GEOLOGIJA *41*, 365–410 (1998), Ljubljana 1999
https://doi.org/10.5474/geologija.1998.019

Porušitve naravnega ravnotežja v hribinah ob potresu v Posočju 12. aprila 1998 in Evropska makroseizmična lestvica (EMS-98)

Slope Failure Effects in Rocks at Earthquake - Posočje April, 12. 1998 and European Macroseismic Scale (EMS-98)

Renato Vidrih
Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko
Kersnikova 3, 1000 Ljubljana

Mihael Ribičič
Gradbeni inštitut ZRMK
Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

Ključne besede: potres, intenziteta, potresna lestvica, hribinski podor, hribinski zdrs, mehanika hribin, EMS, Posočje
Key words: earthquake, intensity, intensity scale, damage, rock fall, slope failure, rock mechanics, EMS, Posočje

Kratka vsebina

Najmočnejši potres 20. stoletja z epicentrom na ozemlju Slovenije je nastal 12. aprila 1998 v Zgornjem Posočju. Njegova magnituda je bila 5.8, največji učinki pa so dosegli med VII. in VIII. stopnjo po EMS lestvici. Žarišče potresa je nastalo v zemeljski skorji na območju med dolino Lepene in Krnskim pogorjem, v globini okoli 9 km (preliminarni podatki). Potres je poleg velike gmotne škode povzročil tudi precejšnje spremembe v naravi, saj so nastali številni hribinski podori in zdrsi, ki so ponekod popolnoma uničili planinske poti.

Za določitev največje stopnje potresnih učinkov je poleg odziva ljudi in njihove okolice, učinkov na predmete, poškodb zgradb, potrebno poznati tudi učinke v naravi. Prav to naju je navedlo, da sva skušala primerjati učinke potresa na zgradbah in v naravi, kjer je bilo to mogoče. Na podlagi tega sva skušala natančneje ovrednotiti poškodbe v naravi, ki jih evropska potresna lestvica obravnava zelo posplošeno.

Prav spremembe v naravi so omogočile zanesljivejšo določitev makroseizmičnega epicentra in intenzitete potresa. Učinke med VII. in VIII. stopnjo po EMS je potres dosegel v Mali vasi v Bovcu in v vaseh Spodnje Drežniške Ravne in Magozd. Z enako stopnjo pa sva ocenila poškodbe v naravi na Krnu, koti 1776, Javorščku, grebenu Krnčice, območju ob strugi reke Tolminke med njenim izvirom in planino Polog, v gorah nad dolino Lepene - Lemež, Šija.

Evropska potresna lestvica je pri višjih stopnjah (VI in več) narejena skoraj izključno glede na poškodbe na zgradbah. V redko naseljenih krajih, kot je primer območje, ki ga je zajel potres dne 12.4.1998, kjer so poseljene le doline, v alpskem svetu pa so le planšarije, lovske koče, planinske koče in posamezne visokogorske kmetije, je uporaba te lestvice otežena in negotova. Pojavlja se vprašanje ali ne bi

bilo mogoče dobiti bolj zanesljive ocene intenzitete potresa, če bi v presoji upoštevali tudi porušitve naravnega ravnotežja, kot so npr. hribinski podori in zdrsi. Vsak dodaten podatek v takih primerih, če ga seveda pravilno interpretiramo, lahko prinese povečanje zanesljivosti ocene intenzitete potresa. Da pa bi lahko porušitve naravnega ravnotežja, kot del seizmogeoloških pojavov, uporabili v ta namen, je treba izvesti primerjavo s poškodbami na zgradbah, kjer je to mogoče in nato ugotovitve razširiti na celotno obravnavano območje.

Za vključitev naravnih seizmogeoloških pojavov pri izdelavi makroseizmičnih lestvic lahko uporabimo več pristopov. Prvi pristop je, da vključimo v originalno lestvico tudi opis opredelitve stopenj intenzitete seizmogeoloških pojavov, kot so porušitve naravnega ravnotežja. Drugi je, da se Aneks C pri EMS lestvici, ki obravnava seizmo-geološke pojave, bolj podrobno opredeli. Pri tem upoštevamo v zadnjem času pridobljeno strokovno znanje iz mehanike hribin in iz prostorskih analiz, opravljenih z GIS orodji, ki določujejo ranljivost terena, glede na pojave naravnega porušenja ravnotežja. Zadnja možnost je izdelava ločene lestvice za seizmogeološke pojave, ki je z Evropsko makroseizmično lestvico povezana le preko primerjalnih tabel.

Analize posledic v naravi, ki so se zgodile ob potresu v Posočju kažejo, da bi bilo smiselno usmeriti strokovne napore tudi v vključitev posledic potresa v naravi v sistematično ovrednotenje intenzitete potresa.

Abstract

On 12 April, 1998, the strongest earthquake of the 20th century with an epicentre in Slovenia shook the upper Posočje. Its magnitude was 5.8 and its maximum intensity was between the VII and VIII levels according to EMS. The epicentre was in the lithosphere in the area between the Lepena valley and the Krn Mountain Range, about 9 km deep. Apart from substantial material damage, the earthquake caused considerable changes in the environment, as there were many rockfalls and landslides which in some areas completely destroyed mountain paths.

To assess the full effects of an earthquake, one must, besides the reaction of people and their surroundings, the impact on property and damage to buildings, also identify the effects felt in nature. This is why we try to compare earthquake effects on buildings and on nature wherever possible. On this basis, we try to more precisely assess the damage caused to nature which the European Macroseismic Scale (EMS) treats very generally.

It is the changes in nature that provide a more reliable definition of macroseismic epicentre and earthquake intensity. The effects between the VII and VIII EMS were felt in Mala vas in Bovec and the villages Spodnje Drežniške Ravne and Magozd. The same level was ascribed to damage to Krn, at the height of 1776 metres, Javorščeк, the Krnčica ridge, in the area along the Tolminka river between its source and the Polog mountain and in the mountains above the Lepena valley - Lemež, Šija.

For higher levels (VI and above), the European Macroseismic Scale almost exclusively takes the damage caused to buildings into account. In sparsely inhabited areas, as is the area stricken by the earthquake on 12 April, 1998 where only the valleys are inhabited, whilst in the alpine parts there are only alpine dairy farms, hunting lodges, mountain huts and individual mountain farms, use of this scale is difficult and unreliable. The question arises whether assessment of an earthquakeís intensity would not be more precise if it took into account the loss of the natural equilibrium in the form of rockfalls and landslides. Such additional information, if interpreted correctly, can increase the reliability of an earthquakeís intensity assessment. To enable consideration of loss of the natural equilibrium as part of seismological phenomena, a comparison with damage to buildings must be made where possible and the findings extended to the entire area in question.

Several approaches are possible to include natural seismological phenomena in the formation of macroseismic scales. According to the first approach, a description of seismological phenomena (like the loss of natural equilibrium) is gradually included in the description of intensity levels, i.e. in the original scale. According to the second approach, Annex C of the EMS treating seismological phenomena is defined more precisely, taking into account the recently gained expert knowledge regarding rock mechanics and spatial analyses made using GIS technology concerning an areaís vulnerability which is reflected in the loss of natural equilibrium. The third and most recent approach is to create a separate scale for seismological phe-

nomena linked only to the European Macroseismic Scale through comparative tables.

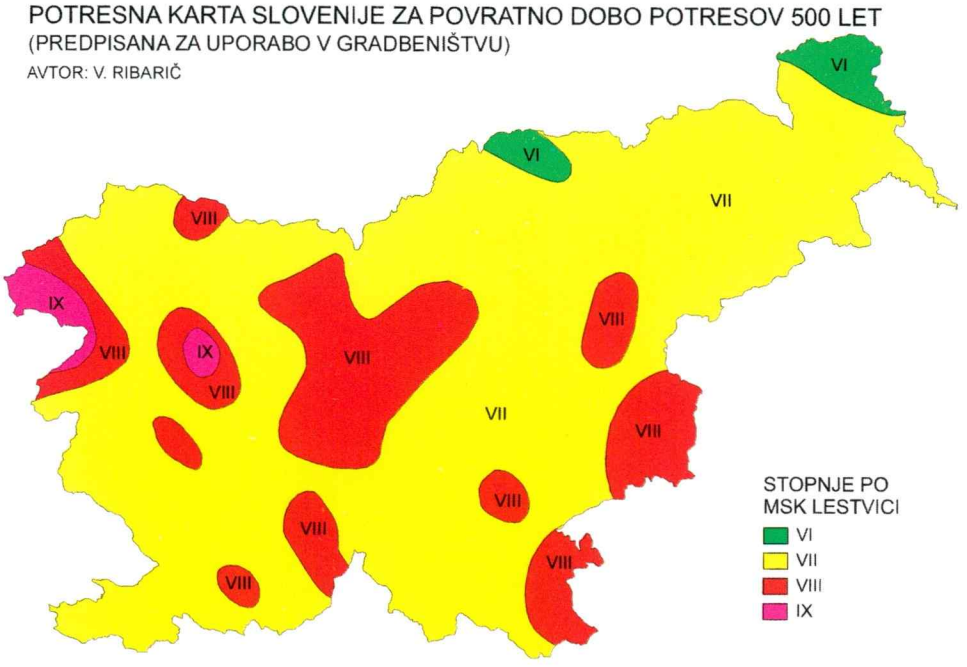
Analyses of the damage caused to nature by the Posočje earthquake show that it would be useful to direct expert efforts towards including the earthquakeís impact on nature in the systematic assessment of earthquake intensity.

Uvod

Območje severozahodne Slovenije spada med potresno najdejavnejše predele Slovenije, saj so tu možni potresi do IX. stopnje po EMS lestvici (Ribarič, 1987), (sl. 1). Glavni razlog za nastanek tovrstnih potresov so premiki velikih tektonskih plošč. Za potresno dejavnost našega ozemlja sta ključni afriška in evrazijska plošča. Afriška plošča pritiska na evrazijsko, kar je v geološki zgodovini povzročilo dvig alpskega gorovja. Med obema velikima ploščama je manjša jadranska plošča, na obrobju katere leži slovenski prostor. Geološke strukture našega ozemlja povzročajo, da je celotno ozemlje naše domovine potresno nevarno in ogroženo. Epicentralno območje potresa 12. aprila je prav na stičišču narivnih struktur Alp in Dinaridov. Alpe potekajo v smeri vzhod-zahod in so narinjene od severa proti jugu na dinarske strukture, ki potekajo v smeri severozahod-jugovzhod. Žarišče potresa je po vsej verjetnosti nastalo ob prelomu, ki se vleče v dinarski smeri in poteka od Rombona, severovzhodno od Bovca, med Krnom in Bogatinom in dalje čez Tolminske Ravne proti Cerkljanskemu. Nekateri avtorji ga po Knežjih Ravnah imenujejo ravnikarski prelom (B u s e r, 1986). Na to kažejo tudi poškodbe objektov in poškodbe v naravi, ki so največje v dinarski smeri, severozahod-jugovzhod. Cona največjih poškodb se vleče v pasu od Bovca, Kal-Koritnice, doline Lepene, Magozda, Spodnjih in Zgornjih Drežniških Raven, Jezerce in do vasi Krn (V i d r i h & G o d e c, 1998). Pas z največjimi spremembami v naravi pa poteka od Bovca (manjši podori), po jugozahodnih grebenih, ki se dvigujejo nad dolino Lepene, Krnskem pogorju, do izvira Tolminke in planine Polog nad Tolminom (R i b i č i č & V i d r i h, 1998). Največ poškodovanih pomnikov I. svetovne vojne je bilo nad dolino Lepene in na Krnskem gorovju (V i d r i h & O v č a k, 1998).

Splošno o potresu

Potres 12. aprila so čutili prebivalci celotne Slovenije in prebivalci nekaterih predelov devetih sosednjih držav: Hrvaške, Bosne in Hercegovine, Madžarske, Avstrije, Švice, Italije, Slovaške, Češke in Nemčije. Izračunani koordinati epicentra sta 46,320 severne zemljepisne širine in 13,662 vzhodne zemljepisne dolžine. Potres je nastal ob 10:55 UTC (svetovni čas) ali ob 12. uri in 55 minut po lokalnem času, ravno v času velikonočnega kosila. Zato je bila panika med prebivalstvom še večja, saj je bila večina ljudi doma. Po glavnem potresu so sodelavci Uprave RS za geofiziko na epicentralnem območju postavili najprej tri, kasneje pet in končno šest terenskih opazovalnic, ki so v prvih 20-tih urah po glavnem potresu zaznale več kot 400 popotresnih sunkov, v naslednjih mesecih pa več kot 7000. Najmočnejši popotresni sunek je nastal 6. maja ob 2. uri in 52 minut UTC in je imel magnitudo 4.2, kar pomeni, da je bil približno 200× šibkejši od glavnega (B ä t h, 1973). Globine žarišč popotresnih sunkov so bile različne, pa tudi izračunani epicentri so nastajali vzdolž preloma v dolžini večji od 10 km. Natančnejše obdelave seizmičnih podatkov bodo potekale še v prihodnje.



Sl. 1. Potresna karta Slovenije za povratno dobo potresov 500 let. Karta je predpisana za uporabo v gradbeništvu. Avtor: V. R i b a r i č, 1987. Glede na to karto spada osrednji del Posočja v VIII. stopnjo po MSK lestvici, posamezni predeli ob meji z Italijo pa v IX. stopnjo (stopnje MSK so primerljive s stopnjami EMS lestvice).

Fig. 1. Seismic map of Slovenia for the return earthquake period of the last 500 years. This seismic map is the official map used for earthquake-resistent building in Slovenia. Author: V. R i b a r i č, 1987. According to this map, the central part of upper Posočje (the Bovec basin) is classified at VIII MSK and the region near the border at the ninth level (degrees of MSK is similar to EMS).

Preglednica 1. Najmočnejši popotresni sunki po potresu v nedeljo, 12.4.1998 ob 10:55 (UTC) z M≥3.0.

Table 1. The strongest aftershocks after main shock in Sunday, April, 12. 1998 10:55 (UTC) with M≥3.0

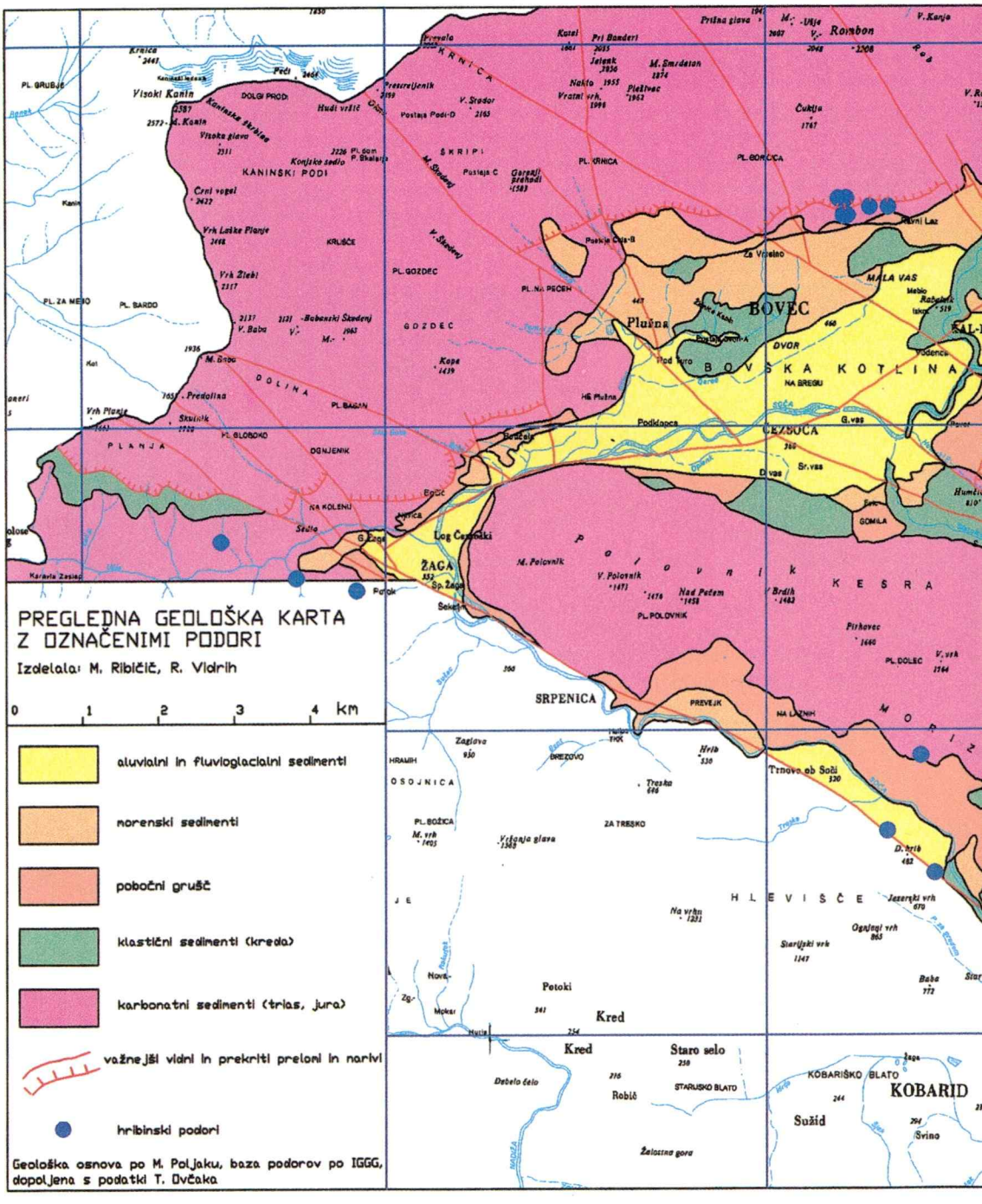
DATUM	ČAS (UTC)	N	E	M
12.04.1998	10:55	46,320	13,662	5.8
12.04.1998	13:35	46,262	13,557	3.2
12.04.1998	16:15	46,314	13,594	3.0
12.04.1998	22:13	46,317	13,628	3.2
15.04.1998	19:40	46,284	13,720	3.4
15.04.1998	22:42	46,320	13,647	3.1
06.05.1998	02:52	46,299	13,705	4.2
11.05.1998	23:30	46,294	13,723	3.2
13.05.1998	01:58	46,294	13,720	3.1
10.06.1998	23:32	46,318	13,638	3.2
30.08.1998	01:18	46,251	13,684	3.1
24.11.1998	13:49	46,235	13,664	3.4

