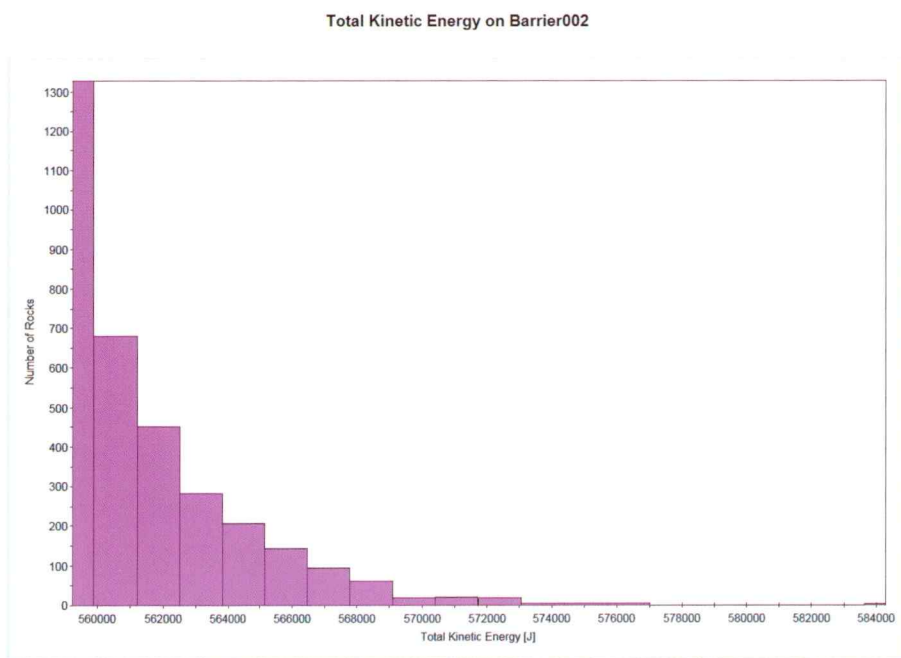
Karta ogroženosti izvorno območje deli na območja nestabilnih, labilnih in potencialno labilnih blokov, medtem ko obravnavano območje deli na območja z veliko, srednjo ter majhno ogroženostjo in na neogrožena območja (slika 11).

Območja z visoko ogroženostjo so območja s strmim pobočjem, kjer obstaja največja nevarnost padajočega kamena. Na tem območju so v preteklosti že bili dokumentirani padci kamninskih blokov, ki so poškodovali stanovanjske objekte. Srednje ogrožena območja so območja s strmim terenom in z labilnimi bloki. Labilnost kamninskih blokov je pogojena z nenadnimi spremembami, ki povzročijo, da srednje labilni bloki zdrsijo po pobočju navzdol. Območja z majhno ogroženostjo imajo manjši nagib terena in majhno število labilnih blokov.