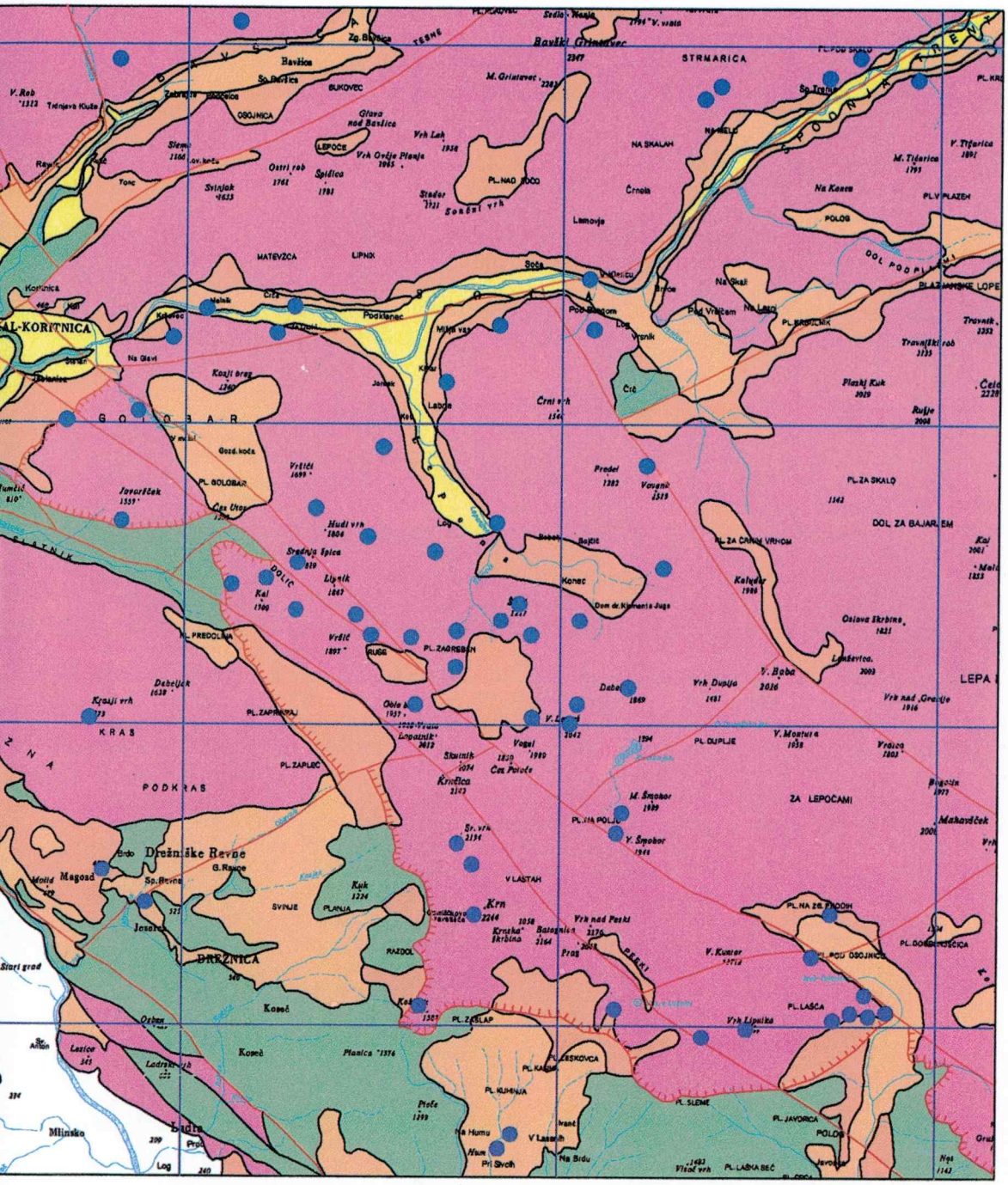
Geološka zgradba ozemlja in potres

Lokalna geološka sestava tal lahko zelo vpliva na učinke potresa. V slabih tleh se lahko učinki na zgradbe povečajo za celo stopnjo ali več (V i d r i h, 1998). Širše epicentralno območje potresa v Posočju 12. aprila 1998 je zgrajeno iz karbonatnih kamnin, predvsem apnencev in dolomitov, ki predstavljajo v seizmogeološkem smislu dobra tla (sl. 2). Najslabšo podlago gradijo nanosi rek, potokov in ledenikov ter pobočni grušči. Nanosi reke Soče in pritokov gradijo terase, ki jih sestavljajo prod, pesek in redkeje konglomerat (V i d r i h et al., 1991). Razprostranjenost poškodb je to sliko potrdila, saj so bile vse večje poškodbe prav v slabih tleh (R i b i č i č & Vidrih, 1998). Največje učinke na zgradbah je potres dosegel v Mali vasi v Bovcu in vaseh Spodnje Drežniške Ravne, Magozd, Lepena ter na planini Polog, kjer smo ocenili učinke med VII. in VIII. stopnjo po EMS lestvici. Nekoliko manjši pa so bili učinki v Kalu - Koritnici, Zgornjih Drežniških Ravnah, Jezerci, Krnu, Tolminskih Ravnah itd., kjer smo ocenili učinke na VII. stopnjo po MSK (EMS) lestvici. Največje učinke v naravi (VII.-VIII. stopnje po EMS-98 lestvici) pa je potres dosegel v dolini Lepene, na jugozahodnih pobočjih Krna, Krnčici, Javoršču, koti 1776, Šiji, Lemežu, izviru Tolminke - na planini Osojnica itd. Nastanek številnih hribinskih podorov in zdrsov, ki so spremenili naravo, je posledica hribovitega alpskega sveta in pojavov nestabilnosti v njem. Večina teh podorov bi nastala prej ali slej, vendar je potresni sunek pospešil geološka dogajanja v naravi. Procesi, ki bi lahko potekali več sto let so se zgodili v „trenutku".

Zadnji potres je med prebivalstvom obudil spomine na katastrofo, ki jih je doletela leta 1976 (R i b a r i č, 1980). Tudi takrat na srečo v Sloveniji ni bilo smrtnih žrtev (v Italiji 987), nastala pa je ogromna gmotna škoda. Majski in septembrski potresi so povzročili v Sloveniji največ škode v Breginjskem kotu in Posočju. Glavna potresna sunka sta bila 6. maja zvečer z magnitudo 6,5 in 15. septembra dopoldne z magnitudo 6,1. Na epicentralnem območju v Furlaniji je prvi dosegel učinke med IX. in X. stopnjo po EMS lestvici (ponekod celo X. stopnje), drugi pa IX. stopnjo. V Sloveniji so bili največji učinki VIII. stopnje v Breginjskem kotu, med VII. in VIII. stopnjo je dosegel v Kobaridu, v Tolminu VII., v Bohinjskem kotu pa med VI. in VII. stopnjo. V vaseh Breginj, Smast, Ladra, Trnovo in Srpenica je ostalo brez strehe nad glavo več kot 80% prebivalcev. Skoraj v celoti je bila porušena vas Podbela. V vaseh Volarje, Borjana, Čezsoča in Žaga je ostalo brez strehe nad glavo med 50% in 80% ljudi. V Idrskem, Kredi, Kobaridu, Kamnem, Orehku, Bukovem in Kojskem pa med 30% in 50%. Ob obeh serijah potresov je bilo poškodovanih več kot 12000 objektov, od tega 4000 popolnoma porušenih ali pa jih je bilo treba naknadno porušiti.

Te podatke navajava zaradi primerjave z zadnjim potresom dne 12. 4. 1998, ki je zajel predvsem bolj vzhodno ležeče kraje na Bovškem, Kobariškem in Tolminskem. Potrese leta 1976 so prebivalci čutili kot nihanje, medtem ko je sunek 12. aprila določene vasi dobesedno dvignil. Žarišče potresa je nastalo pod temi kraji, zato so potresni valovi do hiš pripotovali naravnost navzgor. To dokazujejo tako poškodbe na zgradbah, kot tudi poškodbe v naravi. V dolini Lepene in na Krnskem gorovju je potresni sunek prosto ležeče skale dvignil, ob padcu na tla pa so se nekatere premaknile, preklale ali zdrsele po pobočju navzdol.


PREGLEDNA GEOLOŠKA KARTA
Z OZNAČENIMI PODORI
Izdelala: M. Ribičič, R. Vidrih
0 1 2 3 4 km
aluvialni in fluvioglacialni sedimenti
morenski sedimenti
pobočni grušč
klastični sedimenti (kreda)
karbonatni sedimenti (trias, jura)
važnejši vidni in prekriti preloni in narivi
hribinski podori
Geološka osnova po M. Poljaku, baza podorov po IGGG, dopoljena s podatki T. Ovčaka
KANINSKI PODI
BOVEC
BOVŠKA KOTLINA
ŽAGA
SRPENICA
KOBARID
Kred
Staro selo


STRMARICA
Bavški Grintavec
Bavšica
Sp. Bavšica
BUKOVEC
OSOJNICA
LEPOŠČE
Soča
MATEVŽCA
LIPNIK
Podklanec
Log
Lož
Ladja
Kozji brog
Hudi vrh
Srednja Ipica
Ljunik
Kal
DOLIC
GOLOBAR
PL. GOLOBAR
PL. PREDOLINA
PL. ZAGRESBIN
PL. ZAPRIHOJAJ
PL. ZAPLEČ
KRAS
PODKRAS
Debeljak
Krajji vrh
Obla
Lopatnik
Skalnik
Vogel
Cez Polote
Kriščica
Sr. vrh
V LASTAH
Krn
Kuk
SVINJE
PLANJA
RAZDOL
Drežniške Ravne
G. Ravne
Sp. Ravne
Magozd
Jesenca
DREŽNICA
Kosec
Planica
PL. ZASLAP
PL. KUHINJA
Pleše
Na Humu
Hum
Pri Sivih
V Lasnih
Na Bidu
Mlinsko
Log
Lasice
Ladrnik vrh
Ozbot
Sv. Anton
Vrh Lipnika
PL. LAŠČA
PL. LEŠKOVCA
PL. SLEME
PL. JAVORICA
POLOG
PL. LAŠKA BEČ
Vlaški vrh
Nos
Grad
Vrh nad Peski
Batognica
Kranska Skrbina
Prag
V. Kumar
PL. NA ZE. PRODIH
PL. POD OSOJNICO
PL. DOBRNOŠČICA
PL. JIŠA POLJE
M. Šmohor
Y. Šmohor
PL. DUPLJE
Vrh Dupljo
Dabe
V. Babe
Lanšerica
Kalcedor
Konec
Dom dr. Klementa Juga
PL. ZA ČRNIM VRHOM
DOL ZA BAJARJEM
PL. ZA SKALO
Vouganc
Prodel
Bajdt
Bajdt
Osiova Skrbina
Vrh nad „Gradje
LEPA
ZA LEPOČAMI
Mahavdček
Vrčica
Rogozin
Rujje
Planjek
Travnik
Travniški rob
Plaski Kuk
Čelo
Črni vrh
Črt
Na Skalah
Na Lazu
Pod Vrčičem
Na Kosem
POLOG
Lanovje
Črnola
NA SKALAH
Sedlo Nanja
Sedlo
Sončni vrh
Stador
Spičica
Ostri rob
Svinjak
Vrh Ovčje Planje
Vrh Lak
Glava nad Bavšico
Zg. Bavšica
Tolmačnik
Tolmačnica
Tolmačnica
Tolmačnica

Spremembe v naravi ob potresu

Najmočnejši potres tega stoletja na Slovenskem je poleg velike gmotne škode na zgradbah povzročil tudi izredno veliko število pojavov nestabilnosti terena. Raznolikost teh pojavov je pomembna tako za strokovnjake, kot tudi za laične opazovalce narave. Kljub temu, da smo ljudje ob naravnih nesrečah pozorni bolj nase in na škodo, ki nam je povzročena, moramo gledati na te pojave tudi daljnoročno. Podori, ki so zgrmeli po pobočjih so ponekod dosegli doline, ponekod jih je ustavil gozd, ponekod pa so obviseli v labilnem položaju. Ko se sprehajamo po terenu lahko opazujemo skale, ki grozeče lebdijo nad planinskimi potmi in čakajo... Morda zima, morda popotresni sunek in zgrmele bodo v dolino.

Ljudje, ki živijo v bližini nastalih hribinskih podorov in zdrsov tudi danes, še mesece po potresu poročajo o hrupu in padanju skal ob popotresnih sunkih, močnih deževjih in vetrovih.

Najzanimivejši pojavi v naravi

Na kratko preletimo najznačilnejše pojave, ki so nastali v dolini Lepene, od podorov iz Lemeža, Šije, kote 1776, ob potoku Šumniku, podore iz Osojnice ob izviru Tolminke ter podore iz Krnčice in Krna (R i b i č i č & V i d r i h, 1998). Vsak izmed pojavov plazenja ima svoje značilnosti, ki omogočajo geologom proučevanje nestabilnosti terena. Tovrstni pojavi so dolgotrajni in se zelo redko zgodijo v življenju geologa, zato jih spremlja z večjim spoštovanjem, saj mu omogočajo večje poznavanje in mu lahko služijo kot osnova za poznavanje takih dogodkov v bodočnosti. S temi spoznanji lahko lažje svetuje ljudem k bolj premišljenemu poseganju človeka v naravo.

Podori, ki so spremenili videz jugozahodnega dela Krna so nastali ob zelo razpokanih kamninah, kjer je prihajalo do zdrsov po različnih sistemih razpok. Štirinajst dni po glavnem potresu je kamenje še vedno padalo v dolino in povzročalo strašljiv hrup. Podor na grebenu Krnčice je razdejal obzidja italijanskih vojaških frontnih linij, v tleh pa je nastala razpoka v dolžini več sto metrov, širine okoli 20 cm. Gre za razpoko, ki je posledica hribinskega plazenja.

V dolini Lepene se je sprožil kamninski tok. Kamninski tok z levega pobočja Lepene je nastal, ko se je v strmi grapi odloženo kamenje ob potresu sprožilo in se začelo valiti po njej navzdol. Pri tem so se skale in kamni povprečnih dimenzij od nekaj decimetrov do nekaj centimetrov, začeli mešati s snegom, ki je tudi zapolnjeval grapo v debeli plasti. Vedno hitreje kotaleča in drseča masa snega in blokov kamnin je v nižjih delih grape, ko se je že bližala dolini Lepene, začela s terena posnemati tudi glinaste in meljaste gruščnate zemljine, ki so bile odložene v nekaj metrov debelih plasteh. Iz zmešanega snega, grušča, kamnov in skal je nastala blatna masa, ki se je po padcu iz grape razlila po dolini. Pri tem je ob premikanju po travnatih dolinskih bregovih hitro izgubljala vodo in s tem postajala vedno gostejša, ter s tem počasneje

Sl. 2. Splošna geološka zgradba Posočja z vrisanimi hribinskimi podori (geološka podlaga 1: 25 000, avtor M. Poljak, 1998).

Fig. 2. Generalised geological structure of Posočje with marked rockfalls (Geological map 1 : 25 000, author M. Poljak, 1998).

tekoča. Ko se je kamninski blatni tok ustavil, je iz njega odtekla še preostala voda in ostal je trd gost zemljinski in kamninski material.

Naprej v dolini Lepene nad kmetijo Na koncu je iz ostrega grebena Šije zgrmel zelo velik in tipičen klinasti zdrs hribin, ki sega od strmega grebena vrha pobočja do navpične previsnice. Klinasti zdrsi so v primerjavi s planarnimi, redek pojav v hribinah. Sestavljen je iz dveh, v smeri nagiba pobočja sekajočih se drsnih ploskev (ena je plastnatost in druga tektonska razpoka) in zgornje nepravilne, skoraj navpično nagnjene odlomne razpoke. Do tako velikega zdrsa hribin je prišlo ob dinamičnih obremenitvah v trenutku potresa, ko je teža klina presegla vezni odpor na navpični razpoki in trenjske odpore na obeh drsnih ploskvah. Klin je drsel do navpične previsnice, se preko nje lomil v velike skalnate bloke, ki so se končno razbili ob padcu na vznožje previsa. Pod klinastim podorom je nastal jezik skalnatega vršaja, ki se končuje v gozdu nad dolino.

Najbolj izrazit pojav ob potresu se je zgodil na koncu doline Lepene. Iz visokih vršacev Lemeža se je ob potresu sprožil velik hribinski podor. Nastal je na območju, kjer je bila hribina močno razpokana. Razpoklinski sistemi so bili zaradi fizikalnega preperevanja, kot je vpliv zmrzali, še dodatno poudarjeni in strižna trdnost ob razpokah zmanjšana. Ob tresljajih potresnih sunkov je prišlo do zdrsa ob spodnji strmo nagnjeni ploskvi plastnatosti apnenčastih skladov in ob dveh skoraj navpičnih razpoklinskih sistemih. Odlomljen material je zdrsel najprej po prvi odlomni ploskvi plastnatosti preko previsa na drugo, od zelo starih podorov in snega zglajeno ploskev skladnatih apnencev. Na desni strani se je odbijal od navpičnih sten, tako da je bil pas padajočega skalovja zelo ozek. Preko zadnjega previsa se je že močno zdrobljen material zrušil na melišče ob dolini. Gladke strmo nagnjene ploskve plastnatosti in vmesni previsi, očiščeni vseh ovir, zaradi pogostih snežnih plazov padajoči gmoti niso nudili nobenih ovir, zato je njena hitrost ob drsenju in padanju iz nadmorske višine preko 2000 m, kjer je nastal podor, pa do doline, dosegla izredno hitrost. Ob končnem udarcu na melišče je nastal strašen hrup, ki se je pridružil hrupu klinastega zdrsa s Šije in hrupu potresa. Skale in kamni so se razbili v manjše drobce in dvignil se je rumen oblak, ki je zatemnil celo dolino Lepene. Temu se je pridružil zračni udar, podoben zračnim udarom, ki nastanejo ob eksplozijah. Orkanski veter zračnega piša je prevrnil vse smreke neposredno pod meliščem in nato v dveh krakih udaril preko smrekovega gozda. Prvi ozek, okoli 15 metrov širok piš je zavel skozi visok smrekov gozd in smrekam odlomil gornji del krošnje ali pa jih je prevrnil. Nastala je ozka, neprehodna „poseka" podrtih dreves, vseh zvrnjenih v isto smer, ki je pričala o izredni moči vetra. Drugi krak piša je sledil strugi potoka, ki izvira izpod melišča, podiral je smreke ob levem bregu in udaril na travnik ob kmetiji. Tu je mogočni sunek vetra dvignil streho lope in jo premaknil za več kot en meter.

Še posebno intenzivno je bilo potresno delovanje na širšem območju v okolici izvira Tolminke. Nastali so številni podori, majhnih do zelo velikih dimenzij. Ti podori večinoma spadajo v zdrse po različnih sistemih razpok ali zdrse v zelo močno razpokani hribini. Za njih je značilno, da so odlomni robovi zelo nepravilni. Nastali so, kjer je bila hribina tektonsko močno pretrta in dolomitizirana.

Poleg hribinskih podorov pa je potres sprožil tudi zemljinska plazenja. Primer za to je zdrs obale Bohinjskega jezera. Najbolj verjeten mehanizem, kako je prišlo do plazenja obale Bohinjskega jezera, ki si ga na osnovi terenskega ogleda predstavljamo je, da med plastmi ledeniških morenskih nanosov in pobočnih gruščev, ki sicer pretežno gradijo jezersko obalo, na mestu zdrsa, v globini nekaj metrov, nastopa vmesna plast drobnozrnatih rahlo odloženih jezerskih sedimentov, prepojenih z vodo.

Zaradi njene nizke strižne odpornosti se je v njej ustvarila drsna ploskev, po kateri je prišlo do zdrsa vseh zgoraj ležečih slojev proti jezeru. Ob tem je nastala navpična razpoka (stopnica), dobro vidna na sliki 25. Toda le s podrobnimi preiskavami sestave tal v globini s pomočjo vrtanja bi bilo mogoče dejansko ugotoviti, kako je nastal zdrs v dolžini 100 m.

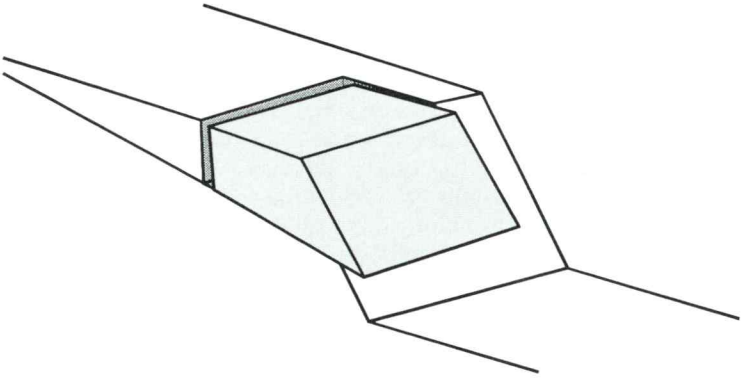
Mehanizem nastanka nestabilnih pojavov v naravi ob potresu

Koliko bodo hribine podvržene zdrsom je bolj odvisno od njihove razpokanosti in značaja razpok, kot pa od geomehanskih lastnosti materiala, iz katerega je hribina zgrajena (H o e k, 1997). Glavne lastnosti razpok, ki določujejo možnost nastanka zdrsa, so naslednje:

- orientacija razpok glede na padnico pobočja,
- število sistemov razpok,
- gostota razpokanosti in velikost blokov,
- prostorski obseg oziroma razširjanje razpok,
- hrapavost in valovitost razpok,
- kohezijska trdnost ob razpoki,
- trdnost sten ob razpokah,
- odprtost in polnitev razpok.

Za razpoko smatramo vsako planarno oslabitev v kamnini, med njimi tudi plastnatost, kalcitne žilice itd.

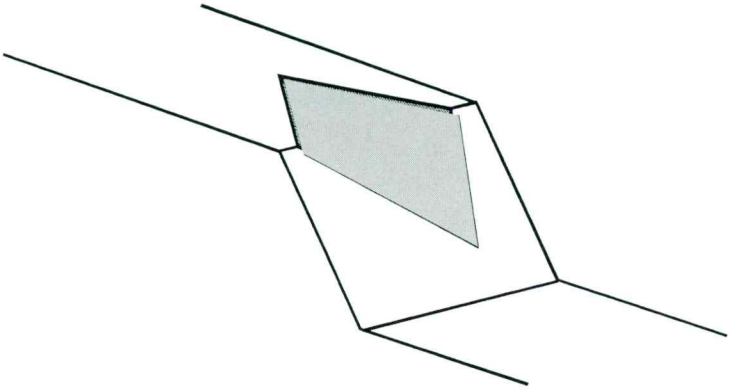
Razpokanost v hribinah je povzročila tektonika, ki poleg velikih prelomov povzroči tudi večjo ali manjšo razpokanost hribin. Hribine, ki gradijo Alpe in so nastale kot morski sedimenti, so se med orogenetsko fazo dvignile v gorovje. Tektonski procesi so pri dvigovanju in narinjanju kamninskih gmot hribino poškodovali. V njej so tako nastali razpoklinski sistemi med seboj sekajočih se vzporednih razpok, ki hribinsko maso razkosavajo v različno velike bloke. Za naš alpski svet je značilno, da imamo ponavadi tri med seboj skoraj pravokotne razpoklinske sisteme s povprečno



Sl. 3. Hribinski planarni zdrs ob razpoki ali ob plastnatosti apnenca, nagnjeni v smeri brežine.

Fig. 3. Planar rockslide along a crack or at bedding of limestone inclined in the direction of the slope.

velikostjo blokov od enega decimetra do pol metra. En sistem diskontinuitet v hribinah ponavadi predstavlja plastnatost kamnine, ki je nastala, ko se je sediment odlagal (v mehaniki hribin, pri analizi porušitev naravnega ravnotežja, tudi plastnatost štejemo kot razpoklinski sistem). Ti razpoklinski sistemi so zaradi atmosferskih vplivov v pripovršini še močneje izraženi. Torej do zdrsa v hribinah lahko pride tam, kjer je določen sistem razpok neugodno usmerjen, glede na nagib pobočja.



Sl. 4. Klinasti hribinski zdrs ob sistemu dveh sekajočih se razpok, kjer je njuna sečnica nagnjena v smeri padnice pobočja.

Fig. 4. Wedge-shaped rockslide at two cracks crossing each other where the intersecting line is inclined in the direction of the slope.

Najpogostejši in najneugodnejši tip plazenja nastopi, kadar sta padnica pobočja in padnica usmeritve določenega sistema razpok v približno isti smeri. V takih primerih, kadar je pri razpoki, ki izdanja na površini, strižni odpor manjši od delovanja teže ob njej, lahko pride do ravninskih (planarnih) zdrsov (sl. 3).

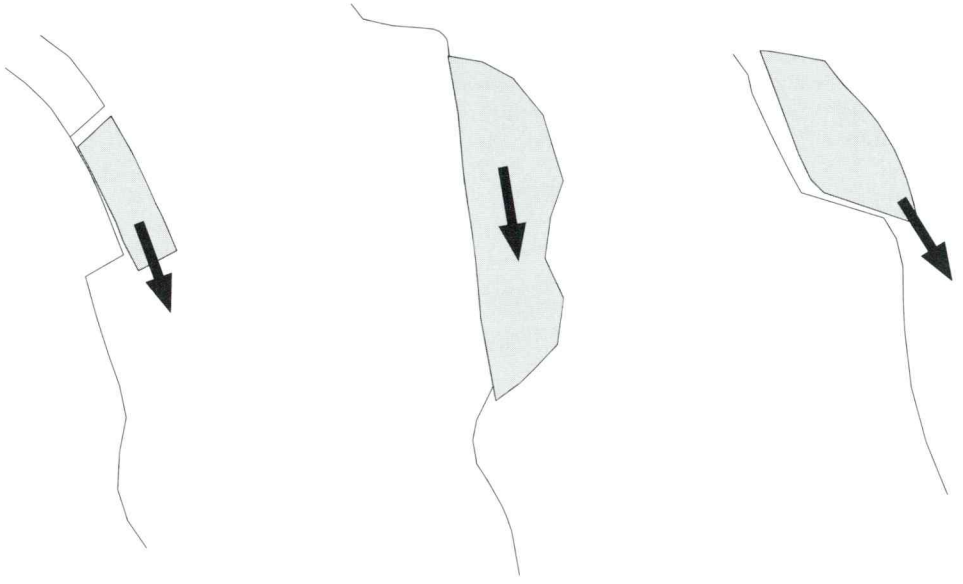
Primer ravninskega zdrsa, zelo lepo viden iz Bovca (če pogledamo proti Podsoči), je na pobočju nad Jablenico. Mnogi manjši zdrsi pa so na pobočjih Rombona in pobočjih doline Lepene.

Kadar je sečnica dveh sistemov razpok usmerjena v isti smeri kot padnica brežine in nagnjena navzdol, lahko pride do klinastega zdrsa (sl. 4). V tekstu smo že opisali klinasti zdrs iz grebena Šije.

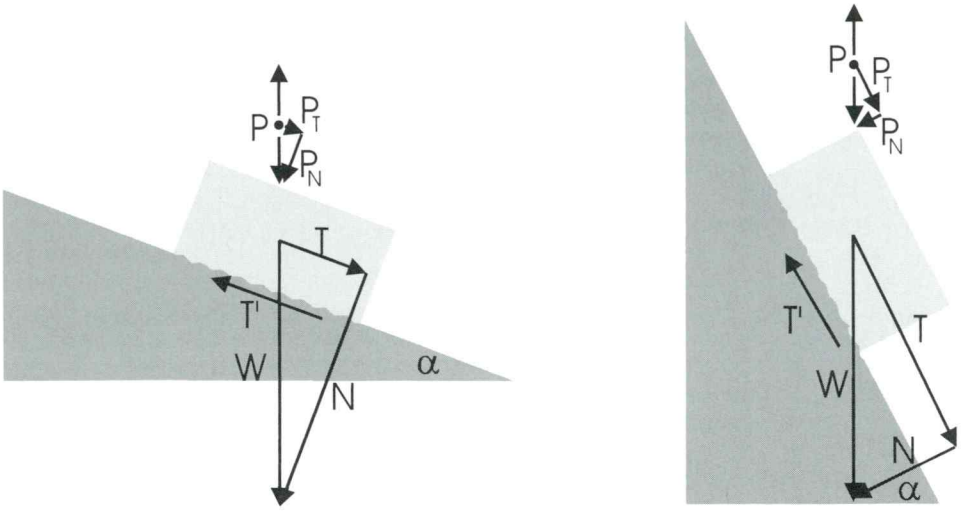
Oba navedena zdrsa sta čista zdrsa. V naravi ponavadi opazujemo manj pravilne zdrse, v odvisnosti od razmer (razpokanosti) na območju, kjer je do tega prišlo.

Poleg opisanih zdrsov, pa lahko na območjih, kjer je pobočje navpično ali skoraj navpično nagnjeno, nastajajo hribinski podori. Imenujemo jih tudi skalni podori. So posebne vrste hribinski zdrsi, za katere velja, da mora biti v kamninski masi v zaledju brežine šibka ploskev, ki je približno vzporedna brežini in je nagnjena bolj ali manj navpično. Na naslednjih skicah so prikazani različni tipi podorov (sl. 5).

Hribinski podori so bili ob zadnjem potresu izredno številčni in jih opažamo na vsakem koraku v celotnem Krnskem pogorju. Med njimi nastopajo tudi izredno veliki, kot je že opisani iz vrha Lemeža, podori v okolici izvira Tolminke, podori na Krnu, Krnčici, itd.



Sl. 5. Različni tipi hribinskih podorov ob strmo nagnjenih razpokah.
Fig. 5. Different types of rockfalls near steeply inclined cracks.



Sl. 6. Mehanizem nastanka hribinskega zdrsa ob delovanju dodatnih sil potresa pri različnih nagibih drsnih razpok.

Fig. 6. The mechanism of forming a landslide influenced by additional earthquake forces with different inclinations of cracks.

Poleg podorov lahko nastopa ob zelo strmih nagnjenih pobočjih še drsenje, padanje, ali valjenje skalnih blokov in kamnov. Največkrat se v prvi fazi sproži drsenje labilnega bloka, ki se spremeni v kotaljenje in odbijanje od pobočja. Ob potresu so bile številne ceste zasute s kamenjem, ki se je sprožil ob potresu, padlo pa je tudi več večjih skal. Nekatere so imele prostornino več kot 200 m^3. Ena je celo popolnoma zmečkala avto.

Da bi vsaj približno razumeli sproženje zdrsa ali podora ob potresu in kateri pojavi so bolj ranljivi za potres, si poglejmo analizo delujočih sil na potencialno labilen blok kamnine. Ker je potres v Posočju povzročil predvsem navpično nihanje tal, bomo privzeli delovanje sile potresa v smeri gravitacije.

Leva skica prikazuje poenostavljen planarni zdrs bloka na položno nagnjeni razpoki, desna pa ob strmi (sl. 6).

Ob potresu se komponenti sile teže W, ki deluje v smeri nagiba razpoke (T) pridruži še komponenta sile potresa P_T. Iz primerjav slik je takoj razvidno, da je učinek delovanja potresne sile pri strmo nagnjeni razpoki mnogo večji. Prvi skrajni primer dobimo, kadar je kritična razpoka zdrsa navpična. Takrat je vrednost sile T največja in enaka teži bloka, isto pa velja tudi za potresno silo. Še skrajnejši slučaj je v primeru previsa, saj trenjskih sil (ki jih na skicah prikazujemo z hrapavostjo kontaktne ploskve) ni več in proti podoru deluje samo sprijemna - kohezivna sila na razpoki. Ob potresu v Posočju so se predvsem sprožili podori ob navpičnih ali strmo nagnjenih razpokah, ki so, kot smo videli, najbolj ranljivi na potres.