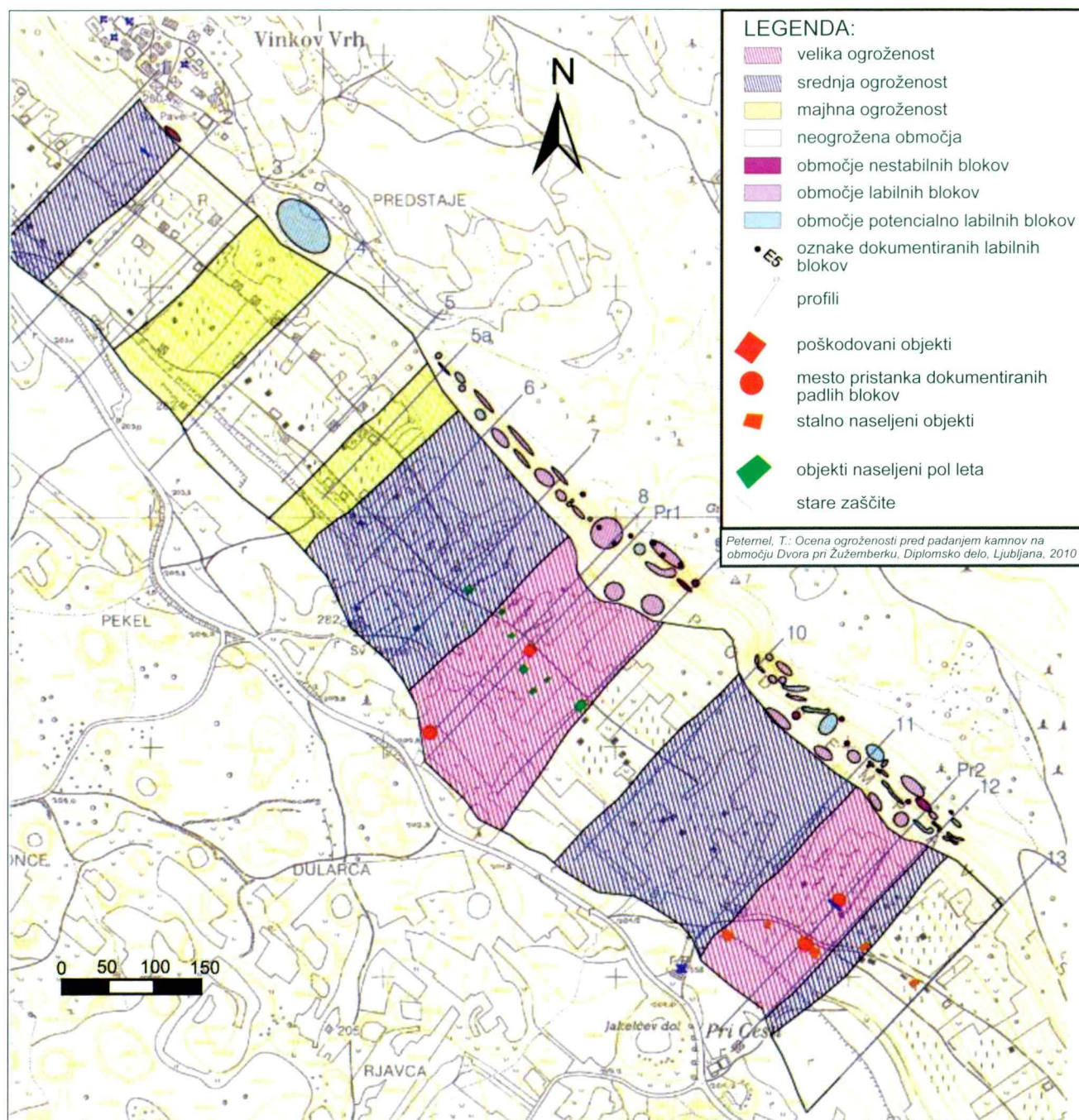
Slika 9. Histogram lokacij, kjer se zaustavi kamninski blok

Figure 9. Histogram showing locations at which the block stops



Slika 10. Histogram vrednosti kinetične energije ob udarcu v hišo

Figure 10. Histogram showing kinetic energy values at a time of collision with the house



Slika 11. Karta ogroženosti za obravnavano območje
Figure 11. Rock fall hazard map of the studied area

Zaključki

Tako obsežna potencialna območja podorov, kot je obravnavano, so na Dolenjskem redka. Naselje pod Podšempavelsko goro je že vrsto let ogroženo zaradi padanja kamnov in kamninskih blokov. Nahaja se v prelomni coni Žužemberškega preloma, kjer so karbonatne kamnine zaradi preloma tektonsko močno poškodovane, to pa povzroča njihovo hitro erodiranje in razpadanje. Obstoje različnih sistemov diskontinuitet in njihova neugodna medsebojna povezanost (subhorizontalna plastnatost, subvertikalne razpoke) nakazujejo veliko verjetnost proženja kamenja in blokov tudi v bodoče. Večje število nestabilnih oz. pogojno sta-

bilnih blokov na grebenu predstavlja neposredno nevarnost za spodaj živeče ljudi in objekte.

V prispevku predstavljamo pomembnost prepoznavanja potencialnega območja podorov, presoje nevarnosti in določitve stopnje potencialne ogroženosti. S pomočjo teh podatkov smo predvideli preventivne in sanacijske ukrepe, s katerimi se preprečijo posledice sprožitve podornih blokov.

Literatura:

ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2007:
Potresi v letu 2005 (zbornik).

- splet:<http://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/potresi%20v%20letu%202005.pdf>
- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2009: Potresi v letu 2008 (zbornik).
- splet:<http://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Potresi%20v%20letu%202008.pdf>
- BUSER, S. 1974: OGK v M 1: 100 000, Tolmač za list Ribnica. 1-60, Beograd.
- ČARMAN, M. 2009: Inženirsko-geološko poročilo o pregledu skalnega podora Stara gora pri Dvoru (občina Žužemberk). 20 str. + priloge. Neobjavljeno poročilo, arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje, 2006: Ocena potresne ogroženosti Republike Slovenije. Verzija 1.0. Ljubljana.
- splet: http://sos112.si/slo/tdocs/ogrozenost_potres.pdf
- PETERNEL, T. 2010: Ocena ogroženosti pred padanjem kamnov na območju Dvora pri Žužemberku. Diplomsko delo, NTF, Univerza v Ljubljani (Ljubljana): 1-54 str. + priloge.
- VIDRIH, R. & RIBIČIČ, M. 1999: Porušitve naravnega ravnotežja v hribinah ob potresu v Posočju 12. aprila 1998 in Evropska makroseizmična lestvica (EMS-98), Geologija (Ljubljana) 41: 365-410.