Pri zgornjem opisu pa nismo upoštevali, da je potres dinamičen proces. Dinamika, ki jo prinaša zaporedno nihanje skozi več sekund trajanja potresa, prinese dodatne učinke. Valovanje v hribini zaradi potresa lahko zaniha potencialno labilen blok, da najprej pride do popustitve sile zlepljenja ob razpoki (kohezija pade na nič) in nato do preskokov preko zobcev, ki tvorijo hrapavost bloka. Na mestu preskoka je amplituda nihanja večja od velikosti zobcev in blok zdrsne v potencialno nižji položaj zaradi delovanja gravitacijske sile v smeri drsne ploskve. Ob tem se zobci tudi lomijo in drsna ploskev postaja „gladkejša". Če se strižni odpor zmanjša do te mere, da je komponenta teže bloka v smeri ploskve večja od strižnega odpora, ob njej pride do končnega zdrsa bloka. Kjer proces preskakovanja preko hrapave ploskve ne povzroči nepovratnega procesa, na terenu vidimo odprto razpoko, ki se razteza prečno na nagib pobočja. Lep primer take razpoke je opažen na grebenu Krnčice.

Splošno o lestvici EMS-98

Ob definiciji potresa se najpogosteje uporabljata magnituda in intenziteta potresa. Magnituda je mera za sproščeno energijo v žarišču potresa. Zasnova potresne magnitude je leta 1935 vpeljal C. F. Richter. Za določitev intenzitete potresa pa obstajajo različne lestvice, ki se seveda sčasoma izpopolnjujejo in spreminjajo. Najdlje je bila v uporabi 12-stopenjska lestvica MCS, ki jo je v začetku stoletja predlagal Mercalli, kasneje pa sta jo dopolnila še Cancani in Sieberg. V končni obliki je bila prvič objavljena leta 1912. To lestvico so poimenovali Mercallijeva lestvica. Leta 1964 so avtorji Medvedev, Sponheuer in Karnik predstavili novo, 12-stopenjsko lestvico MSK, ki je bila pozneje večkrat dopolnjena in je do nedavno veljala tudi pri nas. Razlika med obema je le v nekaterih količinskih opredelitvah.

Lestvica MSK velja v svetovnih razmerah za dogovorjeno lestvico. Končno obliko so pripravili leta 1964 kot nadaljevanje in kompilacijo lestvic: MCS (Mercalli-Can-

cani-Siebergova lestvica), MM (modificirana Mercallijeva lestvica) in GEOFIAN (makroseizmična lestvica uporabljana v takratni Sovjetski zvezi). Spremembe lestvice so bile še leta 1976, 1978 in 1981.

Razvoj znanosti, predvsem gradbeništva in tragične izkušnje potresov po svetu, ko so se poleg zidanih konstrukcij rušili tudi armirano-betonski objekti, so zahtevale tudi spremembo lestvice za določanje potresne intenzitete. Tako so na XXI. generalni skupščini Evropske seizmološke komisije v Sofiji sprejeli sklep o ponovnem aktiviranju delovne skupine za makroseizmične lestvice.

Razvoj gradbeniške prakse in porušitve objektov med potresi so narekovali razvoj lestvice. Potrebe po spremembah so bile tako obsežne, da so predlagatelji pripravili lestvico, ki se sedaj imenuje EMS (European Macroseismic Scale). Lestvica je bila pripravljena leta 1992, sledilo pa je obdobje testiranja in prilagajanja lestvice.

Bistveni razlogi, ki so zahtevali novo lestvico:

1. potreba po vključevanju novih tipov objektov in materialov (poseben poudarek na objektih s potresno varno zasnovo)
2. odprava nelinernosti, ki je bila med stopnjama VI in VII MSK
3. potreba po izboljšanju jasnosti definicij in opredelitev
4. potreba po določitvi učinkov, ki jih imajo potresi na visoke objekte
5. potreba po lestvici, ki ne bo zadovoljila le seizmologov ampak tudi gradbenike
6. potreba po takšni lestvici, s katero bo moč primerljivo vrednotiti pretekle potrese
7. potreba po kritični presoji uporabe makroseizmičnih učinkov na tleh.

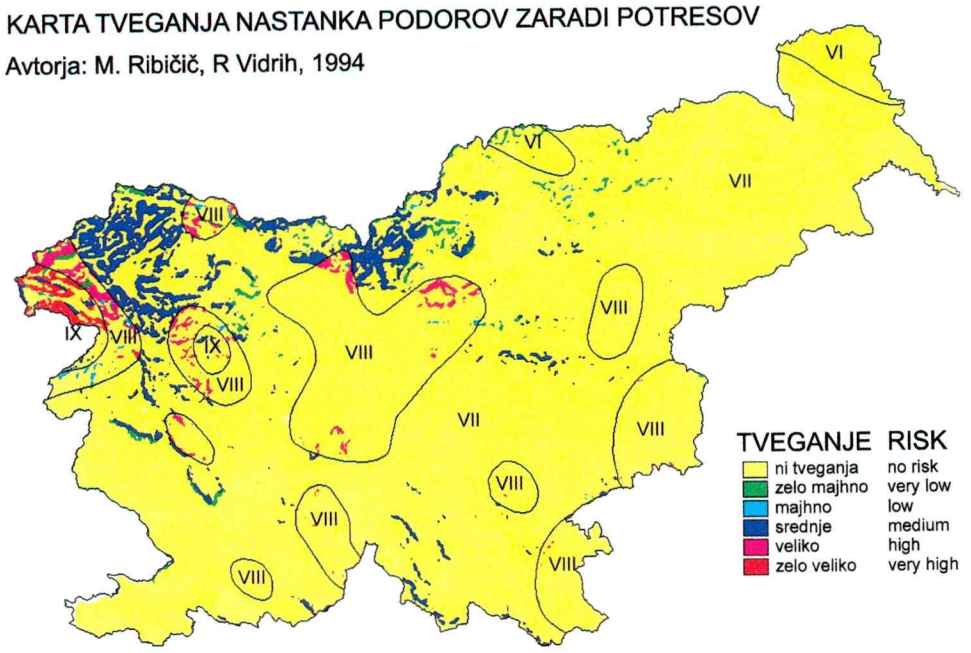
Kljub najnovejši verziji lestvice EMS-98, so opisi v dodatku C, ki govorijo o učinkih potresa v naravi še vedno preveč posplošeni in nezadostni.

Uporaba načel EMS za vključitev seizmogeoloških pojavov pri oceni intenzitete potresa

Seizmogeološki pojavi so opisani v dodatku C. Izmed naštetih pojavov, v tem članku obravnavava le tiste, ki so vezani na dogajanja v hribinah in smo jih opazovali ob proučevanem potresu v Posočju.

Seizmogeološke pojave v hribinah ločimo v dve skupini. V prvi so tisti, ki nastanejo samo ob potresu, v drugi pa tisti, katerim potres poveča pogostost njihovega pojavljanja. V tem članku obravnavamo predvsem drugo vrsto pojavov.

Podobno kot pri zgradbah (ocenjujemo ranljivost glede na vrsto zgradbe), je pri seizmogeoloških pojavih smiselno opredeliti ranljivost določene vrste kamnin, oziroma terena, na potres. S tem že precej povečamo verjetnost ocene, kakšne bodo posledice potresa določene intenzitete, saj so različne kamnine oziroma tereni, zelo različno ranljivi. Da določimo ranljivost določega terena za določen seizmogeološki pojav, je najbolje, da najprej proučimo, kakšna je na splošno ranljivost terena za ta pojav. Jasno je, da bo tisti teren, ki je najbolj ranljiv v običajnih razmerah, tudi ob potresu izkazal največjo ranljivost. Pri zgradbah tega ni treba ugotavljati, saj iz gradbene dokumentacije posamezen objekt enostavno uvrstimo v določen razred ranljivosti. Za teren, ki ga gradijo geotehnično različne kamnine pa moramo njegovo ranljivost glede na pojavljanje določenega pojava skrbno proučiti. Pri tem je zelo pomembno merilo. Za manjša merila bomo v proučevanje vzeli le splošne ocene inženirskogeoloških razmer na terenu, na primer vrsto kamnine in nagib terena (D r o b n e et al., 1976). Pri večjih merilih pa je treba upoštevati še druge dejavnike, na primer general-



Sl. 7. Karta tveganja nastanka hribinskih podorov ob predvidenem potresu maksimalne intenzitete po seizmični karti Slovenije za povratno periodo potresov 500 let z legendo. (V i d r i h & R i b i č i č , 1994)

Fig. 7. Map of rockfall risk during a maximum intensity earthquake according to the seismic map of Slovenia for the earthquake with return period 500 and Legend (V i d r i h & R i b i č i č, 1994)

ni vpad plasti skladov, sisteme razpokanosti kamnin itd. Proučevanje seizmičnosti (mikro-seizmična rajonizacija) se ponavadi ne izvaja za podrobna merila (npr. 1 : 5 000 ali več). Večinoma v natančnosti segamo do merila 1 : 10 000.

Postopek določitve ranljivosti terena sva razvila v referatu z naslovom „Vpliv potresov na nastanek plazov v Sloveniji", ki je bil leta 1994 na Prvem slovenskem posvetovanju o zemeljskih plazovih leta 1994 v Idriji (V i d r i h & R i b i č i č, 1994). Kasneje sva postopek še izpopolnjevala. Priložena karta, možnosti nastanka hribinskih podorov za celotno ozemlje Slovenije ob upoštevanju seizmične karte s povratno periodo 500 let, pokaže, da so najbolj ranljive za nastanek podorov karbonatne kamnine, ki gradijo naš alpski svet (sl. 7).

Ko je ranljivost terena za izbran pojav določena, je treba opredeliti tudi pogostnost njegovega pojavljanja. Pogostnost pojavljanja je mogoče opredeliti s sistematičnim večletnim spremljanjem dogodkov. Smiselno je, da je na državnem nivoju postavljena centralna baza podatkov, ki tako kot baza za registracijo potresov, shranjuje registrirane pojave.

Za naselja je pogostost pojavljanja določene vrste zgradbe lahko določljiva, tako da vsako zgradbo pač uvrstimo v pripadajoč razred ranljivosti. Vemo, da je za leseno zgradbo najbolj verjetna ranljivost razreda D. Za naravne pojave je postopek bolj zahteven. S pomočjo inženirskogeološkega kartiranja, fotogeološke analize avionskih

in satelitskih posnetkov in drugih znanih tehnik lahko za obdobje časa proučevanja izločimo vse aktivne pojave nestabilnosti terena in k temu pridružimo podatke iz baz podatkov o starih (preteklih) pojavih, ki so se zgodili na proučevanem terenu (Ribičič & Šinigoj, 1996). Tako dobljene karte, ki predstavljajo prostorsko razširjenost določenega pojava nato apliciramo na vrsto kamnin in terenske razmere. Šele sedaj imamo karto ranljivosti, ki določa ranljivost terena za določen pojav. Če želimo, da bi bila naša uvrstitev univerzalna in ne bi veljala samo za teren, ki ga proučujemo, je najprimerneje postaviti razrede ranljivosti, ki omogočajo splošen pristop. Tudi način grajenja zgradb je v različnih deželah različen, s tem pa tudi različna njihova ranljivost na potres. Enako velja za geološke in morfološke razmere ter delujoče endogene (tektonske) in eksogene procese (preperevanje in erozija), kot osnovne faktorje za nastajanje nestabilnih pojavov, da se v različnih delih sveta med seboj močno razlikujejo. V začetni fazi, dokler nimamo mnogo primerjalnih študij, to je študij, ki so bile izvedene po potresu, je najprimerneje uporabiti razrede stopnjevanja ranljivosti, ki naj bodo splošno veljavni in jih nato prenesti na lokalne razmere.

EMS je narejena za zgradbe. Kot je razvidno iz poglavja Splošno o lestvici EMS je lestvica, preden je dobila današnjo obliko, prešla skozi dolgotrajen razvoj. Pri tem so se izoblikovala jasna načela, ki jih je treba pri uporabi lestvice EMS upoštevati. Najpomembnejša načela so:

Lestvica naj bo robustna. Uvajanje sprememb ne sme povzročiti znatnih odstopanj ali vplivov na oceno intenzitet.

Lestvica je sprejet kompromis. V različnih deželah, v različnih naravnih in kulturnih pogojih bodo vedno odstopanja pri načinu interpretacije lestvice, kar je treba upoštevati.

Lestvica naj bo enostavna. Splošna uporabnost lestvice zahteva njeno enostavnost.

Ocena intenzitete. Intenziteto potresa je mogoče oceniti le na osnovi ugotavljanja poškodb na velikem številu zgradb za širše dovolj veliko območje. Ne smemo je vezati na posamezne ekstremne pojave.

Negativna informacija. Če se določeni pojavi ali poškodbe niso zgodili, je to zelo koristna informacija, ki navzgor omejuje intenziteto potresa.

Naravne seizmogeološke pojave so pri definiranju stopenj intenzitet včasih bolj, včasih manj vključevali. Vendar za njih tako jasnih načel kot za poškodbe na zgradbah nikoli ni bilo postavljenih. V sedanji lestvici so naravni pojavi porinjeni v Dodatek C, ki ga v posebnem poglavju natančneje opisujemo.

Vendar bi vključevanje seizmogeoloških pojavov v oceno intenzitete potresa marsikdaj omogočilo bolj zaneslivo oceno. Tipičen primer je, kadar se potres zgodi na manj naseljenem območju.

Kot za zgradbe tudi za seizmogeološke pojave veljajo zakonitosti, ki izhajajo iz mehanizma njihovega nastanka ob potresu. Enako kot za zgradbe je treba pri proučevanju teh pojavov in pri izdelavi ocene intenzitete zanemariti številne vplivne dejavnike, ki delujejo lokalno. Vemo, da so poškodbe na posamezni zgradbi odvisne od njene značilne konstrukcije, oblike, višine, interakcije njenega nihanja s tlemi itd. Vse to so dejavniki, ki jih v lestvici ne moremo upoštevati, ker bi se izgubila njena splošnost. Toda lestvica za zgradbe uvaja njihovo različno ranljivost (6 razredov: A, B, C, D, E, F) glede na uporabljeni material in splošno konstrukcijo zgradbe. Lestvica EMS tudi količinsko ali številčno opredeljuje pogostost posameznega dogodka (3 razredi: posamezni, mnogi, večina). Intenziteta potresa se meri s stopnjo poškodovanosti zgradb ločeno za zidane zgradbe in zgradbe iz armiranega betona (5 razredov: 1, 2, 3, 4, 5).

Za seizmogeološke pojave v Dodatku C, pa se v primerjavi z lestvico, uporabi kot edini kriterij možnost dogodka ob določeni intenziteti potresa. Posledica tega je, da je določen seizmogeološki pojav opredeljen v tako širokem obsegu intenzitete potresa, da ne more dati koristne informacije o dejanski intenziteti, ki ga je sprožila.

Torej, če želimo uporabiti podatke o seizmogeoloških pojavih, ki se zgodijo ob potresu, tudi za ocenjevanje njegove intenzitete, je treba podobno kot pri zgradbah bolj podrobno določiti ranljivost terena, številčnost pojavljanja in stopnjo poškodovanosti.

Po omenjenem članku lahko kot primer prikažemo splošno ranljivost različnih terenov ozemlja Slovenije za hribinske podore:

Preglednica 2. Ranljivost za nastanek podorov ob potresih za različne vrste kamnin značilne za ozemlje Slovenije.

Uvrstitev po lastnostih kamnin	Primeri vrst kamnin	Ranljivost za nastanek podora
Zelo trdne hribine	tonalit	srednja
Trdne hribine	apnenec	velika
Srednje trdne hribine	lapor	srednja
Polhribine	glinovec	ni
Zemljine	prod	ni

Razvrstitve zgradb in naravnih pojavov v razrede ranljivosti

Lestvica EMS razvršča zgradbe v šest razredov ranljivosti. Enako sva za teren, ki ga gradijo različne kamnine in je različno morfološko oblikovan, določila razrede ranljivosti. Da bi zadržala splošno veljavnost, pa tudi zaradi pomanjkanja podatkov sva postavila samo razrede ranljivosti in podala splošne smernice, kako opredeliti ranljivost terena.

Razvrstitve zgradb v razrede ranljivosti

Zgradbe so razdeljene v štiri skupine: zidane, armiranobetonske, jeklene in lesene. Nadalje pa so razdeljene v petnajst vrst konstrukcij. Upoštevana je tudi potresnavarna zasnova oziroma projektiranje (preglednica 3).

Preglednica 3. Razvrščanje zgradb v razrede ranljivosti.

	Vrsta konstrukcije	Razred ranljivosti					
		A	B	C	D	E	F
zidane zgradbe	neobdelan kamen, lomljenec	○					
	adobe	○——	——				
	delno obdelan kamen	-----	○				
	masivni kamen		——	○	-----		
	opečna, nearmirana	-----	○	-----			
	nearmirana, z AB medetažnimi ploščami		——	○	-----		
	armirano (povezano zidovje)			-----	○	——	
armirano betonske	AB- z okvirji, brez potresnovarne zasnove (PVZ)	-----	——	○	-----		
	AB-z okvirji, s PVZ v srednje velikem obsegu		-----	——	○	——	
	AB-z okvirji, s PVZ v velikem obsegu			-----	——	○	——
	AB-stenaste, brez PVZ		-----	○	——		
	AB-stenaste, s PVZ v srednje velikem obsegu			-----	○	——	
	AB-stenaste, s PVZ v velikem obsegu				-----	○	——
jeklene	jeklene z okvirji			-----	——	○	——
lesene	lesene konstrukcije		-----	——	○	——	

○ najbolj pogost razred ranljivosti
—— verjetni obseg
----- manj verjetna ranljivost; izjemni primeri
PVZ potresnovarna zasnova
AB armirani beton

Razvrstitve naravnih pojavov v razrede ranljivosti

Za nastanek porušenj v hribinah so predvsem merodajni tisti faktorji, ki jih v mehaniki hribin obravnavajo pri izračunih stabilnosti terena. V točki z naslovom Mehanizem nastanka nestabilnih pojavov v naravi ob potresu so naštete tiste lastnosti hribin, ki so vezane na njihovo razpokanost, kot na največje vplivne dejavnike. Poleg osnovnih trdnostnih lastnosti hribin in razpokanosti pa bo sprožanje nestabilnih pojavov odvisno tudi od morfološke oblikovanosti terena in lokalnih razmer, kot je na primer tektonska poškodovanost hribin. Kadar ocenjujemo ranljivost za širša območja, lokalne razmere zanemarimo in opredelimo za določeno hribino tipične značilnosti in obliko terena, ki ga gradi. Predvsem pa stopnjo ranljivosti določamo na osnovi analize nestabilnih pojavov na terenu. Kjer nastopajo številni pojavi porušenja naravnega ravnotežja, bodo nastali tudi ob potresu, in obratno, teren skorajda brez njih, tudi ob potresu ne bo doživel večjega števila novih. Pri tem moramo poznati povezavo med vrsto naravnega pojava in njegovo ranljivostjo na sproženje ob potresu. S to analizo pojavi nestabilnosti v hribinah postanejo seizmogeološki pojavi, katerih proučevanje nam lahko da koristne podatke o intenziteti potresa.

V tem trenutku še ni mogoče izdelati veljavne lestvice ranljivosti terena glede na potres, ki ga gradijo različne vrste kamnin, ker nimamo dovolj analiz sprožanja seizmogeoloških pojavov ob potresu. Zato podajava nekatera izhodišča, za katera meniva, da bi jih bilo mogoče prevzeti pri izdelavi lestvice ranljivosti za nastanek seizmogeoloških pojavov.

Najprej meniva, da je smiselno, podobno kot pri zgradbah, kjer je ranljivost določena v razrede A, B, C, D, E, F pri naravnih pojavih uporabiti naslednjo petstopenjsko lestvico:

Preglednica 4. Predlog razredov ranljivosti terena za seizmogeološke pojave.

Razredi ranljivosti terena	
Oznaka	Lestvica
A	najbolj ranljiv teren
B	ranljiv teren
C	manj ranljiv teren
D	najmanj ranljiv teren
E	neranljiv teren

Uvrstitev v enega izmed petih razredov ranljivosti bi izvedli na osnovi lastnosti kamnin, njihove morfološke izoblikovanosti in drugih vplivnih dejavnikov, ki lahko povzročijo sproženje seizmogeološkega pojava ob potresu. Za opredelitev osnovnih lastnosti kamnin bi po najinem mnenju lahko privzeli lastnosti, ki so bile na osnovi obsežnih analiz v mehaniki hribin, uporabljene za izdelavo danes splošno veljavne geotehnične klasifikacije (Rock Mass Rating) RMR (B i e n i a w s k i, 1974):

- Trdnost materiala
- RQD
- Razdalja med razpokami
- Hrapavost in polnitev razpok
- Splošni pogoji nastopanja

V preglednici 5 je podan primer klasifikacijskih parametrov, oziroma opredelitev ocene njihovih vrednosti v RMR klasifikaciji.

Podobno, kot pri RMR klasifikaciji bi za določitev ranljivosti kamnine ocenili klasifikacijske parametre, glede na njihovo pomembnost za nastanek seizmogeološkega pojava. Za prve štiri parametre bi opredelili število točk glede na ranljivost za nastanek seizmogeoloških pojavov v hribinah. Peti parameter pa bi morali opredeliti kot vpliv splošnih pogojev nastopanja, pa tudi vpliva vode.

K temu bi morali priključili še morfološke značilnosti zgradbe terena. Jasno je, da čim bolj je teren hribovit, čim strmejše brežine gradi, tem večja bo možnost nastanka pojavov naravnega porušenja, pa tudi nekaterih drugih seizmogeoloških pojavov. Opredelitev ranljivosti je zato primerneje vezati na teren in ne samo na vrsto kamnine, ki ga gradi.

Potres v Posočju se je zgodil v alpskem svetu, kjer nastopajo zelo strme, celo navpične brežine v kamninah, ki imajo po RMR klasifikaciji vse tiste lastnosti, ki so najneugodnejše za nastanek pojavov nestabilnosti v hribinah. Po ranljivosti alpski svet spada prav gotovo v razreda ranljiv ali najbolj ranljiv teren (razreda A in B). Zato smo lahko po potresu na terenu opazovali številne seizmogeološke pojave, katerih številčnost in obsežnost je bila odvisna od intenzitete potresa.

Za ilustracijo postopka izdelave ocene ranljivosti terena naj opiševa seizmogeološke pojave, ki so se zgodili na območju doline Lepene, kjer je imel potres največje

Preglednica 5. RMR klasifikacija (Bieniawski, 1974).

	PARAMETRI		VREDNOST				
1	Trdnost Intaktne Hribine	Točkovni indeks	10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Ni primeren
		Enoosna Tlačna trd.	250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 1-5 1 Mpa
	Število točk		15	12	7	4	2 1 0
2	RQD faktor		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	< 25 %
	Število točk		20	17	13	8	3
3	Razdalja med razpokami		> 2.0 m	0.6-2.0 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm
	Število točk		20	15	10	8	5
4	Hrapavost in polnitev		Zelo hrapave razpoke Nezvezne stene se stikajo Nepreperele stene	Malo hrapave površine Razmak do 1 mm Delno preperele stene	Malo hrapave površine Razmak do 1 mm Močno preperele stene	Gladke ploskve Polnitev do 5 mm ali razmik 1-5 mm Zvezne razpoke	Mehko polnilo Polnitev > 5 mm ali razmik > 5 mm Zvezne razpoke
	Število točk		30	25	20	15	0
5	Podzemna voda	P_w na 10m pred.	Ni	10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min
		P_w/σ_1	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5
		Splošni pogoji	Popolnoma suho	Vlažno	Mokro	Curljanje	Vodni toki
		Štev. točk	15	10	7	4	0

učinke (preglednica 6). Strma pobočja doline gradi skladnati dachsteinski apnenec. Na obeh robovih doline pod strmimi pobočji so terasaste in morenske tvorbe nanosa karbonatnih gruščev in prodov, katere ponekod prekinjajo jeziki vršajev. Jedro doline zapolnjujejo hudourniški in nanosi Lepene, v zgornjem delu pa tudi ostanki čelne morene ledenika. Pred potresom smo lahko opazovali zelo star, ogromen hribinski zdrs na desni strani na vhodu v dolino in številne manjše hribinske zdrse in podore na strmih brežinah leve strani doline. Nastanek vseh teh pojavov nestabilnosti je bil vezan na zdrse v smeri plastnatosti, le nekaj manjših podorov na tektonsko pogojene razpoke. Ocena ranljivosti terena, če jo izvedemo na osnovi poznavanja litološke zgradbe in mehanizma zdrsov, pokaže naslednje uvrstitve terena po ranljivosti:

Preglednica 6. Razredi ranljivosti narave v dolini Lepene

Razredi ranljivosti - dolina Lepene		
Oznaka	Lestvica	Območje
A	najbolj ranljiv teren	celotno levo pobočje doline (Šija in Lemež)
B	ranljiv teren	desni rob začetka doline (nad Pristavo)
C	manj ranljiv teren	desno pobočje doline, strme brežine teras
D	najmanj ranljiv teren	teren s skalami v gornjem delu doline
E	neranljiv teren	dolinski rečni in morenski nanosi

Ob potresu je na najbolj ranljivem terenu (A) prišlo na levi strani doline do mnogih sproženj manjših hribinskih podorov in posameznih velikih planarnih in klinastih

zdrsov. Podrobneje so opisani v poglavju Najzanimivejši pojavi v naravi. Na območju velikega starega podora (ranljivost B) so bile poškodbo že občutno manjše. Opazujemo manjše hribinske podore in padanje večjih posameznih skal. Na desnih strmih brežinah doline Lepene (ranljivost C) na terenu nastopa le nekaj manjših hribinskih podorov, ki so med seboj občutno narazen in padanje posameznih kamnov. Na strmih brežinah teras (ranljivost D) so se odprle posamezne razpoke, ki kažejo na začetek procesa plazenja. V sami dolini (ranljivost E) značilnih poškodb na terenu ob potresu nismo zasledili, razen v gornjem delu doline, kjer je ledenik (ali pa veliki bočni hribinski podori) odložil skale, ki so se ob močnih sunkih potresa premaknile.

Pri ocenjevanju ranljivosti terena je treba ločiti seizmogeološke pojave, ki opredeljujejo stopnjo poškodb in dejansko velikost poškodb v naravi. Lep primer je razklanje skale, ki nastane ob potresu VIII stopnje EMS in več, učinek na naravo pa je minimalen. Nasprotno hribinski podori, ki se začnejo sprožati že v VI stopnji EMS, ranijo pobočje v celotni dolžini od mesta podora pa vse do dna doline, kjer se kopičijo skale in grušč v obliki lijakastega vršaja.

Verjetno bi bilo smiselno sprejeti posebno kategorizacijo, ki bi opredelila obsežnost poškodb v naravi in ki bi jo vezali na površino poškodb in posledic na okolje (vidnost poškodbe, uničenje gozda ipd.).

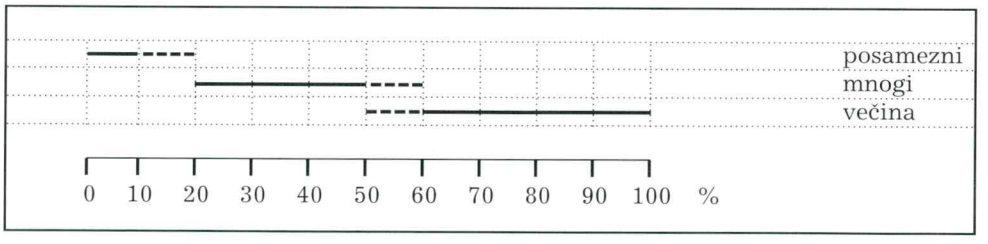
Opredelitev količin števila poškodb na zgradbah in v naravi

Kot pri drugih opredelitvah tudi pri opredelitvah količin števila poškodb poskušamo postaviti podobne kriterije za poškodbe na zgradbah in v naravi. Razlika v načinu nastopanja pa zahteva drugačen pristop.

Opredelitev količin števila poškodb na zgradbah

Preglednica 7 jasno pokaže, da določeno kategorijo poškodovanosti zgradb uvrstimo v enega izmed količinskih razredov na osnovi ugotovljenega odstotka poškodovanosti, ki ga določimo glede na celotno število zgradb določene ranljivosti. V praksi se je pokazalo, da strogo držanje rezultatov statistične analize lahko v določenih primerih vodi v napačno opredelitev stopnje intenzitete potresa, zato je treba tudi pri določitvi številčnosti gledati celotni sklop učinkov potresa.

Preglednica 7. Opredelitve količin.
Table 7. Definition of quantity.



Opredelitev količin števila poškodb v naravi

V naravi je opredelitev količin poškodb mnogo težja ker vnaprej ne vemo, kje na ogroženem območju se bo določeni pojav zgodil, medtem ko pri zgradbah poznamo njihovo lokaliteto. Po potresu lahko določimo procent poškodovanosti določenega razreda ranljivosti glede na celotno število zgradb, ki so bile uvrščene v ta razred.

Za seizmogeološke pojave v hribinah je značilno, da so tem večjega obsega in v tem večjem številu, čim bolj močan je potres. Zato je količinska opredelitev vsakega pojava zelo pomembna, ker šele na tej osnovi lahko sklepamo o intenziteti potresa. V lestvici, ki je bila narejena za pojave nestabilnosti v hribinah, na primeru potresa v Posočju, je prikazan način opredelitve količin (preglednica 12). Pri tem se nisva držala statističnega izračuna, temveč sva v razred *posamezni* uvrstila tisti teren, kjer sva registrirala le redke oziroma posamezne pojave in v razred *mnogo*, kjer se je opazovani pojav, sprožen ob potresu, pojavljal že v večjem številu. Razred *večina* nisva opredelila, ker je bila intenziteta potresa prenizka. Zavedava se, da je taka delitev po številčnosti relativna, vendar je za obravnavano območje zelo dobro pokazala razlike. Lep primer so premiki skal, na ravnem ali položnem terenu, ki so bili v bližini epicentra zelo številni, saj se je bolj ali manj premaknila skoraj vsaka skala. V večji oddaljenosti od epicentra sva nasprotno opazovala premike le na posameznih skalah, ki so bile lokalno na kritičnih mestih. V bodoče bo treba pri analizi posledic potresa v naravi in pri določitvi stopnje intenzitete, še večjo pozornost posvetiti prav tem „drobnim" učinkom v naravi in ne samo na daleč vidnim hribinskim podorom in zdrsom, ki pa niso tako številčni. Tak pristop pa zahteva zelo natančno in dolgotrajno delo na terenu, za katerega pa je težko dobiti investitorja. Alpinisti, ki obnavljajo markirane in zavarovane poti po alpskem svetu (Krnsko pogorje) so poročali o številnih poškodbah, ki pa na žalost niso bile strokovno analizirane.

Na splošno lahko rečemo, da se seizmogeološki pojavi v hribinah začnejo količinsko pojavljati šele v VI. stopnji do take mere, da jih lahko spremljamo. Vendar je v veliki meri odvisno od ranljivosti terena ali jih bo dovolj za analizo. Samo za bolj ranljive terene je število pojavov in njihova raznolikost tolikšna, da se jih lahko uporabi tudi za določevanje intenzitete. K sreči v območjih, kjer seizmogeološki pojavi v hribinah ne nastopajo, lahko sledimo seizmogeološke pojave v zemljinah (plazovi, usadi, razpoke v zemljinah, itd.). Te pa je treba drugače obravnavati in niso predmet tega članka.

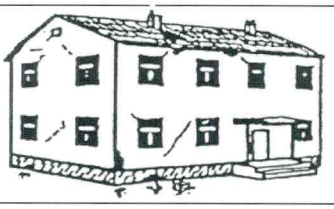
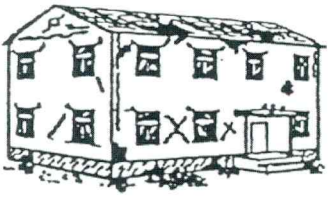
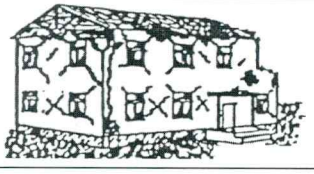
Razvrščanje poškodovanosti zgradb in narave

Razvrščanje poškodovanosti za zidane zgradbe (G r ü n t h a l, ed., EMS-92, EMS-98)

Zidane zgradbe so razvrščene v pet stopenj poškodovanosti; od zanemarljive do neznatne poškodovanosti, zmerne poškodovanosti, znatne do velike poškodovanosti, zelo velike poškodovanosti in do uničenja. Na osnovi opisa poškodb in primerjave s sliko v tabeli opredelimo stopnjo poškodbe ob potresu za posamezno zidano zgradbo.

Opomba: način deformiranja zgradbe pri potresni obremenitvi je odvisen od vrste zgradbe. Glavni skupini zgradb sta: zidane zgradbe in zgradbe iz armiranega betona.

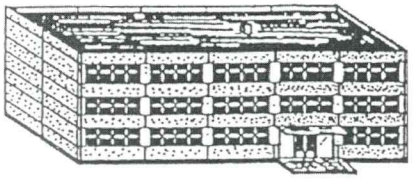
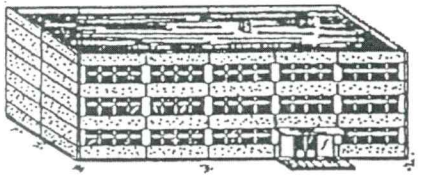
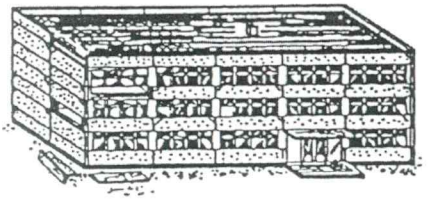
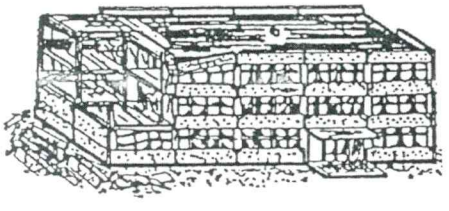
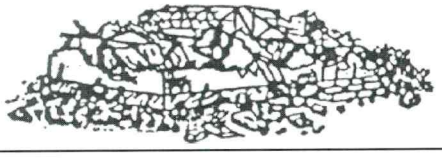
Preglednica 8. Razvrščanje poškodovanosti za zidane objekte.

Razvrščanje poškodovanosti (poškodb) pri zidanih zgradbah:	
	1. stopnja: Zanemarljiva do neznatna poškodovanost (na sami konstrukciji ni poškodb); pojav lasastih razpok na posameznih zidovih, odpadejo le manjši kosi ometa, pri posameznih zgradbah je opaziti odpadanje slabo povezanih elementov iz zgornjega dela objekta.
	**2. stopnja: Zmerna poškodovanost (konstrukcija je neznatno poškodovana, nekonstrukcijski (nenosilni) elementi pa so srednje močno poškodovani);** na mnogih zidovih so razpoke, dokaj veliki kosi ometa odpadejo, deli dimnikov se porušijo.
	**3. stopnja: Znatna do velika poškodovanost (konstrukcija je zmerno poškodovana, nekonstrukcijski elementi pa so močno poškodovani);** na večini zidov so široke in velike razpoke, drsenje strešnikov, dimniki se odlomijo v višini strehe, porušitev posameznih nekonstrukcijskih elementov.
	**4. stopnja: Zelo velika poškodovanost (težke poškodbe konstrukcije, zelo težke poškodbe na nekonstrukcijskih elementih);** obsežne porušitve zidov, delna porušitev postrešij in stropov.
	5.stopnja: Uničenje (zelo velika poškodovanost konstrukcije); popolna ali skoraj popolna porušitev.

Razvrščanje poškodovanosti za armiranobetonske zgradbe (G r ü n t h a l, ed., EMS-92, EMS-98)

Kot pri zidanih zgradbah obstaja pet stopenj poškodovanosti zgradb. Armiranobetonske zgradbe so odpornejše proti poškodbam pri potresu. Vrsta poškodb v njih je drugačna kot pri zidanih zgradbah.

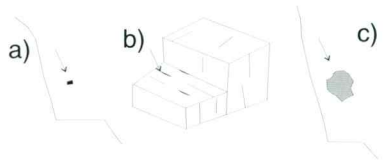
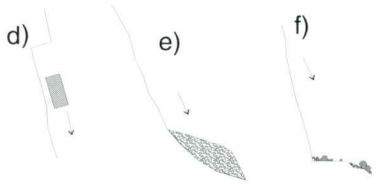
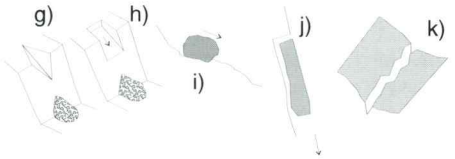
Preglednica 9. Razvrščanje poškodovanosti za armiranobetonske objekte.

Razvrščanje poškodovanosti (poškodb) pri zgradbah iz armiranega betona	
	**1. stopnja: Zanemarljiva do neznatna poškodovanost (na sami konstrukciji ni poškodb);** pojav tankih razpok na ometu elementov okvirov in lasaste razpoke na predelnih stenah.
	**2. stopnja: Zmerna poškodovanost (konstrukcija je neznatno poškodovana, nekonstrukcijski (nenosilni) elementi pa so zmerno poškodovani);** Razpoke v stebrih, gredah okvirjev in zidovih. Razpoke v predelnih stenah, odpadanje kosov ometa. Odpadanje ometa na stikih zidov.
	**3. stopnja: Znatna do velika poškodovanost (konstrukcija je zmerno poškodovana, nekonstrukcijski elementi pa so močno poškodovani);** Razpoke na stičiščih stebrov in gred, odpadanje betonskih oblog. Velike razpoke v predelnih stenah, porušitev posameznih predelnih sten.
	**4. stopnja: Zelo velika poškodovanost (težke poškodbe konstrukcije, zelo težke poškodbe na nekonstrukcijskih elementih);** velike razpoke v konstrukcijskih elementih s tlačno porušitvijo betona in poškodbami armature; razpokanje gred; poškodbe armature betonskih stebrov; prevračanje stebrov. Rušenje posameznih stebrov ali posameznih zgornjih nadstropij
	**5. stopnja: Uničenje (zelo velika poškodovanost konstrukcije);** porušitev pritličij ali delov zgradb

Razvrščanje poškodovanosti v naravi

V preglednici 10 pojave v naravi, ugotovljene po potresu v Posočju, razvrščava v pet kategorij ranljivosti. Enako sva uvedla pet razredov ranljivosti za različne vrste terena. Podobno zmanjšanje razredov ranljivosti predlagava tudi za zgradbe (od sedem razredov pri EMS-92 in šest razredov pri EMS-98). Razvrščanje poškodovanosti v naravi se razlikuje od razvrščanja pri zgradbah, ker sloni bolj na vrsti seizmogeološkega pojava, ki je nastal ob potresu in ne na velikosti poškodovanosti, kot pri zgradbah.

Preglednica 10. Razvrščanje poškodovanosti za pojave v naravi.

Razvrščanje poškodovanosti po seizmogeoloških pojavih:	
	**1. stopnja: Zanemarljiva do neznatna;** padanje posameznih kamnov (a), odpiranje kratkih svežih razpok (b), padanje posameznih skal (c).
	**2. stopnja: Zmerna poškodovanost;** manjši hribinski podori (d), zdrsi grušča (e), krušitev kamnov v večji količini (f).
	**3.stopnja: Znatna do velika poškodovanost;** manjši hribinski planarni (g) in klinasti (h) zdrsi, premikanje skal na položnem ali ravnem terenu (i), veliki hribinski podori (j), odpiranje dolgih svežih razpok (k).
Glej skice g), h) in j)	**4.stopnja: Zelo velika poškodovanost;** razklanje skal in prevrnitve (l), padanje skal v večji količini, veliki hribinski planarni zdrsi, veliki hribinski klinasti zdrsi
Glej skice a), g), h), j)	**5. stopnja: Uničenje;** hribinski podori regionalnih dimenzij, planarni zdrsi regionalnih dimenzij, veliki klinasti zdrsi regionalnih dimenzij

Vplivi na naravo v EMS lestvici (Dodatek C)

Vplivi na naravo so opisani v posebnem dodatku C Evropske makroseizmične lestvice (EMS). Ker del njih v članku še posebej obravnavamo naj na kratko podava opis makroseizmičnih pojavov, kot so poimenovani v Dodatku C. Opis makroseizmičnih pojavov je bil vključen v opredelitev stopnje intenzitete v nekaterih prejšnjih lestvicah, v Evropski potresni lestvici pa so izločeni z glavno obrazložitvijo, da je njihov obseg pojavljanja ob različnih intenzitetah potresov preširok, da bi lahko na osnovi njih opredeljevali stopnjo intenzivnosti, kar je tudi razvidno iz preglednice 11:

Preglednica 11. Odnosi med intenzitetami in poškodbami v naravi.

Seizmogeološki in hidrološki pojavi	Intenziteta potresa											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Hidrološki pojavi												
instrumentalno določene majhne spremembe nivojev vode v vodnjakih	●—●	●—○	○—○	○—○	○—○	○—·—·	·—·—·	·—·—·	·—·—·	·—·—▶		
lahko vidne spremembe nivojev vode v vodnjakih						●—·	·—●—●	●—·—·	·—·—·	·—·—▶	▶	
valovi dolgih period na mirujoči vodi kot posledica oddaljenih potresov	——	——	——	——	——	——	——▶					
valovi na mirujoči vodi kot posledica lokalnih potresov						●—·	·—●—●	●—·—·	·—·—·	·—·—▶	▶	
kaljenje vode jezera (dvig blata iz jezerskega dna)		◀——	——	——	——	——	○—○	○—○	○——	——	——	——
spremembe izdatnosti izvirov				◀——	○—○	●—●	●——	——	——	——	——	——
presihanje ali pojavljanje izvirov						◀—●	●—●	●—●	●——	——	——	——
prelivanje vode iz jezer										◀——	——	——
Porušitve naravnega ravnotežja												
zdrsi grušča					◀—●	●—●	●——	——	——	——	——	——
majhni usadi					●—●	●—●	●——	——	——	——	——	——
majhni hribinski podori					◀—●	●—●	●—○	——	——	——	——	——
plazovi, veliki hribinski podori							●—●	●—●	●—●	●—●	●—●	●—●
Pojavi v ravninskem svetu												
majhne razpoke v tleh, nastale zaradi tresenja zemljin					◀—●	●—●	●—●	●——	——	——	——	——
velike razpoke v tleh tektonskega porekla								◀—●	●—●	●—●	●—●	●—●
Kompleksni pojavi												
plazovi, povezani predvsem z hidrološkimi razmerami					●—●	●—●	●—●	●—●	●—●	●—●	●—●	●—●
likvefakcija							◀—·	·—●	●—●	●—●	●—●	●—●

Legenda:

●—● območje največje uporabnosti za določitev intenzitete
○ intenzitete tudi značilne za ta pojav
—·— možen obseg pojavljanja
—▶ možnost za nastopanje ekstremnih pojavov izven danega obsega

Če na kratko komentiramo preglednico seizmogeoloških pojavov, že bežen pogled nanjo pokaže izredno širok obseg opazovanj pri različnih stopnjah intenzivnosti, kar onemogoča njeno praktično uporabnost za ocenjevanje intenzitete potresa. V tekstu članka prikazujemo drugačen pristop, ki zoži obseg pojavljanja, ker uvajava podobno kot za zgradbe, tudi ranljivost terena na potres, pogostost pojavljanja in stopnjo poškodovanosti za določen pojav. Pojavi, opisani v članku so vezani na posledice delovanja potresa na hribine.

Pojavi porušitev naravnega ravnotežja v hribinah na osnovi analize potresa v Posočju so prikazani v preglednici 12. Velja za teren, ki gradi alpski (karbonatni) svet v Sloveniji. Aproksimacijo smo izvedli tudi preko VIII. do IX. stopnje lestvice.

Preglednica 12. Odnosi med intenzitetami in poškodbami v naravi glede na potres v Posočju.

Pojavi porušitev naravnega ravnotežja v hribinah	**Intenziteta potresa**				**Stopnja poškod.**	**Sl.**	**Skica v preg. 10**
	VI	**VII**	**VIII**	**IX**			
padanje posameznih kamnov	●				1.	8	a)
odpiranje kratkih svežih razpok v hribini	●	○			1.	11	b)
padanje posameznih skal	●	○			1.	12	c)
manjši hribinski podori	○	●			2.	15	d)
zdrsi grušča	○	●			2.	9	e)
krušitev kamnov v večji količini		●			2.	10	f)
manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi		●			3.	13	g), h)
premikanje skal na položnem ali ravnem terenu		○	●		3.	14	i)
veliki hribinski podori		○	●		3.	16	j)
odpiranje dolgih svežih razpok		○	●		3.	17	k)
padanje skal v večji količini			●		4.		
razklanje skal in prevrnitve			●	○	4.	18	l)
veliki hribinski planarni zdrsi			●	○	4.		
veliki hribinski klinasti zdrsi			●	○	4.		
hribinski podori regionalnih dimenzij			○	●	5.		
planarni zdrsi regionalnih dimenzij				●	5.		
veliki klinasti zdrsi regionalnih dimenzij				●	5.		

Opredelitev stopenj intenzitete potresov

Opredelitev je podana po originalni EMS potresni lestvici za vseh dvanajst stopenj. Pri intenzitetah nad VI. stopnjo pa opredeljujeva tudi učinke v naravi (poudarjen tekst). Meniva, da do VI. stopnje tudi v najbolj ranljivih kamninah poškodb v naravi ni v takem številu, da bi jih bi bilo mogoče uporabiti pri določitvi intenzitete potresa. Pri stopnjah nad IX. pa se verjetno pojavljajo tudi nove vrste poškodb, drugačne dimenzije itd., o katerih na osnovi opazovanja poškodb v naravi po potresu v Posočju ni možno zagotovo sklepati.

Opredelitev lestvice
a) vplivi na ljudi
b) vplivi na predmete in naravo
(tukaj so izključene poškodbe na zgradbah, vplivi na tla in porušitev tal)
c) poškodbe na zgradbah
d) poškodbe na terenu
(dodane k originalni lestvici na osnovi opazovanj in analiz potresa v Posočju s poudarjeno pisavo)

Uvodne opombe:

- Posamezne intenzitetne stopnje obsegajo učinke tresenja pri nižji (nižjih) intenzitetni(h) stopnji (stopnjah), tudi ko ti vplivi niso izrecno omenjeni.
- **Poškodbe na terenu (naravi), ki izhajajo iz analize potresa v Posočju, niso splošno veljavne, ampak so podane kot prikaz, kako bi bilo možno vključiti tudi naravne seizmogeološke pojave v potresno lestvico.**
- **Poškodbe v naravi, ki so uvrščene v določeno stopnjo lestvice EMS, se v tej stopnji pojavljajo v takem številu, da so zanjo tipične, v višjih stopnjah pa se še intenziviraj o in zavzemajo večji obseg.**
- **Pri opredelitvi poškodb v naravi (označeno s črko d.) smo se omejili na stopnje od V. do X. stopnje EMS, pri čemer so opredelitve za IX. in X. stopnjo aproksimacija pojavov pri nižjih intenzitetah. Poškodb v naravi pri potresih XI. in XII. stopnje zaradi nepoznavanja nisva opredelila.**
- **Količinska opredelitev večina ni bila uporabljena za poškodbe v naravi.**
- **Za razreda ranljivosti D in E za poškodbe v naravi ni opredelitev intenzitete potresa, ker je bila intenziteta potresa v Posočju prenizka, da bi povzročala poškodbe tudi v manj ranljivem terenu.**
- **V okvirju so predlagana nova opisna imena posameznih stopenj za potrese pri katerih upoštevamo poškodbe v naravi.**

I. Nezaznaven potres
a. Nezaznaven tudi pod najbolj ugodnimi pogoji.
b. Učinkov ni.
c. Poškodb na zgradbah ni.
d Poškodb v naravi ni.

II. Komaj zaznaven potres
a. Tresljaj(e) zazna le zelo malo (manj kot 1%) mirujočih posameznikov, na posebej izpostavljenih lokacijah znotraj poslopij.
b Učinkov ni.
c. Poškodb na zgradbah ni.
d. Poškodb v naravi ni.

III. Šibak potres
a. Potres zaznajo posamezniki v poslopjih. Mirujoči posamezniki občutijo pozibavajoče ali rahlo tresenje.
b. Viseči predmeti rahlo zanihajo.
c. Poškodb na zgradbah ni.
d Poškodb v naravi ni.

IV. Zmeren potres (splošno zaznan)
a. V poslopjih zazna potres mnogo ljudi, na prostem pa le zelo malo. Posameznike potres prebudi. Nivo tresenja ne povzroča strahu. Tresljaji so zmerni, ljudje jih za znajo kot rahlo tresenje ali pozibavanje zgradbe, sobe ali postelje, stola, itd.
b. Žvenketanje porcelana, steklenine, zastekljenih oken in vrat. Viseči predmeti zanihajo. Redko je opaziti tresenje lahkega pohištva. Red-

ko je slišati škripanje lesenega stavbnega pohištva.

c. Poškodb na zgradbah ni.

d. Poškodb v naravi ni.

V. Močan potres

a. V poslopjih zazna potres večina ljudi, na prostem pa le malo. Nekateri ljudje se prestrašijo in zbežijo ven. Mnogi speči ljudje se zbudijo. Opazovalci občutijo močnejše tresenje ali pozibavanje celotne zgradbe, sobe ali pohištva.

b. Viseči predmeti močneje zanihajo. Porcelan ropota, steklenina pa žvenketa. Manjši, manj stabilni in/ali slabo podprti predmeti se lahko premaknejo ali padajo na tla. Odprta vrata in okna loputajo. Redko počijo okenska stekla. Tekočine vzvalovijo, iz napolnjenih posod pa se tekočina lahko prelije. Živali v zgradbah lahko postanejo nemirne.

c. Poškodbe 1. kategorije se pojavijo na posameznih zgradbah tipa A in B.

d. Poškodbe v naravi:
V naravi se lahko pojavijo zelo redke (posamezne) poškodbe 1. kategorije (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal) v najbolj ranljivih kamninah (razred ranljivosti A). Omenjene poškodbe so za oceno intenzitete nezadostne.

VI. Potres, ki že povzroča neznatne poškodbe na zgradbah

Potres, ki povzroča neznatne poškodbe na zgradbah in v naravi

a. V poslopjih zazna potres večina ljudi, na prostem pa mnogi. Redki posamezniki izgubijo ravnotežje. Mnogi ljudje se prestrašijo in zbežijo ven.

b. Manjši predmeti z običajno stabilnostjo padajo na tla, težko pohištvo se lahko premakne. Tu in tam se lahko razbije posoda in steklenina. Domače živali (tudi na prostem) se lahko prestrašijo.

c. Poškodbe l. kategorije se pojavijo na mnogih zgradbah tipa A in B. Posamezne zgradbe tipa A in B pretrpijo poškodbe 2. kategorije; posamezne tipa C pa poškodbe 1. kategorije.

d. Poškodbe v naravi:
Mnoge poškodbe 1. kategorije v razredu ranljivosti A (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal).
Posamezne poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti A (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini).
Posamezne poškodbe 1. kategorije v razredu ranljivosti B (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal)

VII. Potres, ki povzroča poškodbe na zgradbah

Potres, ki povzroča poškodbe na zgradbah in v naravi

a. Večina ljudi se prestraši in poskuša zbežati na prosto. Mnogi ljudje se s težavo obdržijo na nogah, zlasti v višjih nadstropjih.

b. Pohištvo se lahko premakne, pohištvo z veliko maso na vrhu se lahko prevrne. Mnogi predmeti padejo s polic. Pljuskanje tekočin iz posod, rezervoarjev in bazenov.

c. Mnoge zgradbe tipa A pretrpijo poškodbe 3. kategorije, posamezne pa 4. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa B pretrpijo poškodbe 2. kategorije, posamezne pa 3. kategorije.

Posamezne zgradbe tipa C pretrpijo poškodbe 2. kategorije.
Posamezne zgradbe tipa D pretrpijo poškodbe 1. kategorije.

d. **Poškodbe v naravi:**
Mnoge poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti A (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini).
Posamezne poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti A (manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).
Mnoge poškodbe 1. kategorije v razredu ranljivosti B (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal).
Posamezne poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti B (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini).
Posamezne poškodbe 1. kategorije v razredu ranljivosti C (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal).

VIII. Potres, ki povzroča težke poškodbe na zgradbah

Potres, ki povzroča težke poškodbe na zgradbah in v naravi

a. Mnogi ljudje se s težavo obdržijo na nogah, tudi zunaj zgradb.
b. Pohištvo se lahko prevrne. Predmeti, kot so TV sprejemniki, pisalni stroji itd., padejo na tla. Posamezni nagrobni spomeniki se premaknejo, zasukajo ali preobrnejo. Na zelo mehkih tleh je možen nastanek valovanja.
c. Mnoge zgradbe tipa A pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne 5. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa B pretrpijo poškodbe 3. kategorije, posamezne 4. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa C pretrpijo poškodbe 2. kategorije, posamezne 3. kategorije.
Posamezne zgradbe tipa D pretrpijo poškodbe 2. kategorije.

d. **Poškodbe v naravi:**
Mnoge poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti A (manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).
Posamezne poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti A (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrsi).
Mnoge poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti B (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini).
Posamezne poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti B (manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).
Posamezne poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti C (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini).

IX. Rušilen

Rušilen z obsežnimi spremembami v naravi

a. Splošna panika. Potres lahko nekatere ljudi pomeče na tla.
b. Mnogi spomeniki in samostojni stebri padejo ali se zasukajo. Na mehkih tleh je opaziti valove.
c. Mnoge zgradbe tipa A pretrpijo poškodbe 5. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa B pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne 5. kategorije.

Mnoge zgradbe tipa C pretrpijo poškodbe 3. kategorije, posamezne 4. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa D pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne 3. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa E pretrpijo poškodbe 2. kategorije.

d. **Poškodbe v naravi:**
Mnoge poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti A (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrsi).
Posamezne poškodbe 5. kategorije v razredu ranljivosti A (hribinski podori in zdrsi regionalnih dimenzij).
Mnoge poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti B (manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).
Posamezne poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti B (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrsi).
Posamezne poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti C (manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).

X. Obsežno rušilen

Obsežno rušilen za zgradbe in naravo

a. Ni merodajnega opisa
b. Ni merodajnega opisa
c. Večina zgradb tipa A pretrpi poškodbe 5. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa B pretrpijo poškodbe 5. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa C pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne 5. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa D pretrpijo poškodbe 3. kategorije, posamezne 4. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa E pretrpijo poškodbe 2. kategorije, posamezne 3. kategorije.
Posamezne zgradbe tipa F pretrpijo poškodbe 2. kategorije.

d. **Poškodbe v naravi:**
Mnoge poškodbe 5. kategorije v razredu ranljivosti A (hribinski podori in zdrsi regionalnih dimenzij).
Mnoge poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti B (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrsi).
Posamezne poškodbe 5. kategorije v razredu ranljivosti B (hribinski podori in zdrsi regionalnih dimenzij).
Posamezne poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti C (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrsi).

XI. Uničujoč

a. Ni merodajnega opisa
b. Ni merodajnega opisa
c. Večina zgradb tipa B pretrpi poškodbe 5. kategorije.
Večina zgradb tipa C pretrpijo poškodbe 4. kategorije, mnoge 5. kategorije.
Mnoge zgradne tipa D pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne 5. kategorije.
Mnoge zgradne tipa E pretrpijo poškodbe 3. kategorije, posamezne 4. kategorije.
Mnoge zgradne tipa F pretrpijo poškodbe 2. kategorije, posamezne 3. kategorije.

d. **Poškodbe v naravi:**
Zaradi nepoznavanja jih ni možno opredeliti.

XII. Popolno uničujoč

a. Ni merodajnega opisa

b. Ni merodajnega opisa

c. Vse hiše tipa A in B ter praktično vse tipa C so uničene. Večina zgradb tipa D, E in F je uničenih. Učinki potresa so največji možni.

d. **Poškodbe v naravi:** Zaradi nepoznavanja jih ni možno opredeliti.

Zaključek

Človek je del narave in njegova pomembnost ni nič večja od katerekoli rastlinske ali živalske vrste, če se omejimo samo na živo naravo. Toda človek se je sam pri sebi postavil za najvišje bitje v naravi. Od tu izvirajo številne daljnosežne posledice, ki se odražajo tudi v negativnem delovanju na naravo. Človek se je v zadnjih desetletjih začel soočati s temi posledicami, ko narava v marsičem ni bila sposobna s svojimi ravnotežnimi sistemi izničiti vplive človeškega delovanja. To je dalo človeku misliti, da mora spremeniti do narave svoj odnos. Vsaj manjši del človeštva se je zopet začel vračati k svoji prvobitnosti, se zavedati svoje globoke povezanosti z naravo.

Na glede katero področje delovanja opazujemo, vidimo osnovno človeško usmerjenost, poskrbeti predvsem zase. Velik je naš dolg, da spremenimo način mišljenja, da znova pridobimo občutljivost za naravo. To velja tudi na področju proučevanja velikih, včasih katastrofalnih dogodkov, kot je potres.

Od leta 1912, ko je izšla dopolnjena Mercalli-Cancani-Siebergova intenzitetna lestvica, leta 1964, ko so novo lestvico sestavili Medvedev-Sponheuer in Karnik, pa leta 1992, ko so prvič predstavili novo evropsko potresno lestvico (EMS), ki naj bi upoštevala vsa dotakratna znanja seizmologije in gradbeništva, proučevanje posledic potresa sloni na proučevanju poškodb na zgradbah. Od VI. stopnje naprej so naštete lestvice narejene izključno glede na poškodbe na zgradbah.

Proučevanje posledic potresa v Posočju je pokazal, da tudi v naravi nastanejo številne posledice, ki so, enako kot pri zgradbah, odvisne od ranljivosti terena in intenzitete potresa. Vse dobro opredeljene značilnosti, ki veljajo za zgradbe, je možno uporabiti tudi v naravi. Nenadoma se pred nami odpre zakoniti svet številnih drobnih, pa tudi večjih seizmogeoloških pojavov, nastalih ob potresu, ki pričajo o učinkih potresa na naravo.

Pojavi v naravi, ki nastajajo v alpskem svetu ob potresu:

- padanje posameznih kamnov,
- odpiranje kratkih svežih razpok v hribini,
- padanje posameznih skal,
- manjši hribinski podori ,
- zdrsi grušča,
- krušitev kamnov v večji količini,
- manši hribinski planarni in klinasti zdrsi,
- premikanje skal na položnem ali ravnem terenu,
- veliki hribinski podori,
- odpiranje dolgih svežih razpok,
- razklanje skal in prevrnitve,
- padanje skal v večji količini,
- veliki hribinski planarni zdrsi,
- veliki hribinski klinasti zdrsi,

- hribinski podori regionalnih dimenzij,
- planarni zdrsi regionalnih dimenzij,
- veliki klinasti zdrsi regionalnih dimenzij.

Če bi imela možnost bolj podrobnega in sistematičnega proučevanja, bi bila ugotovljena še večja raznolikost seizmogeoloških pojavov v hribinah. Predvsem bi bilo možno izločiti različne vrste bolj drobnih pojavov, kot je nastajanje, odpiranje, razsežnost in vrsta razpok v kamninah, premikanje blokov, različni tipi podorov, vse v odvisnosti od intenzitete potresa in lokalnih razmer.

Kljub temu, pa je možno že na osnovi v članku prikazanega gradiva sprejeti osnovni sklep, da je treba sistematično in dolgoročno začeti proučevati posledice potresa v naravi in spoznanja začeti vključevati v človeško zakladnico znanja, v našem primeru tudi v potresne lestvice, ki opredeljujejo intenziteto potresa. Pot do oblike, ki bi omogočala opredeljevanje stopnje potresa na nivoju, kot je za zgradbe, je še dolga. Predvsem rabimo podrobne analize posledic potresov v naravi na različnih območjih Zemlje, v različnih kamninah in morfološki izoblikovanosti terena. Zavrniti moramo tezo, da je narava preveč neprevidljiva in začeti sistematično delati. Vložek se nam bo povrnil, tam, kjer ga ne bomo pričakovali in nam izboljšal kvaliteto bivanja.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeva Matjažu Godcu, univ.dipl.ing.grad. za pregled in pripombe dela članka, ki se nanaša na opise poškodb zgradb v Evropski potresni lestvici. Strokovnjakom Geološkega zavoda Slovenije se zahvaljujeva za del baze podatkov o podorih.

Literatura

B a t h, M. 1973: Introduction to Seismology. - Birkhauser Verlag, 395 p., Basel and Stuttgart.

B i e n i a w s k i, Z. T. 1974: Geomechanics Classification of Rock Masses and its Application in Tunneling. - Proc. 3th Con. ISMR, Vol. II-A, 27 - 32, Boston.

B u s e r, S. 1986: Osnovna geološka karta 1:100 000. Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine). - Zvezni geološki zavod, 103 p., Beograd.

D r o b n e F. & Ivanković J. & Ribičič M. 1976: Inženirskogeološke posebnosti slovenskega ozemlja. - 8. Jug. geol. kon., 51 - 58, Bled.

G r ü n t h a l, G. (ed.), 1993: European Macroseismic Scale 1992 (EMS-92). - European Seismological Commission, Working group Macroseismic Scales, 79 p., Luxembourg.

G r ü n t h a l, G. (ed.), 1998: European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). - European Seismological Commission, Working group Macroseismic Scales, 101 p., Luxembourg.

H o e k, E. 1997: Rock slope engineering. - E & FN Spon, 254 p, London.

Preliminary seismological bulletin. 1998, Geophysical Survey of Slovenia, Ljubljana.

R i b a r i č, V. 1980: Potresi v Furlaniji in Posočju leta 1976, kratka seizmološka zgodovina in seizmičnost obrobja vzhodnih Alp. - Potresni zbornik, 17-81, Ljubljana.

R i b a r i č, V. 1987: Seizmološka karta za povratno periodo 500 let. (M 1 : 400 000) - Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.

R i b i č i č, M. & Š i n i g o j, J. 1996: Karte ogroženosti in tveganja zaradi plazov na območju Slovenije. - Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995-1996, Zbornik referatov simpozija, 115-124, 8 pril., Ljubljana.

R i b i č i č, M. & V i d r i h, R. 1998a: Vpliv potresov na nastanek podorov in plazov. - Ujma 12 (v tisku), Uprava RS za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo, Ljubljana.

R i b i č i č, M. & V i d r i h, R. 1998b: Poškodbe v naravi ob letošnjem potresu v Posočju. - Življenje in tehnika XLIX, september 1998, 48-56, Ljubljana.

V i d r i h, R. 1998: Potres v Posočju seizmologov ni presenetil. Vsi kraji, kjer je nastalo naj-

več poškodb so zgrajeni na slabi podlagi na nanosih rek in potokov in na pobočnih gruščih. - DELO, Znanost, 9, Ljubljana.

V i d r i h, R. & R i b i č i č, M. 1994: Vpliv potresov na nastanek plazov v Sloveniji. - Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Idrija 17.-18.11.1994, Zbornik, 33-46, Idrija.

V i d r i h, R. et al. 1991: Potresna ogroženost Slovenije. Občina: Brežice, Idrija, Krško, ljubljanske občine, Tolmin. - Seizmološki zavod R Slovenije in Republiški štab za civilno zaščito, 214 p., 5 prilog, Ljubljana.

V i d r i h, R. & G o d e c, M. 1998: Potres v Posočju 12. aprila 1998. - Življenje in tehnika XLIX, julij 1998, 59-68, Ljubljana.

V i d r i h, R. & O v č a k, M., 1998a: V Posočju poškodovani pomniki prve svetovne vojne. Spomin na Vilo polni zadetek (I. del). - DELO, Reportaže in zanimivosti, 12, Ljubljana.

V i d r i h, R. & O v č a k, M., 1998b: V Posočju poškodovani pomniki prve svetovne vojne. „Živel mir" na Krnčici (II. del). - DELO, Reportaže in zanimivosti, 12, Ljubljana.

V i d r i h, R. & R i b i č i č, M., 1998: Geološke posebnosti potresa 12. aprila v Posočju. Potres je povzročil ne le veliko škodo na hišah, pospešil je tudi geološko dogajanje. - DELO, Znanost, jun. 1998-12, Ljubljana.

Sl. 8. Padanje posameznih kamnov (ob poti k izviru Tolminke).

Fig. 8. Falling of individual stones (along the path leading to the source of the Tolminka).

Sl. 9. Zdrsi grušča (planina Polog).

Fig. 9. Gravel slides (the Polog mountain).

Sl. 10. Krušitev kamnov in skal v večji količini (planina Osojnica).

Fig. 10. Crumbling of stones and rocks in larger amounts (the Osojnica mountain).

Sl. 11. Odpiranje kratkih svežih razpok v hribini (nad planino Polog nad Tolminom).

Fig. 11. Opening of short fresh cracks in the slope (above the Polog Alpine dairy over Tolmin).

Sl. 12. Padanje posameznih skal (planina Polog).

Fig. 12. Falling of individual stones (the Polog Alpine dairy).

Sl. 13. Manši hribinski planarni zdrsi (planina Osojnica).

Fig. 13. Smaller planar rockslides (the Osojnica mountain).

Sl. 14. Premikanje skal na položnem ali ravnem terenu (ob poti iz Drežnice na Krn).

Fig. 14. Movement of rocks on gently sloping or level ground (along the path from Drežnice to Krn).

Sl. 15. Manjši hribinski podori (ob izviru Tolminke).

Fig. 15. Smaller rockfalls (at the source of the river Tolminka).

Sl. 16. Veliki hribinski podori (jugozahodni greben Krna).

Fig. 16. Large rockslides (south-western ridge of Krn).

Sl. 17. Odpiranje dolgih svežih razpok (začetek doline Lepene).

Fig. 17. Opening of long fresh cracks (beginning of the Lepena valley).

Opomba:

Naslednje slike prikazujejo primerjavo med poškodbami na zgradbah in v naravi. Namen je povezati kategorijo poškodb na zgradbah z vrstami značilnih porušitev naravnega ravnotežja, ki veljajo za določeno intenziteto potresa.

Sl. 18. Ob potresu dvignjene in spuščene skale, ki so se ponekod prevrnile, ponekod razklale (ob poti iz Drežnice na Krn).

Fig. 18. Rocks lifted up and lowered by the earthquake, some of which were turned around or split (along the path from Drežnice to Krn).

Sl. 19. Kotaljenje in padanje posameznih skal v dolini Lepene smo ocenili z učinki VI. stopnje EMS.

Fig. 19. Rolling and falling of individual rocks in the Lepena valley was assessed at level VI EMS.

Sl. 20. Posamezne manjše hribinske podore ob strugi reke Soče, smo ocenili s VI. stopnjo po EMS lestvici. Primer na sliki je v neposredni bližini vasi Soča.

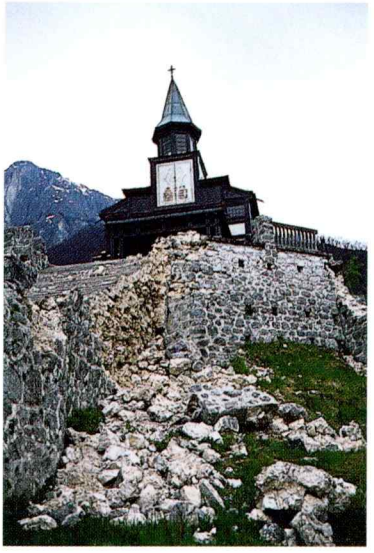
Fig. 20. Individual smaller rockfalls along the Soča river were assessed at level VI EMS. The picture shows an example in the vicinity of the Soča village

Sl. 21. Številni podrti kamniti podporni zidovi, kot je primer iz Drežnice, so značilni za VI. stopnjo EMS.

Fig. 21. Many collapsed stone retaining walls, like the example from Drežnica, are characteristic of level VI EMS.

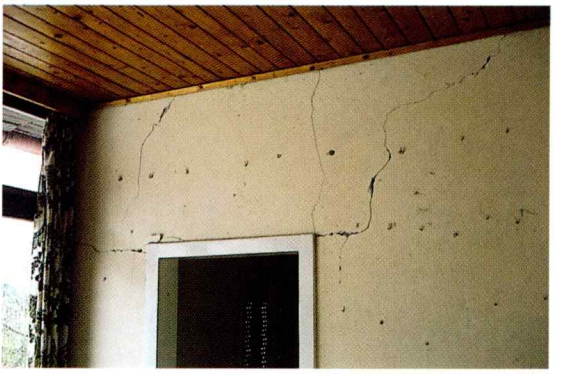
Sl. 22. Razpoke v delno sprijetem pobočnem grušču na poti k izviru Tolminke so značilne za VI. stopnjo EMS.

Fig. 22. The cracks in partly agglutinated gravel on the slopes along the path leading to the source of the Tolminka are characteristic of level VI EMS.



Sl. 23. Cerkev na Javorci je vzdržala brez poškodb, medtem ko so bili kamniti zidovi večinoma podrti, kar potrjuje ocenjeno VI. stopnjo po EMS.

Fig. 23. The church on Javorca was not damaged, while most of the stone walls collapsed, which confirms the assessed level of VI EMS.



Sl. 24. Lasaste in manjše razpoke na zidovih (1. kategorija) kažejo na VI. stopnjo EMS.

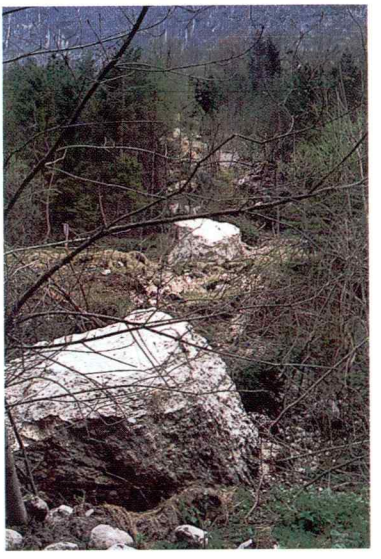
Fig. 24. Capillary and smaller cracks on walls (grade 1) point to level VI EMS.

Sl. 25. Učinke potresa na zgradbe in na ljudi v Bohinjskem kotu smo ocenili med VI. in VII. stopnjo EMS, temu pa odgovarjajo tudi poškodbe v naravi. Lep primer je zdrs dela obale Bohinjskega jezera v vodo.

Fig. 25. The earthquake effects on buildings and people in Bohinjski kot were assessed at levels VI-VII EMS, which is confirmed by the damage caused to nature. A good example is the sliding of part of the Lake Bohinj coast into the water.

Sl. 26. Zmerne do hude poškodbe (3. kategorije), predvsem velike in globoke razpoke v stenah grajenih iz neobdelanega kamna, so nastale v SKI hotelu na Voglu in so značilne za VI. - VII. stopnjo EMS.

Fig. 26. Moderate to severe damage (grade 3), mainly large and deep cracks in walls built of fieldstone, found on the SKI Hotel in Vogel, characteristic of levels VI-VII EMS.

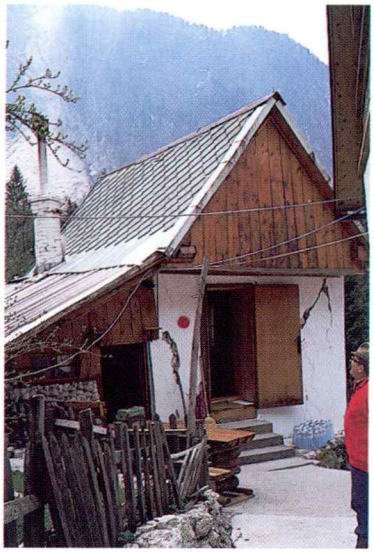


Sl. 27. Seizmogeološka sestava doline Lepene je ugodnejša od sestave gorovja, ki se dviguje nad njo, zato so bile poškodbe v naravi večje kot na objektih. Manjše hribinske podore, ki so zgrmeli v dolino in so ponekod poškodovali cestišča, smo ocenili z učinki med VI. in VII. stopnjo po EMS.

Fig. 27. The seismological structure of the Lepena valley is more favourable than the composition of the hills rising above it. Consequently, the damage caused to nature was larger than that on buildings. Smaller rockfalls sinking into the valley and damaging the roads in some areas were assessed as reaching levels VI-VII EMS

Sl. 28. Na območju, kjer smo poškodbe zgradb ocenili z VII. stopnjo po EMS so v naravi nastajali zanimivi pojavi. Na začetku doline Lepene je nastal kamninski tok, ki je za slovenski prostor zelo redek pojav. Nastanek podobnih pojavov ocenjujemo z VII. stopnjo po EMS lestvici.

Fig. 28. In the area where damage to buildings was assessed as level VII EMS, interesting phenomena appeared in nature. At the head of the Lepena valley, a mud-stone flow appeared which is very rare in Slovenia. The appearance of similar phenomena is assessed as level VII of the EMS



Sl. 29. Pogoste poškodbe v dolini Lepene so bile zasuki dimnikov in posamezne konstrukcijske poškodbe; predvsem globoke in obsežne razpoke v večini zidov (3. kategorija). Objekt je iz neobdelanega ali delno obdelanega kamna, vezivo je apnena malta, stropna konstrukcija pa je lesena. Tovrstne poškodbe so značilne za VI. - VII. stopnjo po EMS lestvici.

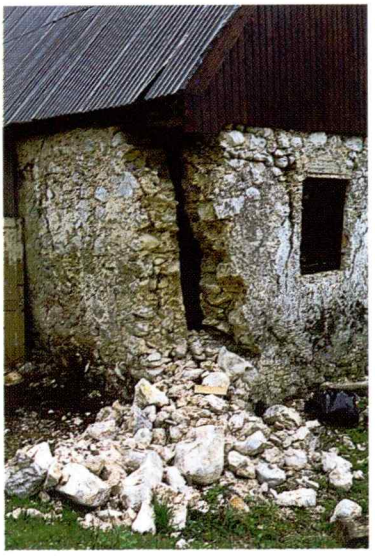
Fig. 29. A common type of damage in the Lepena valley involved twisting of chimneys and individual property damage, chiefly deep and large cracks in most walls (grade 3). The building is made of fieldstone and simple stone, it is joined by lime mortar and the ceiling construction is wooden. Such damage is typical of levels VI-VII EMS.

Sl. 30. Detajl kamninskega toka v dolini Lepene.

Fig. 30. Detail of a mud-stone flow in the Lepena valley.

Sl. 31. Kakor smo prej napisali, da so v seizmogeološkem pogledu tla v Lepeni ugodnejša od gorovja nad dolino, je v primeru Male vasi v Bovcu obratno. Učinki na zgradbah so bili ocenjeni na VII. - VIII. stopnjo po EMS, zato so pri tej stopnji v stabilnejši kamnini nastajali manjši skalnati podori. V primeru manj stabilne kamnine, bi bili skalnati podori nad Bovcem bistveno večji.

Fig. 31. Earlier we wrote that, seismologically, the floor of Lepena is more favourable than the mountains above the valley; in Mala vas in Bovec, the situation is the reverse. The effects on buildings were assessed as levels VII-VII EMS, accordingly, smaller rockfalls appeared in the more stable rock. Had the rock been less stable, the rockfalls above Bovec would have been much larger.

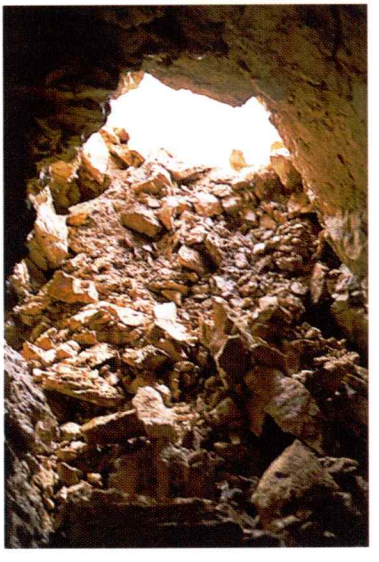


Sl. 32. Hude poškodbe (3. kategorija) na konstruktivnih in nekonstruktivnih elementih slabo grajenega objekta iz neobdelanega kamna so značilne za VII. stopnjo EMS. Zaradi nepovezanega zidovja je prišlo do trka med seboj pravokotnih nosilnih zidov; posledica je porušitev vogala zgradbe. Podobno usodo je doživela večina vikendov in osamljenih bolj ali manj zapuščenih zgradb nad levim bregom Lepence.

Fig. 32. Severe damage (grade 3) to constructive and non-constructive elements of a poorly built building of rubblestone stone are characteristic of level VII EMS. The walls, which were not well joined together, led to a collision of supporting walls perpendicular to each other; the consequence was the collapse of the corner of the building. A similar fate was faced by most of the summer houses and isolated, more or less deserted, buildings above the left shore of the Lepenca.

Sl. 33. Podor iz kote 1776 m lahko uvrstimo med večje podore, ki so značilni za VII.-VIII. stopnjo EMS.

Fig. 33. The rockfall at „kota 1776 m" can be classified among the largest rockfalls characteristic of level VII-VIII EMS.

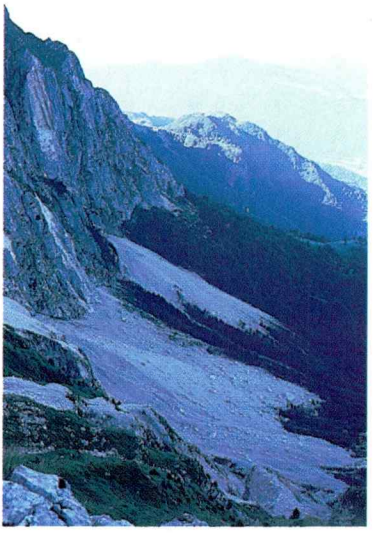


Sl. 34. Skozi podrto kaverno na koti 1776 lahko opazujemo enega največjih podorov, ki ga kaže Sl. 33.

Fig. 34. From the collapsed cavern at „kota 1776 m" one can observe one of the largest rockfall shown in Fig. 33.

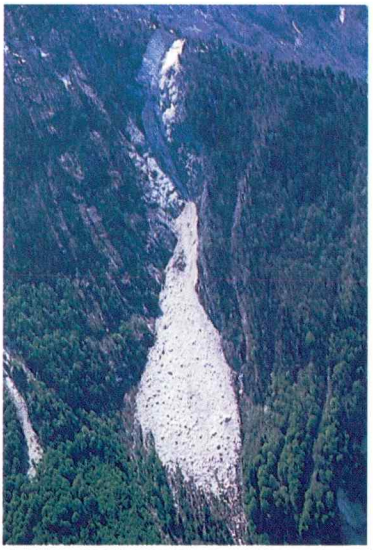
Sl. 35. Velikanski podor na jugozahodnem delu Krna smo ocenili z učinki med VII. in VIII. stopnjo po EMS lestvici. Po velikosti je primerljiv s podori na Osojnici in poškodbami na zgradbah na planini Polog.

Fig. 35. Huge rockfall on the south-eastern part of Krn was assessed as levels VII -VII of the EMS. In terms of size, it is comparable to the rockfalls at Osojnica and the damage to buildings on the Polog mountain.



Sl. 36. Pogled z grebena Krnčice na podora na jugozahodnem delu Krna. Po obsežnosti podorov smo ju uvrstili med VII. in VIII. stopnjo EMS.

Fig. 36. View from the Krnčica ridge of two landslides on the southwestern part of Krn. According to their size, they were classified at level VII-VIII EMS.



Sl. 37. Klinast zdrs v Lepeni sodi med redke pojave, ki so značilni za VII. -VIII. stopnjo EMS.

Fig. 37. Wedge-shaped slide in the Lepena valley is among the rare phenomena characteristic of level VII-VIII EMS.

Sl. 38. Med največjimi skalnatimi podori, ki smo jih ocenili z VII. do VIII. stopnjo po EMS so podori na Osojnici. Vrh gore je dobesedno razklalo, saj so podori v dolino zgrmeli na treh pobočjih.

Fig. 38. The largest rockfalls assessed at levels VII-VII EMS include those on Osojnica. The top of the mountain literally fell apart as rockfalls crashed into the valley on three slopes.

Sl. 39. Poškodovano obeležje iz I. sv. vojne, ki stoji na križišču cest za Bovec, Trento in Predil, je zgrajeno iz obdelanega kamna in povezano z apneno malto. Malta je močno preperela in le slabo povezuje kamninske bloke, zato je pri potresnih silah prišlo do zasuka posameznih kamnitih blokov za približno 30o in odpadanja posameznih kamnov. Tovrstne poškodbe (3. kategorije) so značilne za VII.-VIII. stopnjo po EMS lestvici.

Fig. 39. Damaged World War I memorial at the intersection of roads leading to Bovec, Trenta and Predil, built of processed stone and joined with lime mortar. The mortar has largely fallen out and only loosely binds the stones. Consequently, the earthquake forces turned individual stone pieces by 30∞and individual stones fell off. Such damage (grade 3) is characteristic of level VII - VIII EMS.

Sl. 40. Podrti kamniti zidovi, predvsem pa podrti ali premaknjeni nagrobni spomeniki na pokopališču v Bovcu so značilni za VII-VIII. stopnjo EMS.

Fig. 40. Collapsed stone retaining walls and collapsed or moved tombstones at the Bovec graveyard are characteristic of level VI EMS.

Sl. 41. Na podlagi številnih težkih poškodb (3. kategorija), kot je primer v Spodnjih Drežniških Ravnah, smo ocenili učinke med VII. - VIII. stopnjo EMS.

Fig. 41. Based on the widespread severe damage (grade 3), like the example from Spodnje Drežniške Ravne, effects at level VII-VIII EMS were assessed.

Sl. 42. Delna porušitev stene objekta iz neobdelanega kamna z lesenemi stropovi (poškodbe 4. kategorije) je značilna za VII. - VIII. stopnjo EMS. Tudi ta porušitev zgradbe v vasi Magozd je posledica delovanja nepovezanega zidovja.

Fig. 42. Partial wall collapse of a building made of fieldstone with a wooden ceiling (grade 4) is characteristic of levels VII-VIII EMS. The collapsing of this building in the Magozd village is also the result of walls not being joined together.

Sl. 43. Globoke razpoke v vseh nosilnih stenah in delna porušitev vogalov konstrukcije (poškodbe 4. kategorije) so značilne poškodbe objektov iz neobdelanega kamna pri VII. - VIII. stopnji EMS. Zaradi posedanja etaže so se porušile vse predelne stene v pritličju. Primer sirarne na planini Polog nad Tolminko v neposredni bližini Osojnice.

Fig. 43. Deep cracks in all supporting walls and a partial collapse of the corners (damage grade 4) are characteristic of buildings made from fieldstone with levels VII-VIII EMS. Due to the sinking of the floor, all non-supporting walls on the ground floor collapsed. On example is the cheese dairy on the Polog mountain above Tolminka in the vicinity of Osojnica.

Sl. 44. Globoke razpoke v konstruktivnih in nekonstruktivnih elementih novejšega stanovanjskega objekta, grajenega iz opeke z armiranobetonskimi (AB) stropovi so značilne za VII. - VIII. stopnjo EMS. Omenjene poškodbe 4. kategorije so nastale na številnih objektih v Mali vasi pri Bovcu.

Fig. 44. Deep cracks in constructive and non-constructive elements of a recently built apartment block, made of brick with reinforced concrete ceilings are characteristic of levels VII-VIII EMS. Such damage of the grade 4 appeared on many buildings in Mala vas, Bovec.

Sl. 45. Zanimiv pojav, ki ga v celoti ne znamo razložiti je nastal ponekod v mehki zemljini. Na gredicah vidimo potek valovanja, kjer je zemlja dvignjena na oddaljenosti približno 70 cm. Lahko gre za valovno dolžino potresnih valov, še verjetneje pa je to posledica interference seizmičnih

Fig. 45. One interesting phenomena which we are not able to explain completely appeared in some areas with soft ground. The beds show oscillation, with the earth being lifted within a range of 70 cm. This could be the wave length of the earthquake waves, but it is more likely to be the consequence of seizmic wave interference.

Vse fotografije R. Vidrih

All photos taken by R. Vidrih